





# DES MODÈLES PÉDAGOGIQUES POUR QUELLES FINALITÉS DE L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

Anne Vérin

La définition, ainsi que l'utilisation, de modèles pédagogiques théoriques pour l'enseignement des sciences est un thème qui prend une place suffisamment importante dans les recherches conduites en didactique des sciences à l'heure actuelle pour que deux numéros successifs de la revue Aster lui soient consacrés.

Le terme de "modèle pédagogique" désigne une construction théorique articulant de façon cohérente un ensemble de situations didactiques projetées ou effectives, qui leur donne un sens et spécifie les conditions de leur mise en oeuvre dans le cadre d'un cursus d'ensemble.

## Didactique et constructivismes(s)

Les articles réunis ici contribuent à élargir l'éventail des éclairages didactiques déjà apportés dans le précédent numéro de la revue à deux questions centrales dans la recherche sur l'enseignement des sciences. Le large accord sur des choix constructivistes déjà développé se trouve confirmé et en même temps nuancé et précisé de façons différentes selon les auteurs.

La première de ces questions est celle des *modalités d'apprentissage* qui permettent aux élèves de transformer leurs représentations et leurs modes de pensée et de s'approprier des connaissances et des modes de pensée qui leur sont étrangers, et qui dérivent dans le contexte qui nous intéresse du savoir scientifique socialisé. Elle renvoie aux théories constructivistes de l'apprentissage.

La deuxième question est spécifique à l'enseignement des sciences de la nature, qualifiées classiquement de sciences expérimentales, qui ont pour objet de comprendre et de prévoir le monde réel. La *construction du savoir scientifique* tient ses spécificités des interactions entre théorisation et travail empirique. C'est le constructivisme épistémologique qui est ici mis en jeu.

Les *modèles pédagogiques* constituent des tentatives pour préciser le sens des projets d'enseignement qui organisent différentes modalités de réponse à deux nécessités apparemment contradictoires, celle d'engager les élèves dans un processus personnel de modifications de leurs savoirs, et celle de les conduire à la maîtrise de savoirs nouveaux déterminés de façon externe aux élèves par le système scolaire et

des différences  
dans les  
références aux  
théories  
constructivistes...

... et leur  
implication dans  
les modèles  
d'enseignement  
des sciences

ses acteurs. Si l'on rencontre ici encore un consensus sur une approche didactique constructiviste, selon laquelle le travail de l'élève devrait au moins en partie être homologue au travail de construction de connaissances des scientifiques, les auteurs développent des propositions théoriques et didactiques dans des registres différents.

### **Les conditions d'un engagement cognitif personnel des apprenants dans la formation de nouveaux savoirs scientifiques**

C'est souvent le repérage d'un dysfonctionnement de l'enseignement scientifique ou d'une nécessité de renouveler ou de l'enrichir cet enseignement qui conduit les auteurs à définir de façon argumentée des principes et des modalités d'enseignement susceptibles d'apporter une réponse.

la sollicitation des  
compétences  
d'acteur des  
apprenants...

Pour Désautels et Laroche, les conceptualisations constructivistes conduisent à un simple réaménagement de l'enseignement positiviste si la mobilisation des idées des apprenants n'est utilisée que pour les engager de façon soumise dans une remise en question de leurs modes de pensée, accompagnée de leur dévalorisation implicite, au profit du savoir établi. Prendre au sérieux le caractère actif de la cognition postulé par le constructivisme nécessite un changement du statut épistémologique des agents de cette cognition.

... et de leurs  
capacités de  
réflexivité sur leurs  
actions  
cognitives,

Deux conditions du jeu de la production du savoir scientifique sont simulées dans la stratégie du dérangement épistémologique qu'ils ont mis au point et expérimentée : le savoir scientifique est un savoir construit, inventé ; le savoir scientifique est un savoir négocié et argumenté. La situation définie s'écarte résolument d'un projet de transmission d'un contenu conceptuel et disciplinaire (il n'y a pas de réponse à trouver) de façon à ce que les acteurs puissent se centrer sur les processus de conceptualisation, sans arrière pensée sur un éventuel produit attendu. Les étudiants, par groupes de trois, sont placés devant une énigme, le comportement d'entités représentées sur ordinateur, et sont conduits à raisonner, expérimenter, modéliser, débattre pour élaborer des explications et les valider. Le dispositif intègre des occasions de réflexions et de questionnements sur le processus de production de connaissance qu'ils mettent en oeuvre, et au-delà sur le processus scientifique. Parmi les différents outils et formes d'interactions proposés, c'est l'analyse des propos tenus dans les journaux "épistémologiques" personnels qui est développée dans cet article.

en leur donnant  
un statut  
épistémologique  
nouveau,

favorise la  
complexification  
de l'idée de  
science

Elle montre que les étudiants et étudiantes se révèlent des acteurs compétents manifestant "la capacité d'un contrôle réflexif sur (leurs) conduites et sur celles des autres, et la capacité de rationaliser (leur) action". Empruntant des itinéraires cognitifs divers, ils améliorent leur capacité à s'inter-

roger sur les conditions de production du savoir scientifique et complexifient leur idée de la science en la problématisant.

la démarche de  
recherche  
scientifique  
comme modèle  
d'enseignement

Gil-Pérez souligne que le changement conceptuel peut constituer un projet d'enseignement, mais non un projet d'apprentissage. Il comporte le risque de mettre l'accent sur les résultats de la recherche scientifique et de provoquer un rejet des élèves qui, finalement, restent extérieurs à ce projet. La construction de connaissances nouvelles ne prend de sens véritablement pour les élèves que dans le contexte d'un problème à résoudre. Dans cette perspective, l'auteur argumente un ensemble de propositions qui organisent l'ensemble de l'enseignement des sciences physiques en donnant une place centrale au traitement scientifique de problèmes ouverts. Les élèves, "*chercheurs novices*", en interaction avec les autres élèves et les enseignants "*experts*", sont engagés dans des programmes de recherche, qui articulent quatre types d'activités : définition de situations problématiques, étude qualitative de ces situations, traitement scientifique des problèmes, maniement réitéré des connaissances nouvelles dans des contextes variés, y compris des contextes sociaux.

mise au point  
d'une séquence  
de traitement  
scientifique d'une  
situation-  
problème...

Pinelli et Lefèvre font référence à ce modèle pour construire une séquence de travaux pratiques destinée à des étudiants de début d'université, niveau d'enseignement encore relativement peu étudié par les didacticiens. En rupture avec les pratiques habituelles, la situation conçue par les auteurs organise une démarche d'investigation et de modélisation que les étudiants doivent pouvoir conduire sans intervention directe de l'enseignant, et qui, par certains aspects, est analogue à la démarche de recherche scientifique de jeunes chercheurs travaillant sous le contrôle et avec le guidage de chercheurs experts. Les objets à comprendre, des dipôles (thème choisi dans le cadre de l'étude des circuits électriques) sont enfermés dans des boîtes noires et accessibles uniquement par leurs bornes de branchement : ce caractère énigmatique est une des conditions choisies pour faciliter la dévolution du problème. Les étudiants disposent d'une fiche de questions et d'un matériel d'investigation varié, qui sont conçus pour les conduire à s'initier à des procédures de recherche et à modéliser les différents dipôles à l'aide des caractéristiques du courant-tension.

... et essai  
expérimental  
dans une  
perspective  
d'ingénierie  
didactique

Un essai expérimental réalisé avec un binôme d'étudiants volontaires montre que, dans la situation définie, les étudiants prennent effectivement en charge personnellement la résolution de problème et s'engagent dans un processus d'investigation très riche. Les itinéraires suivis sont caractérisés en référence aux phases décrites par Gil-Pérez pour le traitement scientifique des problèmes : anticipation, action, formulation, validation. Comme prévu, bien qu'avec quelques modulations, des séquences anticipation-action-formulation, ou action-formulation avec allers et retours peuvent être identifiées. Cependant, il semble que le recours

à l'enseignant soit encore nécessaire pour que les phases de reformulation du problème au moment de l'analyse qualitative existent ; il en est de même pour la validation.

Le type de travail exposé dans cet article constitue l'une des étapes de la mise au point de situations didactiques dans une perspective d'ingénierie didactique. C'est lors de l'essai technique en vraie grandeur que les phases de validation et institutionnalisation pourront véritablement être testées et qu'il sera possible de vérifier dans quelle mesure la situation fait véritablement conduire une démarche expérimentale aux étudiants.

A propos de l'étude du sol au lycée, Monchamp et Lainé construisent, expérimentent et évaluent un dispositif d'enseignement qui partage le même projet que les précédents de créer les conditions pour engager les élèves dans une démarche personnelle et créative d'apprentissage à partir d'un problème à résoudre.

Les auteurs font l'hypothèse que, plutôt que de provoquer une mise en question des représentations, il est plus efficace de faciliter l'acceptation de nouveaux systèmes explicatifs en les rendant familiers aux élèves. La mise en scène d'objets concrets, la manipulation et le recours à des informations sensibles sont des procédés importants dans cette perspective. Le *"passage par une figuration évolutive, spontanément effectué par la majorité des "bons élèves" peut constituer une aide à penser de manière abstraite"*.

La capacité explicative des élèves est sollicitée à travers la production de figurations modélisantes les plus concrètes possibles (mots, schémas, mais aussi maquettes) qui représentent le schéma de pensée personnel de l'élève et des va-et-vient entre figuration, manipulation du concret et travail sur le schéma de pensée. Les figurations sont évolutives, pour accompagner les transformations des schémas de pensée, et l'élaboration se fait en relation avec le déroulement collectif des activités. La dernière figuration, très dépouillée, devient proche de l'abstraction : compartiments reliés par des flèches figurant les mouvements, étiquettes.

Un indice de la réussite du dispositif quant à l'engagement d'une dynamique cognitive personnelle est donné par l'observation du comportement des élèves : ils ont des choses à dire, de plus en plus denses et riches, même les élèves dont le statut scolaire est médiocre. Ils se montrent concernés par la recherche d'explications en réponse à un besoin de résoudre un problème.

Le dispositif a été expérimenté dans deux groupes d'élèves de niveau contrasté (médiocre et bon). Pour évaluer ses effets sur les connaissances des élèves, les auteurs ont comparé leurs réponses à celles de deux groupes de niveau scolaire également contrastés ayant suivi un enseignement mettant en jeu les mêmes documents et les mêmes manipulations mais dans une logique se référant à un modèle pédagogique transmissif. Les résultats les plus intéressants sont

familiarisation  
avec de  
nouveaux  
systèmes  
explicatifs

figurations  
modélisantes,  
manipulation du  
concret, travail  
sur les schémas  
de pensée

le modèle du sol  
devient  
opérateur pour  
répondre à de  
nouveaux  
problèmes

même chez les  
élèves à statut  
scolaire  
médiocre

ceux qui montrent que plusieurs mois après l'enseignement, les élèves des classes expérimentales sont capables de mobiliser le modèle du sol comme ensemble d'éléments en interaction et de prévoir son comportement pour trouver une explication à un problème nouveau, même les élèves des groupes à statut scolaire médiocre. Les élèves des classes à modèle transmissif, eux, même dans les bonnes classes, font appel à un savoir acquis mais non adaptable, et, quand il ne convient pas, à leurs représentations premières.

un accent mis sur  
l'engagement  
cognitif  
personnel  
plus que sur le  
rôle des conflits  
cognitifs

Ces articles mettent en cause l'enseignement traditionnel ou un enseignement constructiviste trop étroit par rapport à son peu d'efficacité pour l'appropriation de connaissances scientifiques fonctionnelles. Ils s'appuient sur un modèle constructiviste plus "radical" pour employer le terme de Gil-Pérez, ou un constructivisme-en-action jouant sur le statut épistémologique de l'acteur pour Désautels et Laroche, pour définir des objectifs plus ambitieux à la formation scientifique : l'engagement des élèves dans une démarche personnelle créative de connaissances, un développement de compétences de raisonnements et de méthodes, une réflexion épistémologique, et pour finir une modification des relations au savoir et à l'apprentissage scolaire.

L'effort intellectuel est sollicité par un problème, ou même une énigme, avec un caractère ouvert, qui intrigue : problème qui lui-même donne lieu à de nouveaux problèmes si l'apprenant entre dans le jeu de la recherche d'explications rationnelles et de la construction de savoirs scientifiques. La relation au savoir devient active, le savoir devient conceptualisé et fonctionnel. L'appropriation et la structuration de connaissances socialisées prennent du sens pour l'apprenant acteur de son apprentissage.

### **Former à la compréhension de situations complexes orientée par un projet**

apprendre à  
utiliser des savoirs  
issus de champs  
disciplinaires  
académiques,  
professionnels ou  
quotidiens

Les contributions qui suivent proposent de prendre en considération dans la formation scientifique elle-même, non seulement ce qui relève des champs disciplinaires constitués, mais l'utilisation qui peut en être faite dans des contextes où l'approche rationnelle est impliquée dans une démarche de compréhension qui ne peut être uniquement rationnelle, soit que les objets soient complexes et non entièrement compréhensibles par les approches disciplinaires, soit que les problèmes impliquent des prises de décision, qui font intervenir des éléments rationnels, mais aussi des priorités et des choix de valeurs.

C'est une logique du projet, et non plus du problème, qui est en jeu. La réussite du projet rend nécessaire, à certains moments, des résolutions de problèmes dans des champs disciplinaires, ou l'appropriation de connaissances construites, ou encore la mise en oeuvre de méthodologies spécifiques. Mais tout au long de l'activité, c'est le projet qui

guide la définition des problèmes à résoudre, l'organisation et l'utilisation qui est faite des connaissances de divers ordres.

Fourez constate que le découpage de l'enseignement scolaire par disciplines a pour effet d'induire une approche trop mono-dimensionnelle des situations concrètes que nous rencontrons et d'exclure l'analyse de situations complexes.

îlots de rationalité

En réponse à cette insuffisance de l'enseignement scolaire, il juge nécessaire de penser une formation où l'utilisation de connaissances issues de différents champs disciplinaires intervient pour se construire des représentations rationnelles pluridimensionnelles de situations complexes (représentations conceptuelles et langagières), qu'il qualifie d'"îlots de rationalité" interdisciplinaires. Il n'est pas possible de tout savoir rationnellement sur tout, il faut apprendre à choisir de façon méthodique, dans la masse de connaissances disponibles sur un objet complexe, ce qu'il sera utile de mobiliser et ce qu'il est préférable de considérer comme une boîte noire. Le choix de clôture sera déterminé par un projet d'action et le projet de connaissance qu'il détermine. C'est à des courants constructivistes liés à la sociologie des sciences et à la socio-épistémologie que l'auteur se réfère, où *"les savoirs prennent leur sens comme médiation (socialement stabilisée) à l'agir historique humain"*.

construits par des équipes pluridisciplinaires

Une démarche opérationnelle méthodique est nécessaire pour se prémunir contre l'amalgame. Fourez propose un modèle de démarche à travers deux exemples, un projet lié à une technique (rédaction d'une notice pour des vendeurs de fers à repasser) et un projet lié à la vie courante (choisir une alimentation appropriée pour garder la ligne).

La démarche se présente comme un algorithme, c'est-à-dire la prescription d'une suite d'étapes à réaliser, mais un algorithme ouvert, puisque ce sont des grilles de questions qu'il propose, de façon à mettre en jeu systématiquement les aspects pluridimensionnels, qui font intervenir différents types de savoirs mais aussi différents enjeux sociaux. La succession des étapes est définie comme une aide à l'appropriation de la démarche mais peut ensuite être réalisée de façon plus souple.

à l'aide d'une méthode opérationnelle

Elle organise des étapes de construction d'une représentation de l'objet du projet, en partant des représentations des membres de l'équipe de façon très ouverte, puis par un balayage systématique des champs de connaissance (scientifiques mais aussi professionnels et quotidiens), des acteurs, des enjeux. La représentation se précise grâce à la clôture de certains champs, qui seront considérés comme des boîtes noires en fonction du projet retenu, et l'ouverture de certains autres. Des étapes de recours à des spécialistes (qui peuvent être des membres de l'équipe changeant alors de rôle ou des consultants extérieurs) et de descente sur le terrain permettent d'aboutir à une synthèse de l'îlot de rationalité produit. Les décisions font l'objet de négociations



entre les membres de l'équipe, le projet de connaissance intervenant à chaque étape comme critère de choix.

Les exemples donnés montrent que la démarche peut convenir pour des types de projets très différents, tels que la préparation à une prise de décision, l'exploration d'une question culturelle ou tout aussi bien la réalisation d'un produit.

plutôt que  
l'enseignement  
des normes,

L'évolution de la profession d'exploitant agricole rend nécessaire le développement de compétences de gestionnaire et a motivé l'élaboration d'un module, "*l'approche globale de l'exploitation agricole*", que Prévost analyse et dont il évalue la mise en oeuvre au sein de 41 classes de brevet de technicien agricole.

une analyse  
systémique des  
pratiques  
agricoles :

La conception du module repose sur plusieurs principes qui présentent des parentés avec la démarche proposée par Fourez. Le module rompt avec l'approche normative habituelle, qui enseigne des connaissances établies dans différents champs disciplinaires et laisse à la charge des formés le soin d'en tirer des règles pour leur activité professionnelle ultérieure. Il propose de développer des compétences de compréhension d'une situation complexe, l'exploitation agricole. Une méthode d'analyse systémique élaborée spécifiquement permet de l'appréhender dans sa globalité, de façon pluridisciplinaire. L'analyse aboutit à l'élaboration d'un schéma de fonctionnement, qui, présenté à l'agriculteur et confronté au contexte de son activité et à ses propres choix, permet d'établir avec lui un diagnostic et des propositions d'amélioration.

"l'agriculteur a  
de bonnes  
raisons de faire  
ce qu'il fait"

Ce module, qui transpose à l'enseignement des modalités d'analyse issues de la recherche agronomique, a subi des transformations lorsqu'il a été inclus dans les programmes de formation. L'auteur rapporte à ces modifications les écarts observés dans l'enseignement réellement dispensé. Tout d'abord, des connaissances à acquérir dans le domaine de la comptabilité ont été ajoutées. C'est par là une autre logique d'enseignement qui est réintroduite dans le module. Les enseignants, familiarisés avec cette logique, ont tendance à la privilégier. D'autre part, pour l'approche globale de l'exploitation elle-même, le contenu du programme donne la liste d'un nombre élevé de concepts à acquérir ; le concept intégrateur de système de production, pourtant nécessaire, n'est pas formulé explicitement dans le programme. Dans cette présentation, la formation de compétences d'analyse, au lieu d'être subordonnée à un projet professionnel comme le voulaient les concepteurs du module, devient subordonnée à une logique d'acquisition de connaissances.

la traduction du  
module en  
programme  
réintroduit une  
logique de  
transmission de  
connaissances

quelles sont les  
conditions qui  
déterminent  
l'enseignement  
effectivement  
dispensé ?

Ceci permet de comprendre qu'une classe sur quatre seulement conduit l'approche globale de l'exploitation agricole telle qu'elle est proposée par les concepteurs du module. De même la pluridisciplinarité exigée par le module - et par le

programme - n'est pas réalisée dans les deux tiers des classes.

D'autres facteurs de contexte peuvent jouer, tels la spécialisation de la formation dans laquelle ce module s'insère (le module est moins enseigné là où les types de production agricoles sont plus tournés vers la commercialisation, comme dans la spécialité "jardins-espaces verts") ou la taille de l'établissement (il y a plus de pluridisciplinarité dans les petits établissements). Ces résultats posent la question des conditions de faisabilité d'un modèle pédagogique en rupture avec les traditions de formation.

un projet  
technique à  
l'école  
élémentaire :

A l'école élémentaire, où il ne peut être question d'enseigner des disciplines scientifiques, mais plutôt de faire acquérir les rudiments d'une culture scientifique et technique, l'approche globale que propose Vignes pour définir des contenus d'enseignement se justifie tout particulièrement.

construction d'un  
automatisme

La proposition d'enseignement qu'il a conçue s'organise autour de la réalisation d'un projet technique : un chariot mobile piloté par micro-ordinateur. C'est une logique d'action et de réussite du projet qui oriente le travail en classe, dans laquelle des activités d'investigation trouvent leur place à certains moments en articulation avec les activités de réalisation.

le champ  
conceptuel  
pertinent par  
rapport au projet  
constitue un îlot  
de rationalité

Les élaborations conceptuelles ne correspondent pas à des niveaux de formulation adaptés à l'école élémentaire de savoirs disciplinaires. Ce sont des notions empruntées à différents champs disciplinaires qui sont sélectionnées dans ce qu'elles peuvent apporter pour construire un cadre rationnel par rapport au problème concret proposé à la classe. C'est dans ce sens que l'auteur fait référence à la notion d'îlot de rationalité de Fourez. Mais à la différence de la procédure proposée ici-même par Fourez dans un contexte différent, c'est le concepteur du projet d'enseignement qui construit au préalable cet îlot de rationalité pour penser les interventions et les guidages de l'enseignant en adéquation avec le projet technique et les tâches qu'il implique. Ainsi par exemple pour les aspects électriques, il choisit d'évacuer (clôture) la notion de courant électrique au profit de celle de tension et introduit les concepts d'état et de signal.

les choix  
pédagogiques  
des enseignants  
déterminent des  
logiques de  
problème en  
physique ou des  
logiques de  
projet

La proposition d'enseignement est construite sous la forme d'un ensemble d'outils didactiques, matériels et documentaires mis à la disposition des enseignants. Cet ensemble se veut modulaire et laisse ouvert des choix pour permettre aux enseignants qui décident de l'utiliser de se l'approprier en l'adaptant.

L'étude de faisabilité conduite sur onze classes a permis en particulier de caractériser la cohérence d'ensemble des activités d'enseignement et la place respective donnée aux activités d'investigation et aux activités de réalisation. Deux tendances apparaissent nettement, illustrées par ces deux extrêmes : une démarche synthétique, avec une longue phase de construction progressive de connaissances à tra-

vers des activités d'investigation aboutissant à une phase plus courte de réinvestissement des acquis au cours des activités de réalisation ; une démarche analytique où les activités de construction et d'essai du mobile alternent avec des séances d'investigation sur les montages électriques et dans laquelle le projet de réalisation technique guide l'ensemble des activités.

l'articulation  
entre  
investigation et  
réalisation est  
maintenue dans  
tous les cas

Cette dernière démarche relève du modèle théorique qui a orienté la construction des propositions, l'autre s'en éloigne. Cependant l'articulation entre logique de réalisation et logique d'investigation est maintenue. *"La souplesse des propositions d'enseignement, qui permet divers modes de traitement et d'approche est garante de l'adaptabilité du projet aux classes et surtout aux enseignants"*, nous dit l'auteur.

un modèle de  
formation  
professionnelle

Le dernier volet de l'étude développe des propositions pour une formation professionnelle des enseignants et définit des conditions nécessaires à l'appropriation du projet d'enseignement par des enseignants qui, dans leur majorité, ne disposent d'aucune connaissance spécialisée préalable.

l'interprétation de  
la fonction d'un  
obstacle  
transversal,

L'article de Sauvageot-Skibine ne se rapporte pas directement au thème du numéro. Cependant l'attention particulière portée à une représentation qui est mobilisée de façon transversale dans des contextes très différents prend son sens par rapport à un modèle pédagogique organisant l'ancrage des constructions conceptuelles des élèves sur leurs propres représentations. Le projet d'organiser une partie de l'enseignement autour d'objectifs-obstacles, plus particulièrement, rend nécessaire le repérage d'un petit nombre d'obstacles-clés. Il est important de comprendre pourquoi certaines représentations qui font obstacle à l'acquisition de concepts spécifiés résistent, c'est-à-dire de comprendre la fonction positive qu'elles jouent. C'est ce que tente l'auteur ici à propos de la représentation de la circulation des fluides à l'intérieur des organismes par des tuyaux, qui fait obstacle à la notion de surface d'échange, et, par delà cette notion, au concept de milieu intérieur. Une incursion dans l'histoire de la construction de ce concept permet de proposer des hypothèses interprétatives plus complexes qu'on ne saurait le faire au premier abord sur les raisons de la résistance de la représentation-obstacle.

élément pour  
choisir des  
situations  
problèmes  
significatives

Des analyses de ce type apportent des éléments nécessaires à la détermination de problèmes qui puissent engager des activités d'investigation et de conceptualisation en prise avec les idées personnelles des élèves et fécondes pour eux.

des modes  
d'activité  
didactique

Peut-on dire que toutes ces contributions traitent de modèle pédagogique ? Envisagent-elles la cohérence d'ensemble d'une diversité d'activités articulées sur le long terme ?

A l'évidence, c'est le cas de certains mais pas de tous les articles. L'activité d'enseignement peut être limitée dans le temps, ou exceptionnelle par rapport au contexte du reste de l'enseignement. Cependant, même alors, la question de la cohérence d'ensemble peut être posée, soit à travers l'ambi-

à leur articulation  
en modèles  
théoriques  
généraux

tion de changer le sens du rapport au savoir, de façon localisée ou beaucoup plus large, soit à travers les modalités d'articulation avec d'autres activités complémentaires. Ainsi l'ensemble des contributions réunies dans ces deux numéros apporte des éléments qui permettront de mieux poser la question de la cohérence d'une perspective curriculaire globale, question clé pour l'enseignement, que la recherche en didactique commence à être en mesure d'aborder.

Anne VÉRIN  
Équipe de didactique des sciences  
expérimentales, INRP  
responsable de ce numéro

# CONSTRUCTIVISTES AU TRAVAIL : PROPOS D'ÉTUDIANTS ET D'ÉTUDIANTES SUR LEUR IDÉE DE SCIENCE

Jacques Désautels  
Marie Larochelle

*Dans la foulée des travaux que nous menons depuis plusieurs années et qui s'intéressent aux problèmes épistémologiques qui jalonnent l'apprentissage des sciences, nous avons conçu et réalisé une expérimentation qui visait à amener trente-cinq étudiants et étudiantes du collège (au Québec, ordre d'enseignement situé entre le secondaire et l'université) à s'interroger sur la production du savoir scientifique, et ce, suivant une stratégie pédagogique dite de dérangement épistémologique. L'étude des propos recueillis tend à montrer que le développement et la complexification de l'idée de science des étudiants sont favorisés par ce que l'on pourrait appeler, à la suite de Giddens (1987), la "réhabilitation de la subjectivité", entendue comme la reconnaissance du caractère actif, réflexif et orienté de la pensée humaine, ce qui est le projet même du constructivisme-en-action.*

Le point de vue constructiviste sur la production du savoir scientifique et sur son appropriation en milieu scolaire implique, entre autres choses, la transformation du rapport habituel que les acteurs et actrices de la situation éducative entretiennent à l'égard de ce savoir et des personnes qui le produisent et le diffusent. En effet, comme nous l'enseignent les travaux contemporains en histoire, en sociologie et en anthropologie des sciences (Shapin et Schaffer, 1989 ; Callon et Latour, 1990), il n'est plus possible de soutenir que le savoir scientifique constitue le reflet spéculaire d'une réalité ontologique ou encore la description fidèle des lois d'une nature préorganisée. En fait, comme le souligne Lawson (1989), ce qui a été mis en pièces par ces travaux, c'est l'idée même de *vérité* en sciences et, du même coup, celle d'une hiérarchie objective des savoirs. On peut imaginer les conséquences de cette déconstruction de l'idéologie conventionnelle des sciences sur le plan de l'éducation à celles-ci, qu'il s'agisse de la conception des curricula ou encore des pratiques pédagogiques quotidiennes. Mais, pour l'instant, contentons-nous de signaler que cette redéfinition du savoir scientifique permet de problématiser, de mettre en question la science en milieu scolaire, et de fournir ainsi l'occasion aux uns et aux autres de développer un point de vue critique vis-à-vis du discours scientifique et, éventuellement, un rapport émancipatoire au savoir en cause.

l'idéologie  
conventionnelle  
des sciences en  
question

## Constructivisme et apprentissage des sciences

appropriation  
des savoirs et  
construction des  
connaissances

Du point de vue de l'appropriation du savoir scientifique par les élèves, le constructivisme nous paraît proposer un éclairage tout aussi prometteur quant au renouvellement épistémologique des modèles et pratiques d'enseignement des sciences. Rappelons que le constructivisme s'articule autour de deux propositions principales, comme le formule Ruel (1992) à la suite de Glasersfeld (1983) :

*"La première consiste en ce que le savoir ne peut pas être transmis passivement, mais qu'il doit être construit activement par le sujet-en-quête-de-connaissance. La seconde, c'est que la cognition doit être vue comme une fonction adaptative qui sert à l'organisation du monde de l'expérience plutôt qu'à la découverte d'une réalité ontologique."* (pp.26-27)

S'il est relativement trivial de concevoir, à la suite de Piaget, que l'élève construit ses connaissances, il l'est beaucoup moins de soutenir que la cognition ne fournit pas un accès à la réalité en soi et pour cause. Cela implique notamment que l'enseignant ou l'enseignante ne peut qu'inférer les significations que les élèves élaborent en tentant de donner un sens à leurs expériences de cognition, et agir suivant cette représentation qu'il se construit de leurs activités cognitives. Ce sera d'ailleurs cette représentation qui orientera la conception des activités pédagogiques, sa viabilité étant estimée selon le succès plus ou moins grand de l'action qu'elle inspire. Cependant, en aucun cas l'enseignant ne pourra prétendre à *transmettre* des connaissances, celles-ci ne pouvant être que co-produites lors des interactions entre les acteurs de la situation éducative, lors de leurs conversations sur des matières problématiques, selon l'expression heureuse de Bateson (1977).

pratiques  
d'enseignement  
et rapport au  
savoir

Adopter le point de vue constructiviste suppose donc des réaménagements importants sur le plan des pratiques pédagogiques et cela n'est possible que si l'enseignant n'est plus le porteur de vérités toutes faites et finies, et l'enseigné le récepteur passif et a-social de celles-ci. En bref, l'enjeu ne concerne pas la seule conception de la science qu'ont les uns et les autres, mais aussi leur conception plus particulière de ce que signifie l'établissement d'un rapport au savoir, en l'occurrence scientifique. C'est du moins l'une des conclusions que nous pouvons tirer d'une recherche\* en

\* La recherche dont il est question dans cet article, et qui a été rendue possible grâce à une subvention du Conseil de recherches en sciences humaines du Canada, a fait l'objet d'un livre (Larochelle & Désautels, 1992). Par ailleurs, nous avons déjà traité du thème que nous privilégions ici lors d'un colloque dont les actes ont été publiés en anglais sous la direction de Reinders Duit, Fred Goldberg et Hans Niedderer (*Research in physics learning. Theoretical issues and empirical studies*. Kiel: Institute for Science Education, 1991) qui nous ont permis de ré-utiliser cette publication pour les fins du présent article. Nous tenons à remercier Wilfrid Bilodeau, professeur à l'Université Laval, et Vasco Moretto, étudiant au doctorat à

milieu scolaire que nous avons menée dans cette perspective. Dans les pages qui suivent, nous relatons quelques éléments du contexte de cette recherche, puis nous présentons quelques-uns des points de vue des étudiants et étudiantes à propos des objets de réflexion privilégiés au cours de cette recherche, par le biais de la mise en oeuvre d'une stratégie pédagogique dite de dérangement épistémologique. Nous verrons comment l'étude du point de vue des étudiants sur leur rapport au savoir scientifique enseigné est instructive, voire troublante, quant aux représentations habituelles que l'on entretient à l'égard de leurs compétences de cognition. En fait, ils nous ont beaucoup appris et nous ont conduits à réviser la teneur des modèles de cognition les plus courants en didactique des sciences. En effet, le plus souvent, ces modèles, qui se réclament du constructivisme et postulent donc le caractère *actif* de la cognition, sont toutefois peu loquaces sur le statut épistémologique des agents de cette cognition, que ceux-ci soient en situation d'apprentissage (les étudiants) ou de production de connaissances officielles (les scientifiques).

## 1. QUELQUES ÉLÉMENTS DE LA PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE

À première vue, les problèmes que pose l'apprentissage des sciences peuvent être compris comme des problèmes de contenu. C'est du moins l'un des enseignements que l'on peut tirer du vaste programme de recherche (1) qui a pignon sur rue dans le domaine de la didactique des sciences depuis les années soixante-dix et qui a permis de renverser la prépondérance des interprétations à saveur empiriste de ces problèmes. En effet, par la mise au jour et l'étude du contenu des conceptions que se sont fabriquées les étudiants à l'égard des phénomènes de leur quotidien (qu'il s'agisse de la chute d'un corps ou de la trajectoire d'un mobile), ce programme a conduit à re-découvrir la pertinence de l'une des propositions du constructivisme, à savoir que toute pratique éducative ne peut faire l'économie du savoir des apprenants : il faut composer avec !

on ne peut faire fi  
du savoir des  
apprenants et  
apprenantes

---

la même université, qui ont participé au déroulement de l'expérimentation en milieu scolaire. Nous aimerions aussi souligner l'apport des discussions que nous avons eues notamment avec différents chercheurs en didactique des sciences (G. Aikenhead, K. Khun et I. Mitchell) et des mathématiques (G. Arsac, P. Cobb et T. Wood).

## La finalité de l'enseignement des sciences en question

Toutefois, malgré le regain pour la considération du savoir des apprenants, force nous est de constater que la finalité de l'enseignement des sciences n'est guère changée. C'est toujours la promotion des conceptions scientifiques qui prime *au détriment* de celles que se sont construites les apprenants. Les premières auraient pour elles les vertus que leur ont attribuées les philosophes et que les scientifiques ont repris à leur compte, à savoir la cohérence, l'objectivité, l'universalité et, surtout, une valeur prédictive. Quant aux secondes, qui ne jouiraient pas de la même immunité épistémologique, elles seraient incomplètes, voire erronées, superficielles, locales et inaptées à toute modélisation féconde, étant donné leur contamination par le savoir commun. Qui plus est, pour quelques auteurs, leur déploiement récapitulerait, en raccourci, l'évolution présumée de la pensée depuis les débuts de l'humanité. Certains étudiants auraient ainsi une conception du mouvement analogue à celle d'Aristote ou encore une théorisation des caractères acquis qui s'apparenterait aux propos de Lamarck. Au-delà des objections que peuvent soulever ces parallèles entre les contenus de pensée (Piaget et Garcia, 1983 ; Lythott, 1983) (on peut en effet se demander comment Aristote-enfant pensait !), on retrouve en filigrane dans cette comparaison, tout comme dans l'interprétation courante des conceptions dites spontanées des étudiants, le même idéal de sanction du savoir des apprenants qui n'est pas sans rappeler la normativité du projet positiviste. En d'autres termes, "composer avec" le savoir des apprenants ne modifie guère le protocole de l'enseignement proposé par les empiristes : ce sont toujours les mêmes "schémas de docilité" (2) au savoir établi qui sont véhiculés, les mêmes dépréciations du savoir commun qui sont affirmées au profit de l'orthodoxie scientifique dont on sait, par ailleurs, quel enjeu social représente la reconnaissance de son autorité (3).

Pourtant, si l'on met en suspens un tant soit peu la valorisation induite dont font l'objet les conceptions scientifiques, on peut se demander en quoi leur inculcation peut légitimement prétendre à modifier les conceptions des apprenants, puisque les unes et les autres relèvent de croyances et de postulats différents et ne poursuivent pas les mêmes finalités (Tiberghien, 1989). Par ailleurs, compte tenu de la forme d'inculcation qui existe en contexte scolaire et qui, le plus souvent, relève de la réification du savoir en cause (en le présentant, entre autres, comme un savoir achevé), n'est-il pas illusoire de penser que ce savoir pourra être approprié par les étudiants ? Comment peut-on négocier un savoir réifié ? Comment donner relief et sens à un savoir décontextualisé (Brown, Collins et Duguid, 1989), c'est-à-dire un savoir dont les conditions et contingences de production sont gommées ?

mais cela change-t-il la finalité de l'enseignement des sciences ?

savoir savant et savoir commun ou d'expérience ne sont pas interchangeables



le rapport au  
savoir dans les  
classes de  
sciences :  
inhibant ou  
émancipatoire ?

En somme, ne peut-on pas penser que la non-appropriation patente du savoir scientifique par les étudiants témoigne en quelque sorte de leurs compétences réflexives : pourquoi s'approprieraient-ils un savoir qui, dans leur cadre de référence, leur paraît dénué de signification et, partant, d'intérêt ? Pourquoi s'approprieraient-ils ce savoir alors qu'ils sont dans une situation qui ne leur permet guère l'accès aux ressources qui sont nécessaires pour le comprendre, n'étant confrontés qu'à des résultats, qu'à un savoir constitué et justifié, où est occulté le fait qu'au départ ce savoir était un problème et que celui-ci pour être tel dépendait, entre autres, d'une théorie, d'un langage et d'un sujet qui le structurent (Meyer, 1979) ? D'autre part, pourquoi devraient-ils faire un effort de conceptualisation, alors que, la plupart du temps, c'est à un engagement cognitif passif (Balacheff, 1986) qu'on les convie, puisqu'ils doivent retrouver une solution déjà trouvée, comme l'illustrent éloquentement les études portant sur les activités en laboratoire (Delamont, Beynon et Atkinson, 1988 ; Lessard, 1989) ? En deux mots, n'est-ce précisément pas parce qu'ils en savent long sur l'école et sur le type de rapport au savoir qui y est privilégié, qu'ils agissent comme ils le font ?

Certes, pour d'aucuns, l'orientation de nos interrogations semblera pour le moins optimiste : les étudiants ne partagent pas tous une même vigilance et conscience critiques, du moins sur le plan discursif. Toutefois, comme nous avons pu l'observer au cours d'une recherche récente, ils font montre d'une théorisation de l'enseignement des sciences dont la perspicacité est souvent bien plus élevée que celle d'intervenants dans le domaine. En effet, par le biais de la mise en œuvre de la stratégie dite de dérangement épistémologique, nous avons ainsi pu recueillir auprès d'étudiants nombre d'informations liées aux interrogations précitées, dont l'étude tend à montrer que le développement et la complexification de leurs compétences de cognition à l'égard du savoir scientifique sont favorisés par ce qu'on pourrait appeler à la suite de Giddens (1987), la "réhabilitation de la subjectivité", entendue comme la reconnaissance du caractère actif, réflexif et orienté de la pensée humaine. En d'autres termes, il semble que pour comprendre les enjeux et la signification de la production du savoir scientifique et de ses produits, il soit nécessaire que les étudiants se conçoivent et se structurent comme acteurs de leur cognition plutôt que de se confiner au rôle de récitant exemplaire du savoir des autres. Avant d'examiner leurs propos sur cet aspect de la transformation de leur rapport au savoir scientifique, quelques mots sur les circonstances de leur production (Vignaux, 1976), soit la stratégie pédagogique en cause et le traitement analytique des discours recueillis.

réhabiliter une  
subjectivité  
réflexive

## 2. QUELQUES ÉLÉMENTS DU CONTEXTE DE LA RECHERCHE

s'exercer à la  
démocratie  
épistémologique

Dans la foulée des préoccupations précitées, nous avons pensé une stratégie pédagogique qui donne un statut épistémologique plus actif aux élèves et à l'enseignant, intègre le caractère réflexif, conflictuel, inachevé et contingent de toute prise et production de connaissance et permet aux uns et aux autres de se familiariser avec le jeu très sérieux de la production du savoir scientifique. Cette stratégie dite de dérangement épistémologique vise ainsi à faciliter chez les étudiants le questionnement de leurs représentations en vue de les dépasser, et ce, grâce au développement d'une capacité de réfléchir et d'interroger, de manière critique, les postulats et finalités qui orientent leurs stratégies de construction de connaissance et celles des autres, nommément les scientifiques. En d'autres termes, il s'agit de favoriser l'occasion d'exercer une "démocratie épistémologique", en prenant conscience qu'il y a des points de vue, une diversité d'argumentations, etc.

l'illusion de la  
re-découverte

En ce sens, cette stratégie s'intéresse aux activités de construction et de négociation qui permettent d'imputer au savoir ainsi produit un statut de scientificité plutôt qu'à un contenu conceptuel et disciplinaire particulier. Ce choix tient à plusieurs raisons dont les suivantes. D'une part, il nous importait de rompre avec le pattern habituel de sollicitation (Voigt, 1985) qui, malgré quelques variations de parcours, conduit inévitablement à la ré-institutionnalisation du savoir déjà établi, ce dont les étudiants ne sont pas dupes sachant bien que "la réponse est déjà trouvée" et qu'à plus ou moins brève échéance elle leur sera divulguée, voire imposée. D'autre part, il est pour nous illusoire de penser que les étudiants réinventeront en quelques heures le contenu des concepts et théories qui sont le produit et l'enjeu de débats et de controverses, parfois séculaires, au sein de la communauté scientifique. La pédagogie de la re-découverte serait d'ailleurs l'une des quasi malhonnêtetés de l'enseignement des sciences, comme le souligne Driver (1983), les concepts et théories étant toujours imposés à l'expérience et non pas déduits de celle-ci. Enfin, il nous importait également de rejoindre une population d'étudiants ayant des intérêts divergents sur le plan des études. Nous estimons en effet que la compréhension des divers enjeux qui traversent la production du savoir scientifique est importante pour ceux et celles qui s'orientent aussi bien vers les sciences humaines que vers les sciences dites naturelles. Cela dit, examinons brièvement quelques composantes de cette stratégie.

## 2.1. La stratégie du dérangement épistémologique

La stratégie de dérangement épistémologique consiste, au sein d'une classe, à simuler deux conditions du jeu de la production du savoir scientifique que l'on peut résumer comme suit :

- *le savoir scientifique est un savoir construit, inventé* (les scientifiques élaborent des concepts, lois et théories afin de donner une signification aux phénomènes qu'ils modélisent et ainsi répondre aux questions qu'ils se posent relativement à ces modèles) ;
- *le savoir scientifique est un savoir négocié et argumenté* (la production du savoir scientifique est une entreprise essentiellement collective : il n'y a pas de science idiosyncratique. Les modèles et les solutions proposés sont soumis à l'évaluation des pairs qui en apprécient la pertinence logique et expérimentale par rapport au savoir établi. Par ailleurs, ces critères explicites s'appuient également sur des critères tacites, tels que les croyances métaphysiques, le prestige des chercheurs, etc.).

le savoir  
scientifique est  
un savoir  
construit et  
négocié

L'actualisation de ces conditions dans le contexte de la simulation repose notamment sur l'usage du logiciel *L'énigmatique* (Désautels, Lauzon et Larochelle, 1987) et prend la forme suivante : chaque groupe de trois étudiants forme une équipe de recherche qui dispose d'un laboratoire (microordinateurs), et a pour travail d'imaginer des solutions aux problèmes suscités par les diverses situations énigmatiques. L'énigme qui se pose aux chercheurs est reliée au comportement inattendu "d'entités" inconnues émises par l'un ou l'autre des quatre émetteurs disposés autour d'un carré opaque, et dont on peut repérer les traces à l'écran. Ainsi, comme l'illustre la figure 1, on constate que la trace laissée par une entité a changé d'orientation à la suite d'une possible interaction qui a eu lieu sous le carré opaque, alors qu'on aurait pu s'attendre qu'elle demeure rectiligne.

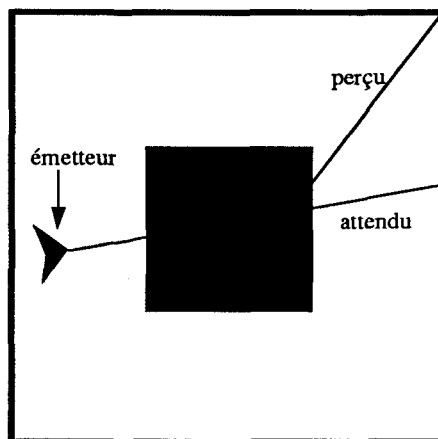


Figure 1

Ce sont éventuellement les différences entre les attentes des chercheurs et ce qu'ils perçoivent à l'écran, qui peuvent donner lieu à l'élaboration d'un problème à résoudre. Que signifie l'apparente déviation observée ? Y aurait-il un "objet" caché derrière le carré opaque qui permettrait de rendre compte du comportement des entités ? Est-il possible d'en construire un modèle explicatif ? Comment élucider cette situation énigmatique ?

rompre avec  
l'habitude de  
«la» réponse

Il nous faut tout d'abord souligner le fait que le logiciel permet de créer d'intéressantes situations de recherche. En effet, en aucun moment les chercheurs ne pourront "voir" derrière le carré opaque, tout comme les chercheurs scientifiques ne "voient" pas, par exemple, les forces gravitationnelles, les forces électro-magnétiques ou les électrons. Les chercheurs ne pourront par ailleurs jamais consulter une instance extérieure, que ce soit un manuel ou l'animateur, pour savoir s'ils ont fourni la bonne réponse, pas plus que les scientifiques ne peuvent (explicitement du moins) en appeler à une instance occulte pour vérifier la plausibilité des explications qu'ils élaborent afin de résoudre les problèmes qu'ils se posent. À l'instar de la communauté scientifique officielle, le groupe d'étudiants doit donc se donner des règles qui lui permettent d'opérer une discrimination et une sélection entre les diverses explications qui seront proposées. Et c'est par les discussions qui auront lieu et la qualité des arguments déployés que se développera un ou des consensus autour d'une ou plusieurs explications plausibles. En cas de litige, les protagonistes devront retourner à leurs laboratoires respectifs afin de mettre à l'épreuve les modèles proposés et développer une nouvelle argumentation. Mais, comme toute situation de recherche, il est des cas où deux modèles seront également plausibles et alors la petite communauté scientifique aura à vivre comme la grande, dans le doute, l'indécision... et la compétition !

## 2.2. La stratégie-en-action : une illustration

À titre d'illustration, examinons l'un des raisonnements possibles qui permet de fournir une explication aux comportements des entités tel que le propose la figure 1. La figure 2 offre un exemple des données recueillies, à la suite de plusieurs émissions.

On peut, de prime abord, penser que les entités sont déviées à la suite d'une collision avec un obstacle. En prolongeant les traces incidentes et déviées (indiquées respectivement par les majuscules et minuscule), on détermine leurs points de rencontre. Ces points de rencontre correspondent aux endroits où les entités sont déviées. Les points paraissant alignés, on n'a qu'à les relier par une droite pour obtenir la forme de l'obstacle présumé et expliquer ainsi le comportement des entités. Mais... s'agit-il vraiment de la "réalité" cachée par le carré ? Comment juger s'il en est bien ainsi ?

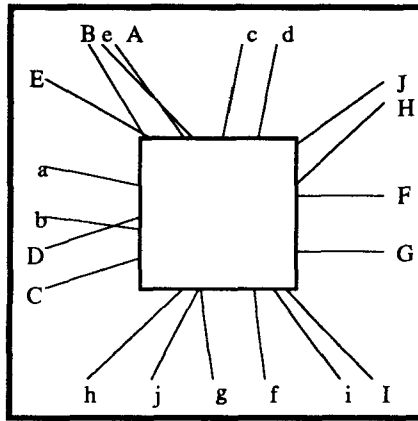


Figure 2

C'est au cours de la modélisation de ces explications qu'intervient la stratégie dite de dérangement épistémologique, en invitant les chercheurs à préciser les fondements de leurs explications, à réfléchir sur les limites de ces fondements et leur validité et à se construire collectivement, à l'instar des communautés scientifiques, des critères et des règles d'acceptation des modèles. Illustrons succinctement l'un des aspects de ce questionnement épistémologique dans le contexte de l'exploration que nous venons d'évoquer.

Le raisonnement qui supporte cette exploration — en apparence élémentaire — s'appuie sur une série de suppositions implicites dont les étudiants, en général, ne prennent pas conscience spontanément. Pour amorcer cette prise de conscience, il faut questionner les différentes étapes du raisonnement. En effet, d'entrée de jeu, ce raisonnement ne suppose-t-il pas que les chercheurs ont postulé l'existence d'un obstacle masqué par le carré ? Qu'ils ont aussi fait l'hypothèse que les entités se comportent comme des balles miniatures qui rebondissent après une collision avec un objet matériel solide ou encore comme des rayons lumineux qui sont réfléchis par un miroir ? Or, ces suppositions ne constituent-elles pas une première modélisation (implicite) des événements observés ?

Poursuivons l'analyse du raisonnement qui aurait permis de construire la présumée "forme" de l'obstacle. Les points ont été reliés par une droite — en fait, un segment ; comment peut-on être certain qu'il en est bien ainsi et qu'il n'y a pas de vides entre les points de rencontres retenus, par exemple ? Il est certes possible d'émettre une entité qui suivra une trajectoire appropriée, ce qui permettra d'obtenir éventuellement un point médian entre deux points, mais, de nouveau la question se pose : entre ce nouveau point et les autres, qu'en est-il ? Combien d'entités faudrait-il émettre

l'incontournable  
nécessité de  
supposer  
pour produire  
un savoir

pour obtenir une "certitude" ? Une infinité ? N'est-il pas nécessaire d'extrapoler et de supposer la continuité de "l'objet" caché ? Et, d'ailleurs, comment savoir s'il n'existe pas des "trous" qui seraient plus petits que les entités et qui ne pourraient pas, par conséquent, être détectés ? Par ailleurs, que doit-on supposer au sujet des trajectoires des entités qui disparaissent derrière le carré ? Si l'on prolonge les traces pour obtenir les points de rencontre, ne faut-il pas supposer que les entités continuent en ligne droite ?

Résumons-nous : parmi les suppositions implicites qui sous-tendent la construction de "l'image" de l'obstacle imaginé, on trouve celles-ci : l'existence d'un obstacle qui fait dévier les entités ; la nature "matérielle" ou "lumineuse" des entités ; le caractère rectiligne des trajectoires ; la continuité de l'obstacle. Mais ces suppositions sont elles-mêmes tributaires d'autres suppositions telles les suivantes : c'est la même entité qui ressort du carré ; si l'entité est une sphère matérielle, celle-ci n'est pas en rotation sur elle-même ; l'entité ne glisse pas sur la surface de l'obstacle ; il n'y a pas de force à distance (gravitationnelle, électrique ou autre) qui s'exerce entre l'entité et l'obstacle ; l'obstacle ne se déforme pas sous "l'impact" de l'entité.

Cette liste n'épuise certes pas toutes les suppositions implicites dans la construction de l'image de la forme de l'obstacle. Mais elle nous permet d'illustrer que cette image de l'obstacle est en fait un *modèle* — en l'occurrence, un modèle iconique. Ce modèle construit est fonctionnel, puisqu'il permet d'expliquer les expériences de cognition des chercheurs. Mais il est impossible d'affirmer ou de *prouver* que le modèle est une copie de la "réalité".

En somme, ce type de questionnement permet de poser le problème des limites de validité de la connaissance, en encourageant le repérage des suppositions nécessaires à la construction de cette connaissance. Toutefois, il est important de noter que les divers questionnements que nous avons menés diffèrent quelque peu de celui-ci. En effet, il était important de ne pas court-circuiter, comme nous l'avons fait ici à des fins de clarification théorique, le processus de repérage des présupposés qui guident l'élaboration des explications ; c'est une compétence intellectuelle que les étudiants devaient apprendre à développer ou à maîtriser, selon le cas, aidés en cela par le questionnement que nous mettions en œuvre selon notre compréhension de leur réflexion discursive et en action. Par ailleurs, nous considérons que la mise en branle de ce processus de repérage importait davantage que le nombre de présupposés inventoriés. D'autre part, la compétence intellectuelle associée à cette métaréflexion, bien que nécessaire au développement de toute réflexion critique, ne suffit pas, selon nous, à saisir la variété des conditions de production d'une connaissance. C'est pourquoi des questions similaires, au sens où elles encouragent l'investigation plutôt que la récitation d'une

un modèle  
témoigne des  
itinéraires  
cognitifs de sa  
construction et  
non pas d'une  
réalité en soi

réfléchir sur les  
tenants et  
aboutissants de  
sa propre  
réflexion

réponse, ont également porté sur la reconnaissance de la plausibilité de cette connaissance et sur les négociations (de sens et, dans certains cas, de pouvoir) qu'elle suppose à la suite des discussions "publiques" qu'ont tenues les équipes (les colloques) ou encore lors des discussions "privées" que nous pouvions entretenir avec chaque étudiant dans le cadre de la production écrite (les journaux) de leurs réflexions sur leurs façons de réfléchir. En effet, en plus de permettre aux étudiants de conduire un procès effectif de production de connaissance, la stratégie intègre des occasions de réflexions pouvant les aider à éclairer et à rendre compte de ce procès. Divers outils et formes d'interaction leur ont été ainsi proposés (4) depuis la tenue d'un cahier de laboratoire d'équipe, la production d'un journal "épistémologique" personnel, jusqu'à la réalisation d'affiches permettant aux équipes de confronter leurs modélisations lors de colloques scientifiques dont ils avaient la responsabilité de gestion. Plus précisément, ces colloques se déroulaient sous la supervision d'un jury de trois membres (élus à même le groupe classe) dont le mandat consistait à évaluer les travaux présentés et à désigner les équipes susceptibles de recevoir des subventions de recherche, compte tenu de la qualité de leurs travaux.

Cette stratégie a été mise en œuvre à l'intérieur d'un cours régulier de philosophie de la formation des étudiants au collégial, à raison de trois heures par semaine durant douze semaines. Trente-cinq étudiants, dont la moyenne d'âge était de 17 ans et cinq mois, composaient le groupe-classe. Ils avaient en moyenne suivi six cours de science au secondaire et trois au collégial.

### 2.3. Le traitement analytique

De nature essentiellement qualitative, l'étude des matériaux recueillis a donné lieu à plusieurs opérations analytiques. En effet, comme le principal outil de cueillette, c'est-à-dire le journal, favorisait l'expression d'un processus de production, plutôt que la seule mention des produits de cette production (comme c'est le cas pour les entrevues structurées ou les questionnaires à développement restreint), nous ne pouvions nous contenter d'effectuer un découpage des matériaux selon les seuls objets de réflexion qui caractérisaient ces discours (Glaser et Strauss, 1967, 1970 ; Strauss, 1990). Cela ne nous permettait pas d'intégrer au sein de notre analyse la continuité des discours ou, en d'autres termes, leur inévitable temporalité.

Aussi, à la suite de l'examen de la distribution temporelle des objets de discours, nous avons opté pour l'angle d'analyse suivant, c'est-à-dire : aborder les objets de discours en tant qu'amorce ou résultante de processus de cognition qui les sous-tendent et, éventuellement, les relient, afin de cerner la fonction de ces objets, inaccessible par la seule étude de leur contenu. Outre l'intérêt indiscutable de cet angle

les processus de  
cognition  
privilegiés par les  
étudiants et  
étudiantes : une  
reconstruction

analytique, nous rejoignons ainsi l'un des objets de discours des étudiants. En effet, en se penchant sur leurs façons de connaître et sur celles des scientifiques, les étudiants ont évoqué diverses démarches de connaissance ou en ont fait usage, démarches qu'il nous a semblé utile de ré-utiliser, à notre tour, pour rendre compte de leurs discours.

Nous avons ainsi effectué le découpage final des matériaux selon les processus de cognition qui semblent régir leur expression :

- a) la *clarification scolaire*, qui recouvre les énoncés qui ne font que confirmer ou nier une proposition plutôt que de témoigner de la position de leur auteur ;
- b) la *clarification épistémologique*, qui renvoie essentiellement à une sorte d'intériorisation discursive que font les étudiants de concepts qui sont couramment associés à l'entreprise scientifique ou à leur propre entreprise de production ;
- c) la *structuration*, qui caractérise les énoncés qui sont plutôt axés sur l'examen critique d'objets ou d'activités de connaissance ;
- d) et, enfin, la *dialectisation* qui, tout en procédant d'une structuration, va dans le sens d'une théorisation des objets et activités de connaissance, et tient compte de la pluralité des significations que peuvent comporter ces objets et ces activités selon le contexte. En ce sens, ce processus pourrait aussi être qualifié d'"*envol épistémologique*".

À titre d'information, notons que sur les trente-cinq étudiants, six ont fait un usage accusé du processus de clarification scolaire, alors que cinq autres y ont eu recours à quelques occasions, sans pour autant en faire un registre de réflexion usuel. De manière générale, ce sont les processus de clarification épistémologique et de structuration qui marquent le discours de plus des deux tiers des étudiants, étant entendu que, dans plusieurs cas, la frontière entre ces processus est délicate à tracer. En effet, le processus de structuration prend souvent forme à partir d'un processus de clarification, comme si le fait de s'expliquer un concept, par exemple, en favorisait la re-théorisation. Enfin, si le processus de dialectisation est contenu en germe dans certains cas de structuration, il n'est présent explicitement que dans le discours de deux sujets. Dans les pages qui suivent, les matériaux que nous présentons procèdent essentiellement des processus de clarification épistémologique et de structuration (un seul développement tenant de l'envol épistémologique). Bien que nous ayons opté pour une présentation qui traduit le développement temporel effectif des discours, ceux-ci prenant d'abord forme en une clarification puis en une structuration, le lecteur averti sera à même de constater le fréquent enchevêtrement de ces processus au sein d'un même énoncé.



### 3. QUELQUES RÉSULTATS ET DISCUSSIONS\*

Un examen de l'ensemble des discours révèle qu'un bon nombre d'étudiants ne s'étaient jamais arrêtés à réfléchir aux matières problématiques proposées dans le cours. Cela s'est exprimé de diverses façons, comme on peut l'observer dans l'extrait qui suit, à propos de leur façon de connaître :

*C'est incroyable le nombre de choses que j'ai remises en question depuis le début de ce cours à la suite de vos commentaires sur mes journaux et de la recherche comme telle. Je dois avouer que je ne m'attendais pas du tout à changer quoi que ce soit après ce cours et que je suis très surprise de tout ce que j'ai découvert depuis le début de la session. Je croyais tout savoir sur la production de connaissances scientifiques et plus le cours avance, moins j'ai l'impression que j'en connais, plus je découvre de choses dont je n'imaginai même pas qu'elles puissent exister. (S-12 : 10)*

Ces témoignages répétés nous amènent à penser que la plupart des étudiants n'avaient pas auparavant problématisé la connaissance et sa production, ni la leur, ni celle dite scientifique. Or, tant et aussi longtemps qu'un sujet ne peut pas envisager que la connaissance et sa production font problème, il lui sera très difficile d'imaginer d'autres possibles, d'autres jeux de la connaissance que celui qu'il tient pour évident, comme l'exprime si bien l'énoncé qui suit :

*C'est très difficile de prendre conscience que je fais des relations. Je tire des hypothèses à propos de L'énigmatique et ces hypothèses reposent sur des conceptions profondément ancrées en moi qui font que je n'ai aucune espèce d'idée du pourquoi c'est comme cela [...]. J'ai remarqué qu'il est très difficile de prendre conscience que ce que nous avançons repose souvent sur des postulats que l'on prend comme certitudes. C'est tellement difficile qu'il faut nous faire prendre conscience que ce sont des postulats sinon on ne s'en serait même pas aperçu. (S-9 : 5)*

Ainsi, la problématisation d'un thème, qu'il s'agisse d'un contenu particulier dans un champ du savoir ou de la production du savoir scientifique, constitue une condition nécessaire à la complexification conceptuelle. Or, selon les matériaux recueillis, il semble que la stratégie pédagogique qui a été mise en œuvre a contribué au développement de ce processus de problématisation et a constitué pour la majorité des étudiants une source assez importante de perturbations, qu'ils et elles ont reconnues comme telles, ce qui les a amenés à fabriquer des problèmes et à tenter d'y apporter des solutions. Parmi les objets de réflexion abordés par les étudiants, le statut épistémologique qui leur est générale-

la  
problématisation  
du savoir : un  
préalable à la  
complexification  
conceptuelle

\* Les symboles qui suivent les énoncés cités renvoient à l'auteur du discours (S-1 signifie sujet 1 et ainsi de suite jusqu'à 35) et à la page de son journal d'où est extraite la citation.

ment accordé en contexte scolaire est sans contredit le plus prégnant. En plus de comporter de précieuses informations pour quiconque s'intéresse aux compétences de cognition des étudiants et à leur pouvoir de les développer, l'étude des considérations épistémologiques des étudiants nous confronte de plein fouet au paradoxe des modèles de cognition active qui ont cours en didactique des sciences, et qui tient au fait que ces modèles d'action sont, la plupart du temps, conçus en l'absence de tout acteur et actrice ! Examinons d'abord les considérations des étudiants puis, dans une dernière section, la re-problématisation du développement conceptuel qu'elles nous suggèrent.

### 3.1. Le retour de l'acteur et de l'actrice

Cet intitulé que nous empruntons en partie à Touraine (1984) illustre bien l'orientation des réflexions effectuées par les étudiants sur leur propre statut de sujet apprenant. Que ce soit par une lecture de plus en plus critique de leur statut usuel d'apprenant en contexte scolaire ou encore par des développements relatifs à leur nouveau statut dans ce cours, la notion de sujet apprenant constitue ainsi une des idées clés du rapport qu'ont établi les étudiants avec l'objet de la stratégie du dérangement épistémologique.

### 3.2. Autour de l'idée de sujet apprenant

#### • La clarification : le sujet récitant

L'examen du statut d'apprenant prend d'abord forme dans la *clarification* que font les étudiants des diverses déterminations qui marquent leur marge de manœuvre en milieu scolaire. De manière générale, c'est l'asymétrie de la relation didactique qu'ils remettent en cause et, plus particulièrement, l'autorité non pas rationnelle mais bien traditionnelle qui la sous-tend et qui ne contribue guère à l'exercice de leur sens critique.

*Un de mes professeurs de science nous a expliqué un "principe" en nous disant pour commencer : "Je ne sais pas pourquoi c'est ainsi, je ne peux pas vous l'expliquer mais croyez-moi." Était-ce prudent de le suivre les yeux fermés sans poser de questions sur la nature ou les raisons de l'existence de ce principe ? Je ne crois pas. Pourtant personne n'osa répliquer et tout le monde le crut... Personne ne savait pourquoi [...] Il s'est servi de son autorité, sa "supériorité" pour nous faire valoir la validité de ce qu'il disait. (S-15 : 7)*

*La majorité des cours au collégial sont des cours dits "magistraux". Le professeur donne sa théorie et nous devons tout "gober", sans nous poser de questions. Je crois que nous avons tellement confiance en nos professeurs, en leurs théories, que ceux-ci pourraient nous berner sans que nous nous en rendions compte. Ce n'est pas de notre faute, ce n'est pas parce que nous sommes stupides, on ne nous laisse pas le temps de réfléchir ni de critiquer les notions ou les théories proposées. (S-7 : 1)*

autorité  
traditionnelle  
versus autorité  
rationnelle

Cette situation contribuerait à confiner les étudiants à un rôle exemplaire de récitant et d'exécutant, qu'ils intériorisent, voire s'approprient, malgré le peu d'intérêt cognitif qu'il comporte... et qu'ils dénoncent.

*Tous les cours que j'ai suivis sont basés sur l'apprentissage de matières scientifiques qu'il faut absorber sans demander le bien-fondé de ces recherches. Notre sens critique est mis à "0", on prend ces informations comme la vérité absolue. Une fois embarqué dans ce système, je crois que l'on y prend goût parce qu'on s'habitue à cette méthode qui ne demande en fait qu'une certaine compréhension et un petit effort de mémorisation ; notre curiosité s'efface peu à peu et j'irais même jusqu'à dire qu'on développe une paresse intellectuelle et donc une baisse d'intérêt qui peut nuire pour l'avenir. (S-32 : 1)*

les cours de sciences : un scénario déjà écrit...

Certains noteront même, de façon explicite, l'effet constitutif de ce rôle dans leur représentation de l'activité de production de connaissances scientifiques jusqu'à ce jour :

*Personnellement, je ne pensais pas qu'il pouvait exister une différence entre la réalisation de la recherche et sa présentation au public. Je pensais que ce qu'on nous présentait [à l'école] était vraiment la recherche elle-même. Ma perception est sûrement due au fait qu'aujourd'hui les cours de sciences sont tout programmés et dessinés d'avance. C'est-à-dire que, lorsqu'on fait une expérience quelconque dans n'importe laquelle des sphères de sciences, nous sommes toujours en face d'une recette ou d'un plan d'expérience que nous devons suivre à la lettre si nous voulons arriver aux résultats escomptés. Cette pratique fait de nous de parfaits petits robots qui sont récompensés par des points sur un bulletin. Je ne pense pas que l'on puisse vraiment appeler cela de la "science". (S-21 : 11)*

Pour la plupart des étudiants, la re-lecture de leur statut habituel et de ses effets dépréciatifs donne lieu, à un moment ou l'autre de leurs parcours, à une autre forme de dépréciation. En effet, l'examen de leur participation à l'accomplissement d'une relation pédagogique qui leur semble fort discutabile, conjugué à l'expérience du statut de producteur et de productrice à laquelle nous les invitions, les conduisent à repérer des écarts entre leurs actions habituelles de cognition en contexte scolaire et le discours critique qu'ils tiennent sur celui-ci. Dans certains cas, cette prise de conscience n'est que momentanément éprouvante, et semble rapidement jugulée par la satisfaction de mettre à l'épreuve leur capacité d'élaborer leurs propres explications :

...ou un scénario à écrire ?

*Cela peut paraître ridicule à première vue, mais bien que je sois en sciences je n'ai jamais eu vraiment l'occasion de donner mon opinion. J'ai appris à appliquer des "théories scientifiques" sans jamais me demander s'il pouvait exister autre chose de plus sensé. Par l'intermédiaire de ce cours, les rôles ont changé ; c'est à mon tour d'expliquer certains phénomènes [...] de pouvoir enfin exploiter toutes [mes] ressources afin d'accomplir un projet personnel et non arriver à une réponse toute trouvée et écrite à la fin du manuel. (S-1 : 2)*

les plaisirs et les  
angoisses de la  
conquête d'un  
nouveau statut  
épistémologique

On observe également, de manière générale, que l'enthousiasme de gérer les tenants et aboutissants d'un projet de recherche n'oblitére pas pour autant les heurts et grincements conceptuels qui sont inévitablement associés à cette responsabilité, et avec lesquels les étudiants ne sont guère familiers. Théoriser, imaginer, argumenter, négocier, sont certes des activités qui évitent l'engourdissement cognitif et dont ils semblent se réjouir. Toutefois, elles supposent l'abandon parfois malaisé d'habitudes scolaires bien ancrées.

En effet, qu'il s'agisse de contenus ou d'habitudes de connaissance ou encore de traits de caractère que s'attribuent les étudiants, la "conquête du carré noir", comme dit l'une (S-31 : 13), n'est pas toujours des plus conviviales ! De fait, on remarque à plusieurs reprises des bouleversements cognitifs parfois locaux, d'autres fois généralisés, sur lesquels la majorité des étudiants se sont attardés avec une intensité encore là variable. Pour certains, ces bouleversements font l'objet de développements, alors que d'autres les évoquent brièvement, comme l'illustre cet énoncé : "[Votre] recherche est bien organisée, même si elle nous pose des problèmes sur la manière d'être (on peut se sentir drôle et même se remettre en question)" (S-27 : 2).

On observe ainsi chez quelques étudiants une sorte de mise en pièces de leurs compétences personnelles, et qui semble, selon certains, particulièrement pénible. En effet, non seulement elle accuserait, selon leurs dires, une certaine ignorance, mais, de notre point de vue, déborderait rapidement leur seule représentation d'eux-mêmes pour aboutir à une remise en cause troublante des idées et pratiques de connaissance établies, dont celles dites scientifiques :

*Ce que j'ai appris depuis le début du cours et le début des journaux personnels, c'est que je ne sais rien. Du moins, pas grand-chose. Je ne sais rien des choses que je croyais connaître. Je croyais que la science était reliée à la connaissance. Je me rends compte maintenant qu'elle est beaucoup plus reliée à l'ignorance. Qu'est-ce qu'on sait dans le fond ? Tout ce que j'appelais "le savoir" est maintenant bien relatif. Ce ne sont que des hypothèses plausibles qui n'ont pas encore été démenties.*

*Je ne sais plus pourquoi on "doit" savoir puisqu'on ne sait rien. [...]. Je me pose souvent cette question. J'étudie pour avoir les meilleurs résultats possibles et je ne sais pas où tout ça va me mener. On nous "bourre" le crâne à l'école de connaissances sans pour autant nous familiariser avec ce qu'on apprend. Ce qu'on apprend, deux jours après l'examen, n'est plus très précis dans notre esprit. C'est encourageant de penser que demain, ça sera nous qui occuperons les postes de scientifiques, médecins, administrateurs et éducateurs. Belle perspective ! (S-15 : 7, 11)*

• **La structuration : le sujet producteur**

Toutefois, on peut aussi observer que les processus réflexifs de clarification des étudiants de même que les effets cognitifs parfois "difficiles à prendre" qui en émergent et même persistent, semblent, a posteriori, annonciateurs de transformations, voire d'objectivations. En effet, le repérage des diverses déterminations du statut d'apprenant n'épuise pas toutes les opérations effectuées simultanément ou postérieurement par les étudiants sur le sujet. Comme plusieurs de leurs opérations de clarification à l'égard d'autres concepts, celle-ci se transforme graduellement en une nouvelle *structuration* de leur représentation de leur statut et de leur participation à leur propre processus de formation, qui s'accompagne fréquemment d'une idée de connaissance moins figée. L'extrait qui suit illustre bien l'émergence de ce type de structuration. En effet, on y remarque une sorte de décentration du "sujet psychologique", ou, à tout le moins, une émancipation qui pointe vers une double structuration, à savoir : celle de soi en tant que sujet connaissant et celle de l'objet de connaissance qui n'est plus conçu comme un simple élément de mémorisation :

*J'ai réalisé que ma façon de connaître était "classique" ; on m'explique quelque chose, on me dit "c'est ça", avec bien sûr des preuves. J'assimile sans trop me poser de questions et je remets tout identique sur le papier. Avec cette expérience, on apprend à fonctionner autrement. J'avoue qu'au début j'aurais donné n'importe quoi pour avoir un cours classique ! J'ai appris que la connaissance c'est beaucoup plus un questionnement que du bourrage de crâne. (S-9 : 14)*

Dans d'autres cas, et il faut voir là encore une fois l'illustration de l'hétérogénéité des parcours, la transformation dont témoigne cette nouvelle structuration se situe à l'opposé de cette décentration. En fait, elle consiste justement en une centration sur le "sujet psychologique", opération qui, jusqu'à ce jour, aurait été évitée, notamment par crainte d'une dévalorisation :

*Il faut bien le dire en partant, c'est bien la première fois de ma vie que je réfléchis et que j'essaie d'explorer en profondeur une énigme qui finalement n'a pas de réponse. C'est une chose qui est très difficile car depuis que je suis toute petite, j'ai toujours réfléchi et j'en suis toujours arrivée à une conclusion, à une réponse sûre. Il m'est arrivée à plusieurs reprises de me demander si j'étais vraiment dans la bonne piste lors de ma première démarche de recherche. Je devenais tellement mêlée que j'oubliais par volonté mes nouvelles idées qui généralement venaient détruire les autres et je continuais où j'étais rendue. Plus je réfléchissais, plus je devenais perdue. Je crois que le fait d'avoir plein d'idées et de n'en arriver à aucune conclusion logique me rendait insécure et c'est la raison pour laquelle je m'en tenais seulement à ma piste de recherche initiale. Il y a plein de questions dans nos vies,*

où la clarification  
cède le pas à la  
structuration

tous les jours, que personne ne peut résoudre avec certitude, et auxquelles je ne prête pas attention. Je pense que cela est dû à mon incertitude, ma peur envers ce type de réflexion. Ce cours m'a apporté jusqu'à maintenant un peu plus de volonté à dépouiller ce qui m'entoure et me fait plus réfléchir avant de tirer des conclusions sur des choses, malgré la confusion que j'ai eue en cours de route sur ma façon de penser et de voir les choses. (S-29 : 8)

D'autres évoqueront leur sensibilisation nouvelle à une attitude de vigilance cognitive et l'importance de son maintien :

*La plus importante découverte fut pour moi lorsque je me suis rendu compte que j'avais une grande facilité à accepter ce que les autres me disaient. Surtout lorsque j'entendais mes professeurs de chimie et de physique qui expliquaient des phénomènes. C'est rare que l'on peut les voir nous expliquer d'où cela vient et pourquoi c'est ainsi. Ils répètent ce qui est écrit dans les volumes et c'est tout. Avant je ne me préoccupais pas de cela. Et maintenant je le fais.* (S-23 : 10)

Pour la majorité des étudiants, cette nouvelle structuration procède de leurs propres activités de recherche et de la prise de conscience graduelle du caractère construit des connaissances, que la réflexion sur ces activités suscite. Les éléments clés de cette réflexion constituent les principaux points d'aiguillage de notre analyse dont on trouvera le détail ailleurs (Larochelle et Désautels, 1992). Mais, à titre indicatif, il n'est sans doute pas inutile d'en inclure quelques illustrations, notamment parce qu'ils traduisent de manière intéressante le rapport d'appartenance que les étudiants, au titre de sujet connaissant, ont établi avec l'objet du cours.

Ainsi, la compréhension de "l'importance de postuler et de supposer" (S-2) semble être à l'origine de cette structuration pour quelques-uns. Le long extrait qui suit, et que l'on peut qualifier d'envol épistémologique, illustre bien cet aspect, de même que le "ludisme" cognitif qu'il a entraîné, aux dires mêmes de son auteure qui souligne que "les différents concepts et leurs relations et interactions devenaient complexes mais amusants" (S-3 : 10).

*Au cours de la recherche, plein d'idées nous sont venues en tête. Pour chaque idée, il fallait avoir de la suite dans les idées, et de la logique. Si l'on décidait que les entités émises se comportaient comme des rayons lumineux, il fallait, du même coup, supposer que ce qu'il y avait derrière le rectangle opaque devait être fait de matière réfléchissant la lumière. Par contre, si l'on supposait que ce qu'il y avait derrière le rectangle opaque n'était pas nécessairement fait de matière réfléchissant la lumière, il fallait alors trouver une autre nature aux entités. Il fallait toujours faire le lien entre la nature des entités et celle de ce que l'on supposait y avoir derrière le rectangle opaque. Mais il devenait encore plus difficile de s'entendre et de s'arrêter à une conclusion finale si*

supposer et  
postuler : une  
activité ludique

*l'on extrapolait. On pouvait aussi s'arrêter sur les entités seules. On pouvait supposer qu'il n'y avait rien derrière le rectangle opaque, alors la nature des entités devenait particulière. On pouvait, pour ce cas, donner la vie aux entités et supposer qu'elles se comportaient de façon régulière, de manière à créer l'impression d'un quelconque objet derrière le rectangle opaque, en lui donnant une allure, une forme. Mais toujours en complétant les entrées et les sorties des entités. En allant plus loin, si on leur donnait de la vie, on pouvait discuter d'instinct, ou de réelle intelligence, qui sait ? (S-3 : 9)*

où la notion  
d'erreur retrouve  
son sens  
étymologique

Pour d'autres étudiants, plus nombreux, la structuration aurait été favorisée par la prise de connaissance réflexive (plutôt que normative) de ce qu'ils appellent "leurs erreurs". De fait, pour la plupart, ces "erreurs", d'abord conçues comme la manifestation de failles personnelles, en viennent à être comprises comme des détours, voire des changements de cap inévitables qu'il y a d'ailleurs avantage à ne pas sous-estimer : ils permettent, entre autres, d'éviter l'enfermement dans une seule avenue de recherche et, même s'ils conduisent à des impasses, ils n'en sont pas moins porteurs d'informations qui ajoutent à l'expertise d'une équipe de recherche :

*Les erreurs et les détours, ce sont ces éléments qui nous conduisent à des résultats. Il est clair que lorsque les travaux privés sont une recherche, celle-ci doit contenir des erreurs et des détours de la part des chercheurs. S'il n'y avait pas d'erreurs, de détours, il n'y aurait pas de recherche car l'on connaîtrait le résultat et si une réponse, un résultat nous étaient donnés, les détours et les erreurs seraient automatiquement éliminés [...] Mais si une équipe se compare avec une autre (pour vérifier les résultats, c'est la seule façon car personne ne connaît les réponses) et qu'ils obtiennent les mêmes résultats, ils risquent fort bien d'avoir emprunté les mêmes étapes. On peut alors vérifier s'il y a eu des détours, des cheminements inutiles réalisés par une équipe. Mais, encore là, on peut prendre cela dans un autre sens. On pourrait dire aussi que l'équipe qui a pris le plus grand nombre d'étapes (détours) pour parvenir à un résultat final, est mieux placée que l'autre. Ces détours ou erreurs peuvent être considérés comme des données supplémentaires à la recherche, des preuves, des vérifications. (S-2 : 25)*

Enfin, pour quelques étudiants, ce sont plutôt les débats entre équipes qui les ont incités à réviser leurs comportements de cognition et à y déceler une "erreur" d'économie cognitive, si l'on peut dire. En effet, selon leurs dires, c'est la généralisation de leurs habitudes de connaissance à une situation-problème qui dépasse celles-ci, qui les a conduits à sous-estimer les termes mêmes du problème :

*Je crois que les conclusions que nous avons amenées étaient trop basées sur les observations. C'est sûr que c'est important de ne pas être en conflit avec les observations mais je*

*pense que nous y avons consacré tout de même trop de temps. Nous aurions dû analyser plutôt le comportement des "lignes" qui sortaient des diffuseurs. Une autre chose oubliée, c'est l'étude de la "ligne diagonale trouée". Cette "diagonale" aurait pu être beaucoup de choses, mais nous nous sommes simplifié la tâche en la définissant comme quelque chose qu'on voit régulièrement. Nous avons restreint nos possibilités en évitant d'aller au-delà des réalités habituelles. (S-34 : 9)*

En somme, si l'on revient aux préoccupations initiales de notre recherche, soit initier les étudiants aux jeux et enjeux du savoir scientifique et de sa production, quels enseignements peut-on tirer de ce "retour du sujet" quant à la pertinence et la faisabilité de la stratégie ?

Pour plusieurs raisons, cette stratégie nous semble pertinente et faisable. Elle est pertinente notamment puisque les étudiants transforment effectivement leur idée de science. Désormais, pour la majorité d'entre eux, la science résulte de l'activité concrète d'acteurs et d'actrices sociaux et de normes que ceux-ci se donnent pour en reconnaître la valeur. Il en découle un modèle de science qui se distingue de leurs modèles antérieurs par le pouvoir créateur et, surtout, le pouvoir de théoriser qu'il comporte : postuler, supposer, jauger collectivement de la plausibilité des résultats plutôt qu'en appeler à une censure occulte, autant de conquêtes théoriques importantes qui témoignent de l'appropriation effectuée par les étudiants tout au long du déroulement de la stratégie.

Par ailleurs, en ce qui concerne la problématique du développement et de la complexification de l'idée de science des étudiants, nous pouvons observer que ceux-ci reposent sur le développement et la complexification de l'univers de sens duquel cette idée participe, comme l'illustrent les propos que nous venons de présenter : avant de parler de la science, les étudiants parlent d'eux, examinent leurs conditions de sujet connaissant et, finalement, transforment la portée de celui-ci : ils ne sont pas que des re-producteurs mais aussi des producteurs de connaissance. L'énoncé qui suit tend d'ailleurs à montrer que la parenté des processus que les étudiants établissent entre la production de connaissances scientifiques et leur propre production contribue au développement d'une représentation plus avvertie et beaucoup moins fataliste de l'une et de l'autre :

*J'avoue que je n'ai jamais vraiment pensé au processus de production du moins jusqu'à maintenant. Mais je crois que c'était plutôt genre "inspiration du ciel" ! J'ai vite perdu cette version simpliste du processus de production [...] Mon idée de la science a vraiment évolué depuis le début des cours. Pour moi, j'ai toujours cru que les chercheurs scientifiques étaient des génies à l'intelligence deux ou trois fois plus grande que la nôtre. Mon idée était qu'ils se levaient un bon matin en disant aujourd'hui : "Aujourd'hui, j'ai à résoudre ce problème". Ils s'installaient devant leur feuille de papier et là*

les étudiants et étudiantes recouvrent leur statut de théoricien...

... et de producteur



*leur intelligence fonctionnait toute seule. Ils produisaient alors des connaissances scientifiques. Mais, d'après mes propres expériences, j'ai réalisé que ce n'était pas du tout comme ça. Il faut travailler et faire des essais et des erreurs, c'est en travaillant très fort que l'on arrive à quelque chose. (S-9 : 13)*

De plus, en donnant forme aux préoccupations qu'ils ont sélectionnées, en agissant donc réflexivement sur un objet, les étudiants expérimentent l'effet de cette action, soit une certaine maîtrise sur leurs actions de cognition. À la fin du cours, ils se reconnaissent, avec étonnement pour certains, avec satisfaction pour la plupart, la possibilité de nouveaux comportements de cognition qui infléchissent en quelque sorte leurs représentations antérieures d'eux-mêmes.

*Je pense que ce cours m'a permis d'aller plus en profondeur dans mes questionnements. Avant, lorsque j'affirmais quelque chose, je ne regardais pas s'il y avait d'autres possibilités, je pensais que c'était évident. Lors du premier cours à la salle d'ordinateurs, nous avons découvert qu'il y avait une diagonale dans le carré. J'étais absolument certaine que c'était la solution, que c'était évident, qu'on avait des preuves ! Je pense que je réagissais comme cela dans d'autres domaines également. Tout était évident. Maintenant, je prends le temps de réfléchir, de bien réfléchir. (S-33)*

En bref, les étudiants se transforment en construisant leur rapport à l'objet du cours, et ils s'y transforment parce que ce dernier permet, par la mise en relief de perspectives conformes à leurs préoccupations, d'agir sur ces préoccupations. En effet, tout semble indiquer qu'en permettant l'émergence et le développement d'un pouvoir réflexif à l'égard de la production du savoir scientifique, ce contexte facilite aussi chez les étudiants la prise de conscience de leurs propres processus de formation. En conclusion, examinons brièvement les questions que suscitent ces résultats au regard du caractère actif de la cognition.

### **3.3. Le caractère actif de la cognition ... revu et corrigé par les acteurs et les actrices**

La reconnaissance du caractère actif de la cognition n'est pas chose récente dans le domaine de l'éducation ni dans celui plus particulier de la didactique des sciences. Les travaux de Plaget ne sont certes pas étrangers à cette situation, bien que l'interprétation qui en est généralement proposée ne leur rende guère justice. En effet, le plus souvent, le concept d'action ne prend son sens qu'en opposition avec celui de réception qui caractérise les perspectives empiristes de la cognition. De ce fait, il signifie tout simplement que les personnes n'acquiescent pas passivement les informations, mais les reconstruisent de manière active selon des opérations intellectuelles qui vont se complexifiant. Mais si, comme le soutient le constructivisme, la cognition est

l'enrichissement  
des possibles :  
une finalité  
éducative  
prometteuse

“*agie*” et non pas “*subie*”, elle procède donc d’un agent, d’un acteur. Or, quelles sont les caractéristiques de cet acteur ? Quels enseignements pouvons-nous tirer de l’élucidation de son statut pour le renouvellement des pratiques pédagogiques quotidiennes ?

des modèles  
d’action sans  
acteur !

Les modèles de cognition active que propose la didactique des sciences sont peu loquaces sur le statut de l’acteur de cette cognition (5). On reconnaît certes que ses structures de cognition présentent plus d’un lien de parenté avec celles de ses condisciples ; on met également en exergue la similitude de ses contenus de pensée avec ceux des autres de son groupe d’âge, de même que les métaphores implicites dont il fait usage et qui renvoient à une symbolique culturelle commune à plusieurs personnes. Toutefois, lorsqu’on examine les attentes entretenues à l’égard de cet acteur, il semble doté d’un pouvoir de cognition considérablement restreint. En effet, en règle générale, ses compétences de cognition seront surtout sollicitées en vue d’une transformation des conceptions qu’il s’est construites, selon les tenants et aboutissants des conceptions scientifiques sur le sujet (6). Autrement dit, ce qu’on attend de cet acteur, c’est qu’il puisse jouer un scénario déjà écrit sur une scène déjà prête. Le caractère actif de la cognition est alors confiné au déploiement que cet acteur peut faire d’une batterie d’opérations intellectuelles dont, en outre, le contrôle et l’appréciation lui échappent (7). En effet, ce sont les personnes extérieures à son jeu (celles qui ont écrit la pièce ou aménagé la scène) qui évalueront cette cognition en procédant souventes fois par le relevé de ce qu’il n’a pas fait. C’est ainsi que l’on dira que les adolescents et adolescentes ont des difficultés de compréhension à l’égard du savoir scientifique, *parce qu’ils n’ont pas atteint le stade formel ou encore parce qu’ils n’ont pas des représentations préalables appropriées des concepts en cause*. Utile dans certains cas, ce traitement par la négative ne nous informe toutefois pas sur les compétences d’action des adolescents, sur ce qu’ils font ou peuvent faire.

l’acteur est  
l’auteur de son  
changement  
conceptuel

Compte tenu des matériaux que nous avons pu recueillir, le concept d’acteur qui sous-tend la théorie du social développée par Giddens nous semble particulièrement pertinent pour rendre compte du procès intellectuel qu’ont effectué les étudiants à l’égard de leur double statut de producteur et d’apprenant. En effet, prenant son sens à partir d’un réseau de concepts qui met l’accent sur les caractères actif et réflexif des conduites humaines, le concept d’acteur permet non seulement d’envisager une interprétation dynamique des conceptions dites spontanées, mais aussi de nuancer grandement les modèles de changement conceptuel qui se fondent sur une perspective à tendance mécaniste dudit changement (8) :

*“Cette croyance néglige, entre autres, le fait que la compréhension ou la connaissance qu’ont les êtres humains de leur*

*propre histoire est en partie constitutive de ce qu'est cette histoire et de ce qui contribue à son changement. [...]*

*[Car] les êtres humains font leur propre histoire en ayant connaissance de cette histoire, c'est-à-dire en tant qu'êtres réflexifs qui ne se contentent pas de "vivre" le temps mais qui, en même temps, se l'approprient de façon cognitive." (Giddens, 1987 : 39, 297)*

En somme, le degré de "compréhension" qu'a l'acteur d'une situation dont il fait partie contribue à orienter ses conduites dans cette situation. Il ne s'agit donc pas d'une sorte de "marionnette" cognitive qui performe au gré des contraintes et mouvances institutionnelles (9). C'est plutôt un acteur compétent qui a la capacité d'un contrôle réflexif sur ses conduites et celles des autres, et la capacité de rationaliser son action (10), selon la connaissance (ou les croyances) qu'il a des circonstances de celle-ci (1987, p. 43). À cet égard, les matériaux que nous avons recueillis sont éloquentes : les étudiants savent ce qu'ils peuvent faire et ne pas faire dans les classes de science. La citation qui suit illustre d'ailleurs le fait que son auteure est consciente que les contraintes institutionnelles, le plus souvent, ne permettent qu'un seul type d'action : "*Si... je m'opposais..., je me verrais arrêtée dans mon cheminement scolaire. Je ne passerais pas, donc je recommencerais*" (S-2 : 1). Par ailleurs, même si l'idée de science que les étudiants tiennent au début du cours est discutable, elle est néanmoins conforme au statut de spectateur de la connaissance qu'ils s'attribuent, ce qui une fois de plus illustre leur compétence d'acteur.

Mais qu'observe-t-on lorsque l'on change les contraintes ou, plutôt, lorsque celles-ci offrent non pas une seule possibilité d'action (la soumission) mais plusieurs ? Encore là, les matériaux recueillis sont instructifs : certains sujets continueront à jouer le jeu de la routine scolaire habituelle ; d'autres développeront des conduites qu'ils disent nouvelles mais d'application régionale au sens où elles ne sont déployées qu'à l'intérieur du contexte qui les autorise (soit le cours) ; d'autres enfin feront montre d'une structuration à tendance plus globalisante qui non seulement porte sur les objets et les processus de connaissance, mais aussi, dans certains cas, laisse transparaître, chez l'auteur, une estime accrue de son pouvoir d'estimation (11). Mais, en tout état de cause, on ne peut s'empêcher d'observer que la plupart des étudiants ont pu, au sein d'un tel contexte, prendre conscience de leur pouvoir de construction, de leur capacité "à créer une différence". En effet, que l'on pense à la mise en pièces qu'ils font de leur statut d'apprenant et à la redéfinition qui s'ensuit de la portée de ce statut ; ou encore à l'émergence de leurs capacités de "problématiser" la connaissance et sa production et à la transformation de leur idée de science qui en découle ; voilà quelques aspects qui témoignent, selon nous, de cette capacité tout comme de la

lorsque les  
contraintes sont  
aussi des  
ressources

réflexivité qui la sous-tend. Ce faisant, les étudiants ont pu accroître leur compétence de contrôle sur les contextes auxquels ils participent, tout comme leur capacité de rationalisation, c'est-à-dire de compréhension continue (tacite ou discursive) du fondement de leurs activités.

En l'occurrence, il nous semble que les conceptualisations habituelles du caractère actif de la cognition doivent être reconceptualisées pour intégrer "une théorie de l'acteur" (ou suivant les termes de la cybernétique non-triviale, "une théorie de l'observateur"), qui tient compte des théorisations des étudiants, que celles-ci portent sur la science, sur leur cognition ou sur leurs processus de formation. Cela suppose certes que nous ré-examinions sérieusement les pratiques d'enseignement des sciences et les mises entre parenthèses plus ou moins élégantes, plus ou moins subtiles, qu'on y fait de leur compétence d'acteur, tout comme de celle des scientifiques d'ailleurs. Mais, somme toute, l'envol épistémologique constructiviste n'est pas réservé aux seuls étudiants...

Jacques DÉSAUTELS  
 Marie LAROCHELLE  
 Départements de didactique  
 et de psychopédagogie  
 Université Laval (Québec),  
 CIRADE  
 Université du Québec à Montréal

## NOTES

- (1) La bibliographie réalisée par Pfundt et Duit (1991) illustre bien l'extension de ce programme dans divers domaines, alors que l'article de Gilbert et Watts (1983) en retrace de façon intéressante les postulats et les finalités poursuivies. Voir aussi Désautels et Laroche (1989) en ce qui a trait aux modèles épistémologiques "spontanés" d'adolescents et adolescentes.
- (2) Cette idée est de Foucault (1975).
- (3) Voir notamment le développement fort intéressant que propose Leclerc (1989) du concept de discipline scientifique et de ses enjeux sociaux.
- (4) On trouvera le détail de ces composantes dans Laroche et Désautels (1992).
- (5) Cette affirmation appelle quelques nuances. En effet, les travaux de Pope (1982) et de Wheatley (1989), notamment, présentent un traitement du sujet apprenant qui rejoint certaines de nos préoccupations. Les premiers toutefois procèdent d'une perspective plutôt psychologique alors que les seconds, qui vont plus loin dans la considération du caractère social du savoir scientifique, tendent à ne considérer cette socialité que sous le seul angle de sa reconnaissance par un groupe d'individus. En fait, comme on l'entend couramment, tout semble se passer comme si l'on opposait individu et social, plutôt qu'individu et collectif. Or, comme le rappelle Giddens (1987), l'individu n'est pas moins social... Enfin, les travaux de Hodson (1988) sur l'usage du micro-ordinateur en classe de sciences reposent sur une conception du sujet apprenant qui va dans le sens d'une reconnaissance de son statut de *producteur*.

- (6) Parmi les travaux qui ne visent pas cette substitution, ceux de Hills (1983, 1989) sont particulièrement intéressants. Par ailleurs, Gilbert, Osborne et Fensham (1982) soulignent, également l'utilité de rendre explicite, en classe de science, le point de vue des enfants et le point de vue des scientifiques afin de développer non pas "la science des scientifiques" mais bien le point de vue des enfants. Toutefois, leur désignation de ce point de vue par le vocable "children' science" nous semble discutable. En effet, bien que ce ne soit pas le but visé par ces chercheurs, ce vocable peut laisser croire que ce qui est intéressant doit nécessairement porter l'étiquette "scientifique".
- (7) Du moins, l'interprétation courante en didactique des sciences n'en fait pas mention, même si les travaux de Piaget, desquels elle s'inspire, montrent qu'à tous les stades du développement intellectuel, l'action du sujet est nécessairement récursive.
- (8) Ainsi, on peut penser au statut qu'accordent les stratégies du conflit cognitif à la contradiction, comme si la résolution de celle-ci ne pouvait être pensée qu'en termes de changement. Or, comme d'autres avant nous l'ont déjà remarqué, une situation conflictuelle peut être aussi bien source de dynamisme que source de stabilisation d'un état de choses ou encore, dans les cas extrêmes, de régression. (Pour ce dernier aspect, voir notamment l'analyse que fait Giddens des travaux de Bettelheim portant sur les expériences qu'il a vécues avec ses compagnons dans les camps de concentration, 1987, pp. 109-112.) Nous avons pu observer d'ailleurs tout au long de cette recherche comment le questionnement épistémologique n'était pas d'emblée émancipatoire. Pour certains étudiants, il semble même avoir constitué à certains moments de leurs parcours une menace à ce que nous pourrions appeler, à la suite de Giddens (1987, p. 110) "la 'certitude' des routines institutionnalisées", quelques-uns allant même jusqu'à remettre en cause leurs compétences de cognition.
- (9) Giddens souligne que, lorsque les contraintes réduisent à un seul type d'action le nombre de possibilités d'action, le plus souvent l'acteur conclura qu'il vaut mieux se soumettre, ce choix négatif procédant du désir de l'acteur d'éviter les conséquences de sa non-subordination :
- "L'agent "ne pouvait pas agir autrement" dans la situation parce qu'une seule option était possible, compte tenu de ce que voulait l'agent. ... il ne faut pas confondre ce qui précède avec le "ne pouvait pas faire autrement" qui marque la frontière conceptuelle de l'action ; ... Quand une seule option est faisable, la conscience [awareness] d'une telle limitation, conjuguée à ce que veut l'agent, constitue la raison de sa conduite."* (1987, p. 374)
- (10) Ceci ne signifie pas qu'il puisse en rendre compte aisément sur le plan discursif, l'explication orale étant aussi affaire de socialisation. Voir à ce sujet la réflexion de Giddens (1987)
- (11) Telle cette étudiante qui, lors de l'une des premières séances de travail à l'ordinateur, nous a fait part de son angoisse à "chercher ainsi" car, disait-elle, depuis son enfance elle n'aurait appris qu'à répéter et non pas à imaginer. Or, les propos qu'elle tient dans ses derniers journaux traduisent le développement d'une estime de soi qui semble contribuer à ses nouvelles conduites de ténacité à l'égard des problèmes qui, antérieurement, suscitaient un désarroi cognitif... et affectif.

## OUVRAGES CITÉS

BALACHEFF, N. Cognitive versus situational analysis of problem-solving behaviors. *For the Learning of Mathematics*, 6 (3) : 10-12, 1986.

BATESON, G. *Vers une écologie de l'esprit*. Tome 1. Paris : Éd. du Seuil, 1977.

BROWN, J.S., COLLINS, A. & DUGUID, P. Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18 (1) : 32-42, 1989.

CALLON, M. & LATOUR, B. (dir.) *La science telle qu'elle se fait*. Paris : Éd. La Découverte, 1991.

DELAMONT, S., BEYNON, J. & ATKINSON, P. In the beginning was the bunsen : the foundation of secondary school science. *International Journal of Qualitative Studies in Education*, 1 (4) : 315-329, 1988.

DÉSAUTELS, J. & LAROCHELLE, M. *Qu'est-ce que le savoir scientifique ? Points de vue d'adolescents et d'adolescentes*. Québec : Presses de l'Université Laval, 1989.

DÉSAUTELS, J., LAUZON, B. & LAROCHELLE, M. *L'énigmatique, un logiciel pour l'enseignement des sciences*. Québec : Centre d'enseignement et de recherche en informatique Clément Lockquell, 1987.

DRIVER, R. *The pupil as Scientist ?* Milton Keynes, ENG. : Open University Press, 1983.

FOUCAULT, N. *Surveiller et punir. Naissance de la prison*. Paris : Gallimard, 1975.

GIDDENS, A. *La constitution de la société*. Paris : Presses Universitaires de France, 1987.

GILBERT, J.K., OSBORNE, R.J. & FENSHAM, P.J. Children' science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66 (4) : 623-633, 1982.

GILBERT, J.K. & WATTS, M. Concepts, misconceptions and alternative conceptions : changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10 : 61-98, 1983.

GLASER, B.G. & STRAUSS, A.L. *The discovery of grounded-theory. Strategies for qualitative research*. Chicago : Aldine, 1967.

GLASER, B.G. & STRAUSS, A.L. "Discovery of substantive theory : a basic strategy underlying qualitative research", pp. 288-304, dans : Filstead, W.J. (ed.) *Qualitative Methodology. Firsthand involvement with the social world*. Chicago : Rand McNally College, 1970.

- GLASERSFELD, E. von. "L'apprentissage en tant qu'activité constructive", pp.70-101, dans : Bergeron, J. & Herscovics, N. (dir.) *Actes de la cinquième rencontre annuelle PME-NA*. Tome 1. Montréal : North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, 1983.
- HILLS, G. *Misconceptions misconceived ? Using conceptual change to understand some of the problems pupils change to understand some of the problems pupils have in learning science*. Ithaca, N.Y. : Cornell University, Proceedings of the International Seminar "Misconceptions in Science and Mathematics", pp. 264-275, 1983.
- HILLS, G. Students' "untutored" beliefs about natural phenomena : primitive science or commonsense ? *Science Education*, 73 (2) : 155-186, 1989.
- HODSON, D. Computer assisted learning : an alternative to lab work ? *New Zealand Science Teacher*, 56 : 40-44, 1988.
- LAROCHELLE, M. & DÉSAUTELS, J. *Autour de l'idée de science. Itinéraires cognitifs d'étudiants et d'étudiantes*. Québec/Bruxelles : Presses de l'Université Laval et De Boeck Wesmael, 1992.
- LAWSON, H. "Stories about stories", pp. xi-xxviii dans : Lawson, H. & Appignanesi, L. (eds.) *Dismantling truth. Reality in the post-modern world*. New York : St. Martin's Press, 1989.
- LECLERC, M. La notion de discipline scientifique et ses enjeux sociaux. *Politique*, 15 : 23-51, 1989.
- LESSARD, N. *Une étude ethnographique d'un laboratoire de chimie en contexte scolaire : activités expérimentales ou activités rituelles ?* Québec : Université Laval, Thèse de maîtrise non publiée, 1989.
- LYTHOTT, J. "Aristotelian" was given as the answer, but what was the question ? Ithaca, N.Y. : Cornell University, Proceedings of the International Seminar "Misconceptions in Science and Mathematics", pp. 276-284, 1983.
- MEYER, M. *Découverte et justification en science. Kantisme, néopositivisme et problématique*. Paris : Klincksieck, 1979.
- PFUNDT, H. & DUIT, R. *Bibliography : Students' alternative frameworks and science education* (3rd edition). Germany : Institute for science education, 1991.
- PIAGET, J. & GARCIA, R. *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris : Éd. Flammarion, 1983.
- POPE, M. Personal construction of formal knowledge. *Interchange*, 13 (4) : 3-14, 1982.

RUEL, F. "À propos du constructivisme", pp. 18-32, dans : Larochelle, M. & Désautels, J. *Autour de l'idée de science. Itinéraires cognitifs d'étudiants et d'étudiantes*. Québec/Bruxelles : Presses de l'Université Laval et De Boeck Wesmael, 1992.

SHAPIN, S. SCHAFFER, S. *Leviathan and the air pump. Hobbes, Boyle, and the experimental life*. New-Jersey : Princeton University Press, 1985.

STRAUSS, A.L. *Qualitative analysis for social scientists*. Cambridge : Cambridge University Press, 1990.

TIBERGHIEU, A. "Phénomènes et situations matérielles : quelles interprétations pour l'élève et le physicien ?", pp. 93-102, dans : Bednarz, N. & Garnier, C. (dir.) *Construction des savoirs. Obstacles et conflits*. Montréal : CIRADE et Agence d'Arc, 1989.

TOURAINÉ, A. *Le retour de l'acteur*. Paris : Éd. Fayard, 1984.

VIGNAUX, G. *L'argumentation. Essai d'une logique discursive*. Genève : Librairie Droz, 1976.

VOIGT, J. Patterns and routines in classroom interaction. *Recherches en Didactique des mathématiques*, 6(1) : 69-118, 1985.

WHEATLEY, G.H. *Constructivist perspectives on mathematics and science learning*. A paper presented at the First International Conference of the History and Philosophy of Science in Science Teaching, Tallahassee : Florida State University, November, 23 pages, 1989.



# 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).

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.

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.

associer le  
changement  
conceptuel à un  
entraînement à  
la démarche  
scientifique

contre le  
réductionnisme  
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 Martínez-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).

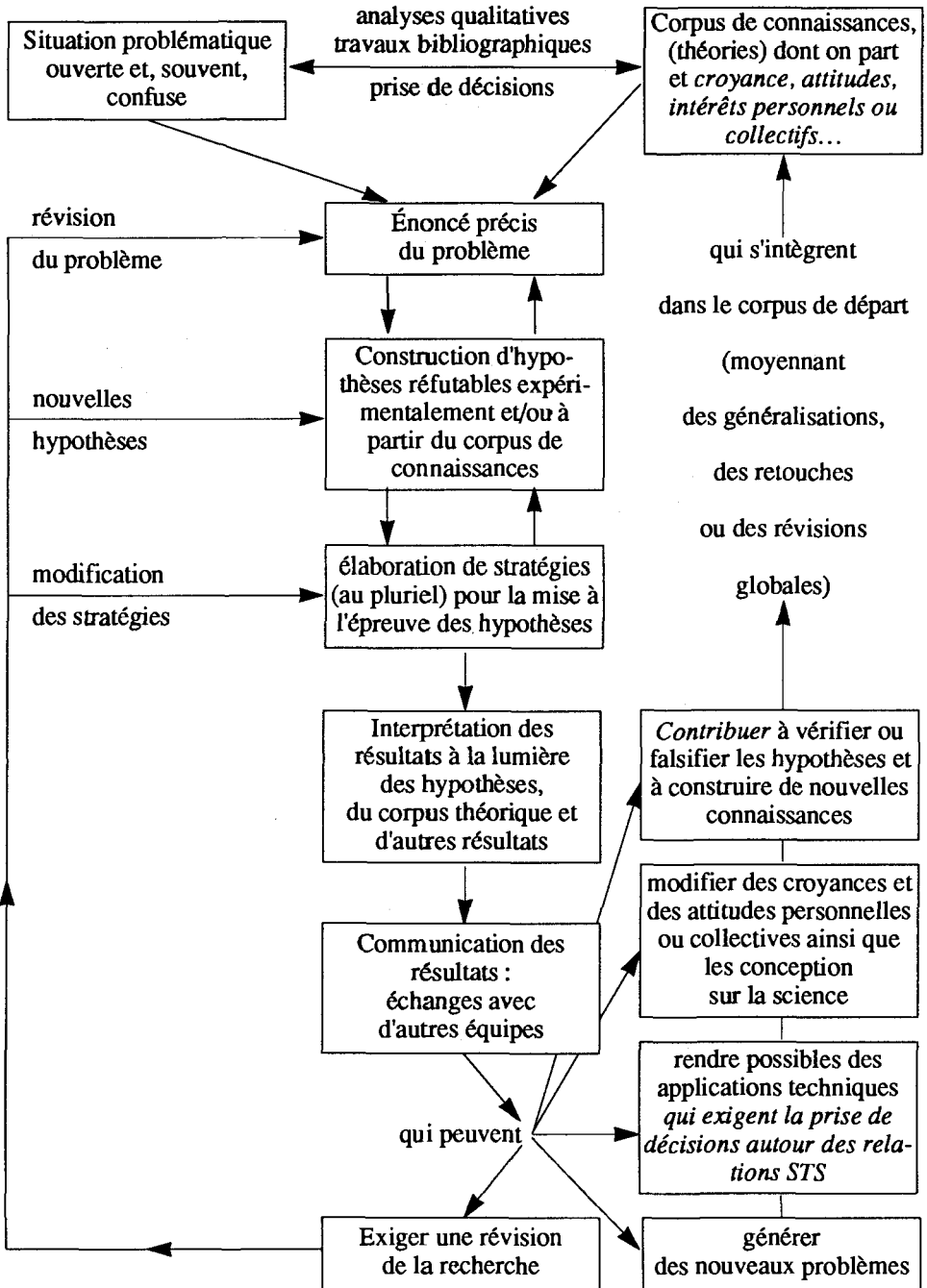
## **6.2. L'activité scientifique se réduit-elle au travail expérimental ?**

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.



# "ÉTUDIANTS-CHERCHEURS" : UNE PROPOSITION EN ÉLECTRODYNAMIQUE

Philippe Pinelli  
Richard Lefèvre

Cet article présente l'élaboration, l'expérimentation, et l'analyse, d'une séquence de Travaux Pratiques d'électrodynamique au 1er cycle universitaire (DEUG), mettant en jeu un certain nombre de "situations-problèmes" destinées à faire jouer aux apprenants le rôle de "chercheurs novices". Cette étude rend compte du comportement des étudiants, non seulement dans la pratique de la démarche expérimentale, mais aussi dans la modélisation des dipôles électriques ainsi que dans l'utilisation de ces modèles. Les résultats obtenus semblent encourageants : en effet, d'une part un certain nombre de phases caractéristiques d'une démarche expérimentale ont pu être repérées et mises en relation, d'autre part, la modélisation effectuée, quoique perfectible, a pu être réinvestie de façon opérationnelle.

L'enseignement de la physique dispensé à l'université repose le plus souvent, sur la trilogie "Cours Magistral, séquences de Travaux Dirigés, séquences de Travaux Pratiques" avec les finalités traditionnelles suivantes :

- le Cours Magistral est destiné à présenter aux étudiants les concepts, les lois, les théories, à un niveau choisi, c'est-à-dire le Savoir Scientifique (ou le "Savoir Savant") déjà élaboré ;
- les séquences de Travaux Dirigés servent à l'entraînement des étudiants dans le "manement" de ces concepts, lois, ou théories, sous forme d'exercices ou de problèmes ;
- les séquences de Travaux Pratiques permettent, grâce à des expérimentations et des mesurages, de vérifier ou d'appliquer les lois ou les théories.

Cette façon de transmettre le savoir, certes rentable avec des étudiants doués ou motivés, n'est peut-être pas la plus efficace, ni la plus attrayante pour l'apprenant confronté pour la première fois à l'enseignement universitaire. Il faudrait pouvoir rendre l'enseignement de la physique plus motivant pour les étudiants, mais également faire en sorte qu'ils utilisent une démarche réellement constructrice de savoir et savoir-faire scientifiques.

Pour les séquences de Travaux Pratiques, qui vont être ici l'objet de notre propos, nous pensons que l'on peut s'écarter avec profit du modèle pédagogique traditionnel pour se rapprocher d'un modèle plus proche des pratiques scientifiques de laboratoire, en plaçant l'étudiant en position de "chercheur novice" selon le modèle élaboré par D. Gil-Pérez (1).

(1) GIL-PÉREZ, D. *Contre les stratégies d'enseignement orientées à la production de changements conceptuels*. Communication présentée au 1er Séminaire National de Recherche en Didactique des Sciences Physiques, I. F. M., Université Joseph Fourier, Grenoble. (Octobre 1991).

le modèle  
traditionnel de  
l'enseignement  
de la physique à  
l'université

choix d'un  
modèle  
pédagogique  
proche de la  
démarche  
scientifique

Dans cette perspective, nous avons réalisé une situation d'apprentissage basée sur l'approche des "situations-problèmes" et nous nous proposons dans ce qui suit d'en présenter :

- le cadre théorique et les objectifs,
- l'élaboration et la mise en œuvre auprès d'un binôme d'étudiants au cours d'une séquence de Travaux Pratiques de physique du DEUG A,
- une analyse critique des résultats obtenus à la suite de cette expérimentation.

## 1. LE RÔLE DE L'EXPÉRIMENTATION DANS L'APPRENTISSAGE DU SAVOIR SCIENTIFIQUE

### 1.1. Option inductiviste

S. Johsua (2) nous rappelle que l'idéologie inductiviste, majoritairement admise dès la deuxième moitié du XIXème siècle et n'ayant cessé de s'approfondir depuis, repose sur la croyance que : *"l'observation et la mesure sont à la base de la "mise en évidence" des lois physiques et qu'il est possible de créer un cadre scolaire artificiel où l'élève, bien dirigé, serait apte à faire, en raccourci, ce même cheminement."*

L'induction apparaît alors comme la méthode naturelle d'élaboration du savoir en physique.

l'option  
inductiviste dans  
l'enseignement  
de la physique  
expérimentale...

Depuis le début du siècle les "Exercices Pratiques", c'est-à-dire les Travaux Pratiques, ont été introduits dans les divers cycles d'enseignement avec une intention très nette de lutte contre le "formalisme" et le "dogmatisme" alliée à une volonté de prise en compte dans l'enseignement de la "méthode expérimentale" inhérente aux sciences physiques.

Malgré cela, et même après la rénovation pédagogique des années 70, le rapport à l'expérimental en physique est resté de type inductiviste. En effet, très souvent le professeur introduit un concept, une loi ou une théorie par une *"monstration expérimentale"* (3) dont le point de départ est une expérience de référence (ou "prototypique") parlante et simple (en apparence) grâce à laquelle les élèves, moyennant une observation attentive, voient une loi s'établir de manière quasi évidente.

avec ses  
avantages...

Ce mode de transmission du savoir, satisfaisant pour l'enseignant car il permet d'établir rapidement des liaisons entre les éléments pertinents d'un phénomène et d'introduire de façon opérationnelle les concepts présentés, ne tient pas compte du fonctionnement cognitif des élèves ; en effet, ce type d'apprentissage se situe dans les modèles de *"l'empreinte"* (ou transmission-réception) et du *"conditionne-*

(2) JOHSUA, S. "Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire". *ASTER*, 8, pp. 29-53. (1989).

(3) Ibid note (2)

et ses  
inconvenients vis-  
à-vis de  
l'apprentissage

ment" (4). Ces modèles, bien que leur fonctionnement soit efficace dans certains cas, ne permettent pas à la majorité des élèves de "construire" leurs savoirs ; ils reçoivent les représentations du maître, assistent à la mise en oeuvre de raisonnements élaborés par lui et donc apprennent un modèle mais ne modélisent pas ! Ce type d'enseignement va à l'encontre d'un apprentissage efficace et motivant, car comme le rappelle G. Robardet (5) : *"on ignore le plus souvent les représentations initiales de l'élève, qui les conservera intactes par la suite, (ce, d'autant plus que les expériences qu'on lui présente sont déconnectées du réel) et il aura en outre de grandes difficultés à séparer les faits et le modèle ; il doit en revanche conceptualiser rapidement au fur et à mesure que le programme avance"*.

On souhaiterait, à l'inverse, que les élèves se posent réellement des questions et construisent leur savoir en modifiant leurs représentations initiales. Plutôt que de leur faire consommer des expérimentations destinées à leur montrer des phénomènes ou des lois de façon qualitative ou quantitative (même si on leur propose des calculs d'incertitude pour leur faire prendre conscience des limites de la mesure), on peut penser à les pousser à concevoir eux-mêmes des expérimentations à partir de questions que, certes nous les amenons à se poser, mais pour lesquelles les modèles que nous voulons qu'ils acquièrent, seront les solutions optimales.

## 1.2. Option constructiviste

### • Pour une conception plus constructiviste de l'apprentissage

La plupart des didacticiens se reconnaissent volontiers "constructivistes". Ce terme peut, en fait, recouvrir plusieurs acceptions, selon les angles d'approche qui peuvent être d'ordre épistémologique, psychologique ou didactique. C'est sous l'angle didactique que nous nous plaçons, le point de vue constructiviste s'opposant alors au point de vue transmissif, en plaçant l'étudiant au centre des situations d'apprentissages, en position de se questionner par rapport à un savoir énigmatique.

la connaissance  
ne se reçoit pas  
mais se construit

G. Bachelard disait déjà en 1938 (6) : *"... toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir de connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné tout est construit"*, et un peu plus loin :

- 
- (4) ASTOLFI, J.P. "Comment construire une séquence d'apprentissage ?" In : *Apprenons pour enseigner II*. Toulouse : C.R.D.P. (1990), pp. 12-17.
- (5) ROBARDET, G. "Enseigner les sciences physiques à partir de situations-problèmes". *B.U.P.*, 720, pp. 17-28. (1990).
- (6) BACHELARD, G. *La formation de l'esprit scientifique* (11<sup>ème</sup> édition). Paris : Vrin. (1980).

“... il s'agit alors, non pas d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amorcés par la vie quotidienne”.

C'est dans ce modèle d'apprentissage que la situation-problème va jouer un rôle important car elle va conduire l'élève :

- à expliciter et faire fonctionner ses conceptions,
- à les modifier si l'objet résiste,
- à mesurer l'écart entre celles-ci et les faits,
- à fonctionner sur le mode “hypothético-déductif” plus proche de la démarche réelle de construction du savoir en sciences,
- à élaborer pour mieux s'approprier les instruments pertinents de la résolution, donc à faire évoluer ses conceptions, en étant l'acteur principal du processus d'apprentissage.

• **La situation-problème dans l'expérimental en sciences**

Le rôle de l'expérimental en sciences est très important car il permet de passer “de la pensée et de la connaissance communes” aux “pensée et connaissance scientifiques” (7), les premières constituant de nombreux “obstacles” aux secondes car elles sont constamment employées, et très utiles dans la vie courante des élèves et des adultes en général (8).

Or la physique utilise des concepts et des modèles qui lui sont propres, et qui visent non seulement à rendre compte des faits mais aussi à les prévoir de façon qualitative et surtout quantitative ; de plus l'élaboration des modèles ou des théories scientifiques, s'appuie principalement sur la “démarche expérimentale”. Elle est mise en oeuvre lorsqu'un scientifique cherche des réponses à une question qu'il se pose. Les principales phases repérables de cette démarche sont : formulation correcte du problème, émission d'hypothèses, vérification de ces hypothèses et interprétation des résultats (9).

Les élèves, eux, ne peuvent pas tout redécouvrir ni même, le plus souvent, simplement savoir à l'avance quel est le problème à résoudre. Néanmoins il est possible, en leur proposant des “situations-problèmes” qui piquent leur curiosité, de les placer en situation de “recherche dirigée” où ils joueront le rôle de “chercheurs novices” en “répliquant des recherches” dans des domaines parfaitement connus par le “directeur de recherche” (le professeur) ; les résultats de

le rôle de  
l'expérimental  
dans la  
recherche  
scientifique...

(7) Ibid.(6)

(8) JOHSUA, S. et DUPIN, J.J. *Représentations et modélisations : le “débat scientifique” dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne : Peter Lang. (1989).

(9) DEVELAY, M. “Sur la méthode expérimentale”. *ASTER*, 8, pp. 3-15. (1989).

et dans une option constructiviste de l'apprentissage

leurs recherches seront ensuite confrontés à ceux de la "communauté scientifique" (la classe) (10).

La situation-problème en Travaux Pratiques de physique peut donc jouer un double rôle, d'une part servir de support à un apprentissage du savoir scientifique et d'autre part permettre la formation de l'esprit scientifique.

### 1.3. Conditions d'élaboration d'une situation-problème

La situation doit présenter un caractère énigmatique suffisamment attractif pour que l'élève ait envie de résoudre le problème ; par ailleurs elle doit permettre la mise en oeuvre de stratégies différentes ceci afin que chaque élève puisse s'adapter et s'engager dans un processus de recherche qui lui est propre.

une situation-problème doit rendre l'élève responsable vis-à-vis de son apprentissage

G. Brousseau qualifie une telle situation "d'a-didactique, en ce sens que disparaît d'elle l'intention d'enseigner", il nomme "dévolution", "l'acte par lequel l'enseignant fait accepter à l'élève la responsabilité d'une situation d'apprentissage (a-didactique)", et il précise que cette situation doit provoquer chez l'élève une "interaction la plus indépendante et la plus féconde possible" (11).

En outre C. Margolinas précise que si l'on veut que l'élève endosse complètement la responsabilité de l'acquisition de nouveaux savoirs, il faut en plus que "le milieu permette une phase de validation" pour qu'il "y décide lui-même de la validité de son travail" (12).

Par ailleurs, l'équipe de recherche du G.R.A.F. de Grenoble, propose **quatre conditions** nécessaires à une "dévolution satisfaisante" de la situation-problème.

- Il faut que le modèle que les étudiants doivent s'approprié (et qui est l'objectif d'apprentissage) puisse être confronté au "milieu", ce fonctionnement dialectique entre le modèle et le milieu permettra de produire des réponses pertinentes destinées à valider ou non le modèle.
- Il ne doit pas y avoir un écart trop important entre le niveau de référence empirique et théorique des élèves et les règles de fonctionnement du modèle qu'ils devront élaborer, sinon les élèves ne pourront pas réaliser "l'accommodation" souhaitée.
- Il y a des limites à la construction de connaissances nouvelles par une activité d'adaptation des élèves notamment

(10) Ibid note (1).

(11) BROUSSEAU, G. "Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques". In : *Recherches en didactique des mathématiques*, 2 (3). Grenoble : La Pensée Sauvage. (1986).

(12) MARGOLINAS, C. *Le point de vue de la validation : essai de synthèse et d'analyse en didactique des mathématiques*. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble. (1989).

lorsque se présentent des "obstacles épistémologiques" insurmontables, auquel cas l'enseignant doit apporter le "modèle scientifique".

- L'interaction sociale et le débat entre pairs (le maître n'étant pas forcément exclu) jouent un rôle déterminant dans les procédures toujours complexes de validation d'un modèle, sauf dans quelques cas particuliers où un contrôle par la mesure (ou le calcul) peut être fait, ou bien s'il s'agit de réalisations pratiques obéissant à des critères énoncés à l'avance (13).

Il apparaît dans les conditions énoncées, la nécessité de prise en compte des limites du fonctionnement cognitif des élèves, ainsi que l'importance du "milieu" chargé de produire des "réponses pertinentes pour l'apprentissage en cours" (14), et enfin l'importance de l'interaction sociale favorisant un plus large progrès cognitif.

Enfin D. Gil-Pérez attire notre attention sur le fait que, dans une stratégie constructiviste "radicale" d'apprentissage élaborée dans le but de produire chez les apprenants un "changement conceptuel" ayant un statut scientifique, et afin de leur permettre de dépasser leur "méthodologie spontanée du sens commun", il faut placer les élèves en situation de s'approprier une "nouvelle méthodologie" c'est-à-dire leur faire pratiquer une "démarche expérimentale" (15).

traitement d'une situation-problème afin de faire pratiquer à des élèves une démarche expérimentale

Une telle stratégie peut se résumer à :

- poser des situations problématiques ;
- proposer aux élèves une étude qualitative de ces situations afin de déclencher une phase de reformulation ;
- diriger un traitement scientifique des problèmes posés avec les étapes suivantes :
  - . une phase d'anticipation,
  - . une phase d'action,
  - . une phase de formulation,
  - . une phase de validation ;
- proposer le maniement réitéré des nouvelles connaissances dans des situations diverses afin d'établir une phase d'institutionnalisation.

Il reste à préciser l'attitude de l'enseignant durant cette séquence d'apprentissage.

Ph. Meirieu nous indique "qu'il conviendra d'intervenir non pour "résoudre le problème" à la place des élèves mais pour en souligner la structure, rappeler les consignes, pointer les

(13) G.R.A.F. Grenoble. *Recherche de critères relatifs au processus de dévolution d'un problème de sciences physiques*. Communication présentée au 1er Séminaire National de Recherche en Didactique des Sciences Physiques, I. F. M., Université Joseph Fourier, Grenoble. (Octobre 1991).

(14) BROUSSEAU, G. "Le contrat didactique : le milieu". In : *Recherches en didactique des mathématiques*, 9 (3). Grenoble : La Pensée Sauvage. (1988).

(15) Ibid note (1)

l'enseignant doit jouer le rôle d'un directeur de recherches

*dévoiements du groupe, proposer des activités intermédiaires, soulager le travail par l'utilisation de supports facilitateurs*" (16).

G. Brousseau quant à lui nous dit que le maître "*communique ou s'abstient de communiquer, selon le cas, des informations, des questions, des méthodes... des heuristiques etc...*" (17).

Pour résumer, l'enseignant conseille et contrôle comme un "chef des travaux", il assure donc une guidance en veillant au respect du "contrat didactique".

#### **1.4. Objet d'étude : expérimentation de situations-problèmes au cours d'une séquence de travaux pratiques de physique du DEUG A 1ère année (à l'Université Paul Sabatier de Toulouse)**

##### **• Objectifs de la situation-problème proposée**

Les objectifs que nous nous assignons, en ce qui concerne le déroulement de la séquence de T. P. sous forme de situation-problème sont les suivants.

Pour les étudiants (fonctionnant par groupes de deux) :

- l'initiation à la démarche scientifique et plus précisément à la démarche expérimentale ;
- la modélisation de dipôles électriques en courant continu et l'utilisation de ces modèles par leurs caractères opérationnel et prévisionnel.

Pour le chercheur en didactique :

- l'observation du comportement des étudiants face aux deux objectifs précédents.

##### **• Les différentes étapes de l'expérimentation**

Dans ce qui suit nous allons présenter :

- l'élaboration de la séquence de Travaux Pratiques accompagnée des justifications de cette élaboration ;
- le déroulement de cette séquence, c'est-à-dire l'expérimentation proprement dite ;
- l'analyse critique des résultats de cette expérimentation.

## **2. ÉLABORATION DE LA SÉQUENCE DE T. P.**

### **2.1. Choix du thème**

L'électrocinétique en courant continu est un domaine assez familier aux étudiants de première année de DEUG A, tant au point de vue des concepts physiques ou mathématiques employés, qu'au point de vue du matériel utilisé en Travaux Pratiques. Les recherches en didactique de ces dernières années ayant surtout porté, en électrocinétique, sur les

thème choisi : les dipôles en courant continu

(16) MEIRIEU, P. *Apprendre, oui mais comment ?* Paris : E.S.F. (1988).

(17) Ibid note (11)

conceptions ou la résolution de problèmes, il nous a paru intéressant de nous orienter vers l'activité expérimentale des élèves dans ce domaine. Enfin nous avons choisi de travailler sur le thème des dipôles car ils constituent l'un des concepts fondamentaux dans l'étude des circuits électriques.

## 2.2. Choix des différentes questions

Le document 1 est la feuille-questionnaire remise aux étudiants.

### ÉTUDE DE DIPÔLES ET D'ASSOCIATIONS DE DIPÔLES

Vous disposez de 6 dipôles, chacun dans sa boîte noire :

●A1  
  
●B1  
D1

●A2  
  
●B2  
D2

●A3  
  
●B3  
D3

●A4  
  
●B4  
D4

●A5  
  
●B5  
D5

●A6  
  
●B6  
D6

Q I - Identifier qualitativement chacun des dipôles D1 à D5 ; décrire dans chaque cas votre méthode. (15' si peu trouvés ----> aide).

Q II - Déterminer le(s) paramètre(s) caractéristique(s) de chacun de ces 5 dipôles (lorsque c'est possible).

Q III - Quels sont les 2 dipôles identiques à ceux précédemment étudiés qui constituent D6 et comment sont-ils associés ?

Q IV - Prévoir le plus exactement possible, et vérifier, les valeurs de la tension et du courant dans les deux circuits ci-dessous :

I ?

CIRCUIT ( 1 )

I ?

CIRCUIT ( 2 )



Elle comprend quelques schémas et 4 questions (notées Q I, ... Q IV) que nous analysons dans ce qui suit à partir de deux points de vue : celui de la démarche scientifique et celui de la modélisation.

• **Par rapport à une initiation à la démarche scientifique**

- Question Q I : *"Identifier qualitativement chacun des dipôles D1 à D5 ; décrire dans chaque cas votre méthode"*.

une étude qualitative est proposée

Nous avons décidé de débiter par une étude qualitative sur les dipôles, d'une part afin de voir quelles sont les conceptions des étudiants et la façon dont ils les font fonctionner, d'autre part afin d'observer leurs comportements dans une activité de recherche ; de plus, dans le but de rendre la situation énigmatique et afin que les étudiants ne puissent pas donner de réponse sans une expérimentation préalable, chaque dipôle a été enfermé dans une boîte noire et ainsi rendu accessible uniquement par ses bornes de branchement A et B. Cette approche qualitative doit leur permettre de dégager des critères pertinents, concernant leur objet d'étude, qu'ils affineront par la suite.

les dipôles sont placés dans des "boîtes noires"

Nous avons aussi voulu dans cette première question qu'ils échangent leurs points de vue, fassent des pronostics, des tests, de telle sorte que, stimulés par la dynamique de ces diverses interactions, ils entrent plus facilement dans le "jeu" de la situation-problème et qu'ainsi le processus de dévolution s'amorce de façon plus favorable.

les étudiants disposent d'un matériel varié d'investigation et de fiches d'aide

Par ailleurs, divers appareils et instruments sont à leur disposition, ceci afin de rendre possibles plusieurs approches, ainsi que des fiches d'aide, à consulter seulement en cas de blocage.

Les étudiants doivent aussi rédiger un compte rendu afin de présenter leurs méthodes d'investigation et les résultats obtenus.

- Question Q II : *"Déterminer le(s) paramètre(s) caractéristique(s) de chacun de ces 5 dipôles (lorsque c'est possible)"*.

Les étudiants doivent ici, après la phase d'anticipation de la question Q I, caractériser le mieux possible chacun des objets d'étude en repérant des invariants (les paramètres caractéristiques) permettant de décrire de façon univoque chaque objet et son comportement particulier.

- Question Q III : *"Quels sont les 2 dipôles identiques à ceux précédemment étudiés qui constituent D6 et comment sont-ils associés ?"*

Cette question a pour but d'entretenir la dévolution par son caractère énigmatique, mais aussi elle doit permettre aux étudiants de réinvestir le processus de démarche scientifique élaboré à la question Q I ; par ailleurs, ils vont pouvoir évaluer si les paramètres retenus pour caractériser chaque dipôle peuvent être réinvestis et donc adéquats pour caractériser un dipôle un peu plus complexe.

- Question Q IV : "Prévoir le plus exactement possible, et vérifier, les valeurs de la tension et du courant dans les deux circuits ci-dessous :"

Les étudiants sont encore invités à pratiquer une activité expérimentale qui va en outre leur servir à valider, sur quelques cas, les paramètres caractéristiques retenus pour décrire chaque dipôle ; en effet ce seront des critères scientifiques recevables s'ils permettent de prévoir de façon quantitative les résultats d'une expérience nouvelle, et d'accorder ainsi "théorie" et expérience.

#### • Par rapport à la modélisation des dipôles

- La question Q I, par l'approche qualitative qui est demandée, doit inciter les étudiants à réaliser une classification des dipôles (actifs ou non, symétriques ou non, polarisés ou non, linéaires ou non) ceci afin qu'ils puissent avoir une représentation assez précise du dipôle situé dans chacune des boîtes noires D1 à D5.

les étudiants doivent classer les dipôles puis tenter de les modéliser à l'aide des caractéristiques courant-tension

- La question Q II est destinée à la détermination des paramètres caractérisant chaque dipôle, donc à l'établissement du "modèle" associé à chacun d'eux, au moyen de mesurages, de tracés des caractéristiques  $U(I)$  ou  $I(U)$  et de calculs réalisés à partir de ceux-ci et ce uniquement pour des dipôles linéaires ou facilement linéarisables. Nous attendons au minimum le tracé de la fonction  $U = f(I)$  associée à chaque dipôle (dans les limites de fonctionnement de chacun d'eux, précisées par l'intensité maximale indiquée sur chaque boîtier).

- A la question Q III les étudiants doivent réinvestir deux des modèles qu'ils viennent d'élaborer, pour modéliser un dipôle plus complexe constitué de deux des dipôles précédemment étudiés ; il s'agit donc ici d'un début d'opérationnalisation des modèles.

- La question Q IV quant à elle est destinée à montrer le caractère prédictif et opératoire des modèles, permettant de trouver la valeur algébrique de grandeurs aussi fondamentales que l'intensité ou la tension électriques (pour des circuits simples ne comprenant que deux dipôles).

### 2.3. Choix des dipôles et de leurs associations

Sans vouloir être exhaustifs nous avons proposé aux étudiants quelques dipôles permettant de donner un aperçu, en courant continu, des principales catégories auxquelles ils peuvent appartenir (en omettant volontairement les dipôles passifs commandés et les dipôles actifs non linéaires) soit :

- D1 : un résistor linéaire (dipôle passif, linéaire, symétrique non polarisé) ; l'intensité maximale admissible est indiquée sur le boîtier (et ce pour chaque dipôle).
- D2 : un résistor non linéaire, ici une varistance (dipôle passif, non linéaire, symétrique, non polarisé).

différents dipôles actifs et passifs sont proposés aux étudiants...

- D3 : une diode au silicium dont l'anode est reliée à la borne A (dipôle passif, non linéaire, non symétrique, polarisé).
- D4 et D5 : piles du commerce (bornes "+" reliées aux bornes A) de f.e.m. différentes, en série avec des résistors linéaires différents (dipôles actifs, linéaires, non symétriques, polarisés).

ainsi que diverses associations de ces dipôles

Pour la question Q III, afin de proposer l'étude d'un dipôle complexe constitué par l'association de deux dipôles passifs, qui ne soient pas deux résistors linéaires en série ou en parallèle, nous avons branché en série pour D6 un résistor linéaire identique à celui de D1 et une diode au silicium identique à celle de D3.

Pour la question Q IV nous avons branché (cf. schémas fig. 1) :

- D4 sur D1, soit un dipôle actif linéaire (4,5 V, 39  $\Omega$ ) sur un résistor linéaire ( $R = 100\Omega$ ), pour le circuit (1).
- D4 sur D5, soit un dipôle actif linéaire (4,5 V, 39  $\Omega$ ) en opposition avec un autre dipôle actif linéaire (9 V, 180  $\Omega$ ), pour le circuit (2).

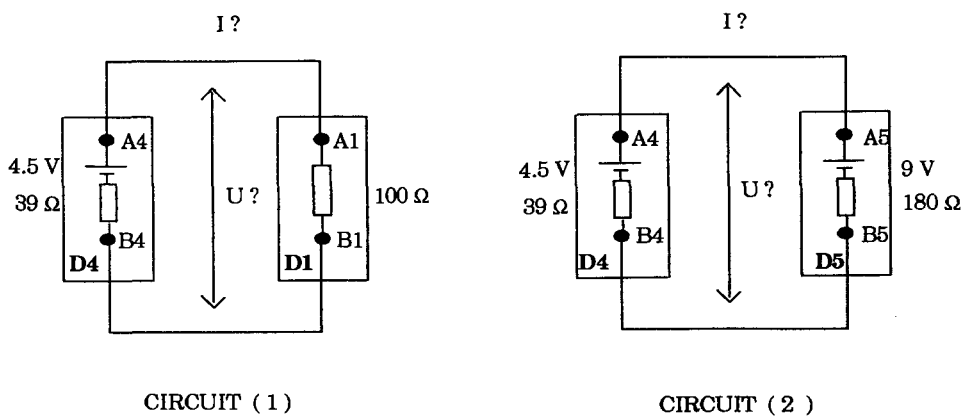


Figure 1

Nous avons voulu ici d'une part, proposer aux étudiants l'étude classique du récepteur alimenté par un générateur mais aussi les faire réfléchir sur un cas assez fréquent où un générateur fonctionne en récepteur, donc sur la "réversibilité" de certains générateurs ou encore sur la notion "d'électromoteur", ceci ayant l'effet supplémentaire de montrer l'importance de "l'algébrisation" dans les circuits électriques.

Le circuit (1) ne présente pas de difficulté particulière puisque le dipôle actif fonctionne en générateur, et les coordonnées du point de fonctionnement apparaissent sur le

un raisonnement  
physique  
quantitatif ne  
peut se passer  
des  
mathématiques

tracé des caractéristiques simplement comme étant les coordonnées de leur point d'intersection.

Le circuit (2) est un peu plus compliqué puisqu'ici nous avons deux générateurs en opposition et c'est celui de f.e.m la plus élevée (D5) qui impose le sens du courant ; D5 fonctionne en générateur et D4 en récepteur. On peut par exemple utiliser les modèles de Thévenin associés aux dipôles D4 et D5, puis se servir de la loi des mailles de Kirchhoff, ou plus simplement, retracer la caractéristique de D4 avec la convention récepteur (ce qui revient à garder les mêmes fléchages sur I et U que pour D5), on obtient alors une caractéristique symétrique de la précédente par rapport à l'axe des "U", où les coordonnées du point d'intersection entre son prolongement et la caractéristique de D5 donnent les valeurs de U et I recherchées (cf. figure 2).

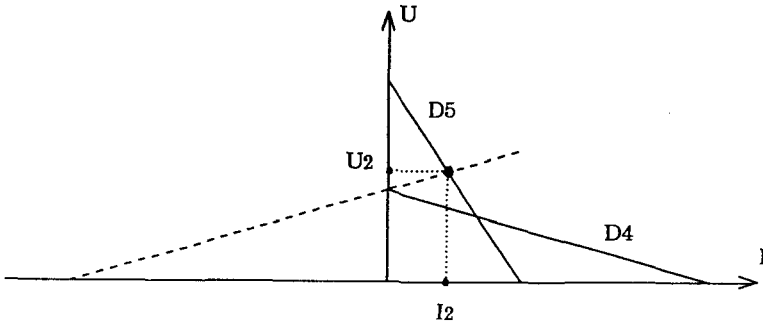


Figure 2

**Remarque :** afin de simplifier la réalisation des dipôles actifs nous avons pris des piles du commerce qui ont pour intérêt de pouvoir fonctionner en récepteur ; l'adjonction d'une résistance en série offre le double avantage, d'une part d'obtenir une caractéristique  $U(I)$  ayant une "pente" assez importante, d'autre part, de limiter le courant (même en court-circuit) et donc d'éviter une usure rapide de la pile en régime permanent qui entraînerait une baisse continue de la tension et du courant débité.

#### 2.4. Matériel mis à la disposition des étudiants

De nombreux appareils ont été mis à la disposition des étudiants afin de rendre possibles diverses voies d'investigation.

- Lampe L de 4,5 V s'allumant avec D4 mais pas avec D5.
- Trois sources de tension :
  - . S1 : pile de 1,5 V avec lampe témoin qui ne s'éclaire qu'avec D3 branché dans le sens passant.

un matériel  
d'investigation  
varié !

- . S2 : pile de 4,5 V avec lampe témoin qui ne s'éclaire qu'avec D3 branché dans le sens passant.
- . S3 : pile de 9 V avec lampe témoin qui s'éclaire avec D1 et D2, ainsi qu'avec D3 ou D6 branchés dans le sens passant.
- . Par ailleurs ces trois sources permettent avec chacun des dipôles passifs (D1, D2, D3, D6) de relever trois points de leur caractéristique.
- Deux multimètres numériques type Beckman T 100 B pouvant jouer les rôles suivants :
  - . voltmètre continu,
  - . ampèremètre continu,
  - . ohmmètre.
- Une alimentation continue réglée sur 12 V et limitée volontairement à 300 mA dans le but de rendre tout essai non destructif.
- Deux rhéostats (1070  $\Omega$ , 1 A) et (78  $\Omega$ , 3 A) afin d'offrir un choix commode pour les mesurages, et divers résistors.
- Deux interrupteurs : l'un classique et l'autre à bouton poussoir pour limiter le fonctionnement des dipôles actifs D4 et D5 au temps de la mesure.

il faut parer à toutes les éventualités

## 2.5. Rôle des fiches d'aide

Les étudiants n'étant pas habitués à pratiquer une démarche expérimentale autonome, nous avons prévu de mettre à leur disposition des fiches d'aides qui doivent constituer un système de ressources au cas où un blocage persistant surviendrait dans l'une ou l'autre des diverses questions qui leur sont soumises. Ces fiches d'aides conçues de façon à induire des voies variées d'investigation, ainsi que des débuts de modélisation, proposent des démarches ou incitent à divers calculs utiles, avec une demande constante de réflexion aussi bien sur les méthodes employées que sur les résultats obtenus ; notre souci est ici autant d'inciter les étudiants à la rigueur du raisonnement scientifique que d'entretenir une démarche de recherche la plus autonome possible.

des fiches d'aide sont disponibles si un blocage persistant survient

- Ainsi la fiche d'aide 1 (concernant Q 1) propose la recherche des dipôles actifs à l'aide de la lampe L, du voltmètre ou de l'ampèremètre, puis celle des dipôles passifs à l'aide de l'ohmmètre (pour détecter les dipôles symétriques) ou des sources S1, S2 ou S3 pour celle des dipôles passifs linéaires. (cf. fiche d'aide 1)
- Cinq autres fiches ont été rédigées pour aider à la résolution des questions II, III et IV.

## FICHE D'AIDE 1

### Recherche des dipôles actifs

- 1) Brancher la lampe 4,5 V aux bornes des divers dipôles ; conclusions ?
- 2) Brancher le voltmètre (Attention au calibre !) aux bornes des divers dipôles ; conclusions ?

Remarque : Inconvénients de la méthode 1 ?

Aurait-on pu utiliser un ampèremètre ? Inconvénients de cette méthode ?

### Propriétés des dipôles passifs

- 1) Brancher l'ohmmètre aux bornes des divers dipôles passifs ; puis permuter les bornes ; conclusions ?
- 2) Utiliser de la même façon le boîtier 4,5 V (pile + lampe + interrupteur).
  - Conclusions
  - Inconvénient de cette méthode ?
- 3) Sur les dipôles symétriques on peut aussi brancher l'un des boîtiers 1,5 V, 4,5 V ou 9 V et mesurer chaque fois U et I, sans enlever la lampe du boîtier ; conclusions ?

## 3. DÉROULEMENT DE L'ESSAI EXPÉRIMENTAL

l'expérimentation a été réalisée auprès d'un binôme d'étudiants du DEUG A.

Nous avons décidé de réaliser l'expérimentation de la séquence de Travaux Pratiques sous forme de situation-problème, avec un binôme d'étudiants volontaires de 1ère Année du DEUG A SSM (Sciences et Structure de la Matière). Ceux-ci ont l'habitude de travailler en binôme au cours des séquences de T.P. et ce mode de fonctionnement doit permettre en principe non seulement la répartition des tâches, mais aussi les échanges d'idées, de points de vue donc les confrontations ou les débats tant sur l'élaboration de stratégies de résolution que sur l'interprétation de résultats ; l'étudiant a donc ainsi davantage de ressources face à la situation-problème et par ailleurs nous savons que les "débats entre pairs" jouent un rôle non négligeable dans l'élaboration des savoirs de ces derniers.

La séquence de T.P. a été prévue pour une durée de trois heures, et c'est le temps dont ils ont disposé.

Nous leur avons présenté le matériel qui était sur la paillasse puis nous leur avons donné le questionnaire concernant le travail qu'ils avaient à effectuer et nous leur avons signalé qu'en cas de blocage, des fiches d'aide étaient à leur disposition auprès de l'enseignant, et que de toute manière les divers essais qu'ils pourraient être amenés à effectuer sur le matériel ne pouvaient être destructifs car celui-ci était protégé.

Nous leur avons demandé de réaliser un compte rendu de leurs travaux et de leurs résultats (ceci afin de pouvoir étudier la formulation définitive qu'ils proposent pour les ques-

les étudiants sont filmés en continu par une caméra vidéo sonore

tions qui leur ont été posées et la façon dont ils modélisent les dipôles).

La séquence a été enregistrée en continu à l'aide d'une caméra vidéo (VHS). Le rôle de cet enregistrement est de nous permettre d'étudier dans le détail le comportement des étudiants face à la situation-problème, et donc face à la démarche expérimentale grâce aux questions qu'ils se posent, aux interprétations qu'ils donnent, aux expérimentations qu'ils conçoivent et réalisent, et aux conclusions qu'ils en tirent ; par ailleurs cet enregistrement rend possible la retranscription de tout ou partie de la séquence, ceci afin d'avoir un support concret et commode de travail.

Il reste à préciser que les étudiants ont joué le jeu qui leur était proposé, mais qu'ils n'ont pas utilisé les fiches d'aide. Par contre ils ont posé des questions à l'enseignant qui les a guidés dans leurs réflexions afin de leur permettre d'avancer dans le traitement des différentes questions.

## 4. ANALYSE CRITIQUE

### 4.1. Impression d'ensemble

Sans toutefois oublier que les étudiants du binôme étaient volontaires, et que la caméra vidéo, ainsi qu'un enseignant chargé de les observer, constituaient une certaine gêne, on a pu constater leur participation très active et motivée ; nous avons pu observer (comme la bande vidéo en témoigne) que les étudiants se posaient réellement des questions, confrontaient leurs points de vue, élaboraient des stratégies, émettaient des hypothèses, tentaient de les vérifier par différents tests ou mesures réfléchis, s'appliquaient à formuler des conclusions correctes, se partageaient les tâches, coopéraient pour mieux avancer..., bref jouaient réellement le jeu et s'appliquaient de leur mieux à remplir leur "contrat". Bien sûr ils n'ont pas tout résolu, ni répondu de façon toujours satisfaisante mais, leur envie de résoudre, leur intérêt pour la tâche et leur satisfaction lorsqu'ils trouvaient un résultat étaient évidents.

le travail de recherche en équipe est très actif

### 4.2. Repérage des savoir-faire scientifiques

Signalons tout d'abord que les étudiants n'avaient pas revu de cours sur les dipôles électriques (comme cela leur avait été demandé) et qu'ils n'ont pas voulu utiliser les fiches d'aide qui étaient à leur disposition.

- *Utilisation des notions parascientifiques*

On observe que :

- certains calculs, qui nous paraissaient utiles pour le déroulement ultérieur, ne figurent pas sur le compte

les étudiants ne maîtrisent pas suffisamment les langages scientifique et parascientifique

- rendu (tel le calcul de la résistance de protection de la diode D3) ;
- les résultats des mesures ne sont pas regroupés sous forme de tableaux ;
  - sur les représentations graphiques des caractéristiques I (U), les grandeurs représentées sur les axes ou les unités, ainsi que l'orientation des axes sont assez souvent absentes ; de plus lorsque des points sont alignés les étudiants ne les ont pas toujours reliés par une droite tracée à la règle ; enfin pour le tracé de quelques caractéristiques (celles de D4 et D5) seuls quelques points regroupés ont été utilisés.

Il apparaît donc ici que les étudiants n'utilisent pas de façon très systématique les outils scientifiques dont ils disposent.

#### • *Remarques sur la schématisation*

On constate que :

- les bornes des dipôles ne sont pas repérées ;
- le symbole du rhéostat est incorrect ;
- les symboles du générateur d'alimentation sont parfois fantaisistes et incomplets ; de plus ses bornes ne sont jamais repérées ;
- les bornes des appareils de mesure ainsi que les tensions ou les intensités mesurées sont rarement indiquées.

On s'aperçoit donc que la schématisation ou la modélisation des circuits ne sont pas non plus parfaitement maîtrisées par les étudiants.

#### • *Remarques sur l'emploi des appareils*

Les étudiants ont eu des difficultés à interpréter les signes "+" ou "-" indiqués sur l'écran du multimètre (en fonction ampèremètre ou voltmètre) en liaison avec l'intensité ou la tension mesurées ; de plus en ce qui concerne la fonction ohmmètre les étudiants ne savaient pas que la mesure de la résistance indiquée par l'appareil ne donne qu'une valeur particulière, celle correspondant au courant constant fourni par l'appareil.

### **4.3. Comportement des étudiants face à une démarche expérimentale**

La retranscription intégrale du début (1 heure environ) de la bande vidéo d'enregistrement de la séquence de Travaux Pratiques nous a permis d'analyser le comportement des étudiants par rapport à une démarche expérimentale.

Il faut noter que cette démarche ne correspond pas toujours exactement à celle, théorique, décrite par D. Gil-Pérez. En effet, comme nous pouvons le constater dans quelques cas, les étudiants ont parfois commencé par une phase d'anticipation pour ensuite réaliser de nombreux "aller et retour" entre phase d'action et phase de formulation ; à notre avis ceci peut s'interpréter par le fait que la phase d'anticipation demande un effort de réflexion, mais qu'ensuite, compte

des contraintes expérimentales obligent les étudiants à systématiser leurs essais



tenu du fait que dans la question Q 1 il y a cinq dipôles à identifier, la même action (et la formulation qui en résulte) peut-être répétée sur plusieurs dipôles ; un phénomène analogue se produit d'ailleurs quand il s'agit d'utiliser les sources (S1, S2, S3) avec un dipôle donné.

Quelques unes de ces phases sont décrites dans ce qui suit.

#### • Reformulations

les reformulations  
sont peu  
nombreuses

Nous n'avons pu déceler que quelques rares reformulations du problème posé.

Par exemple l'étudiant **R**, au début de la question sur l'identification des dipôles :

**R** : *déjà il faut voir si c'est une résistance fixe ou pas*

Nous ne trouvons que deux ou trois phrases de ce type.

#### • Anticipation - Action - Formulation

anticipation et  
formulation se  
succèdent  
souvent

Par contre, on trouve de nombreuses phases d'anticipation, suivies assez souvent par des phases d'action et se terminant par une phase de formulation orale, avec prise de notes. On peut en trouver un exemple sur le tableau 1 dans lequel les lettres **B** et **R** désignent chacun des deux étudiants.

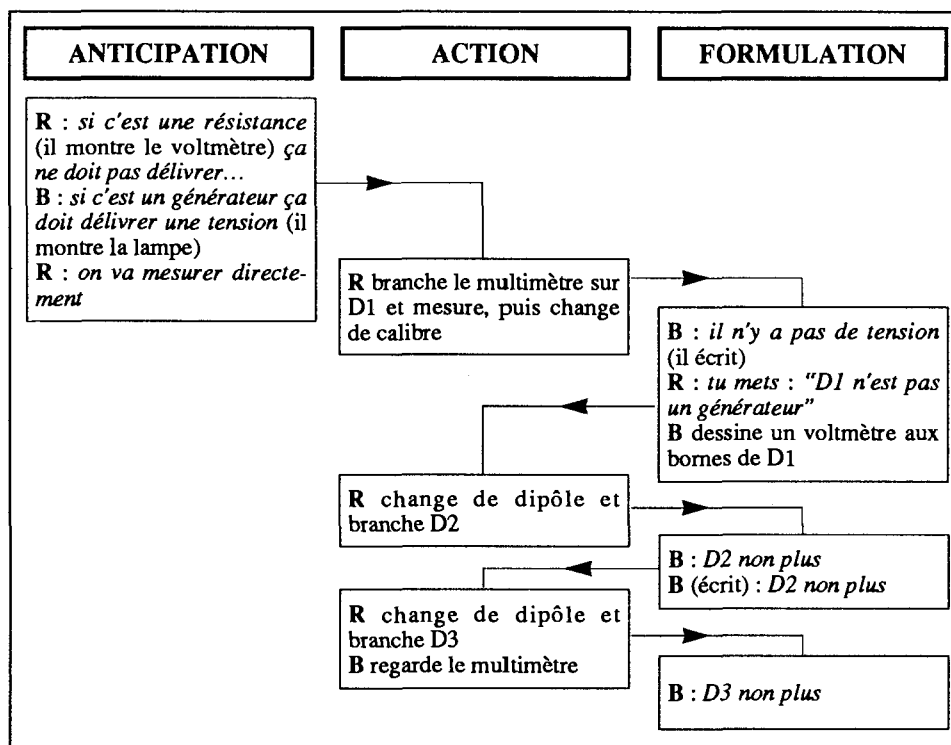


Tableau 1 : Essai de détermination de la nature des dipôles D1, D2, D3 (retranscription partielle de la bande vidéo)

**Remarque :** la retranscription intégrale de la bande vidéo, ainsi que la copie rendue par les étudiants permettent de voir la formulation définitive qu'ils ont proposée.

#### • Validation

Enfin nous trouvons également quelques moments de validation, au cours desquels l'approbation de l'enseignant est recherchée par les étudiants (**P** désigne le professeur) :

**B :** *on a déjà trouvé plusieurs trucs (il montre la feuille à P)*

**P :** *d'accord*

**B :** *D4 et D5 on pense que ce sont des générateurs*

**P :** *oui*

**B :** *D1, D2, D3 on ne sait pas si ce sont des résistances, des lampes ou...*

**P :** *mais vous savez que ce sont des "passifs" ?*

**R :** *oui*

**B :** *ça on le sait*

quelques validations de l'enseignant sont nécessaires pour avancer

#### • Institutionnalisation

Par contre il n'y a pas eu de phase d'institutionnalisation, cette phase n'étant pas prévue dans la séquence. Il aurait fallu pour cela rassembler l'ensemble des résultats de plusieurs binômes, pour pouvoir apprécier leur intégration possible à la théorie.

#### • Synthèse de la démarche

On peut résumer la démarche générale que les étudiants ont employée, avec les restrictions que nous avons émises, par un organigramme (voir tableau 2).

Le "cheminement" idéal qu'auraient pu suivre les étudiants est celui qui va de la phase 1 à la phase 7, avec bien sûr d'éventuels "retours" (a) de la phase 5 à la phase 3, si le résultat de leur action ne confirme pas leurs prévisions ou bien s'ils veulent une confirmation supplémentaire à leurs prévisions ; ces "retours" se sont d'ailleurs produits, en voici un exemple :

/ Action / **R** *branche D3 au voltmètre : il indique zéro, non il n'y a rien. R débranche.*

/ Formulation / **B :** *D3 n'est pas un générateur*

/ Anticipation / **R :** *attends, peut-être qu'il délivre du courant, il teste D3 avec un ampère-mètre.*

/ Action /

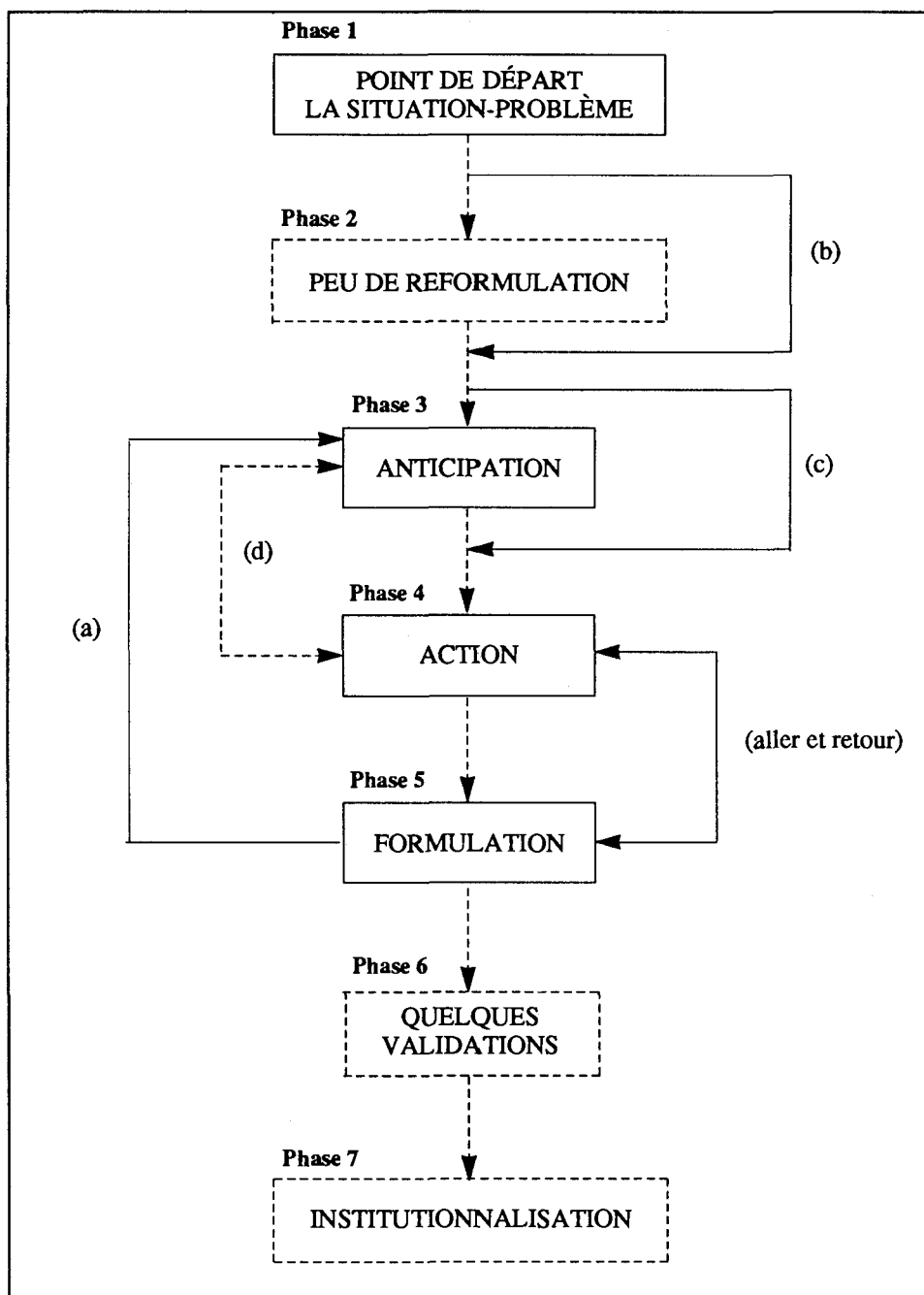
**B :** *pas de courant non plus. R débranche.*

/ Formulation / **R :** *ça doit être une VDR ou je ne sais pas quoi...*

les étudiants réalisent des essais différents lorsque leurs hypothèses ne sont pas validées

De plus, comme nous l'avons déjà signalé, des "aller et retour" se produisent entre la phase 4 et la phase 5.

Par ailleurs, compte tenu du peu de reformulations produites, on remarque qu'un "trajet" (b) est suivi qui "court-circuite" la phase 2.



**Tableau 2**  
**Démarche de recherche suivie par les étudiants**

Mais on s'aperçoit aussi que des raccourcis sont empruntés, tel le "trajet" (c) où l'anticipation ne se verbalise pas et qui conduit directement à la phase d'action, suivi d'aller et retour entre la phase 4 et la phase 5 comme :

- R** : *attends on va voir,*
- / Action / il court-circuite les bornes du générateur S2,
- B** : *qu'est-ce que tu fais ?*
- / Action / **R** ferme l'interrupteur de S2, la lampe témoin s'allume,
- / Formulation / **R** : *ça marche*
- / Action / **B** et **R** branchent S2 aux bornes de D1, **R** ferme l'interrupteur, rien ne se passe,
- / Formulation / **B** : *non ça ne marche pas*
- / Action / **R** permute les bornes de D1,
- / Formulation / **R** : *ça ne fait rien si c'est une résistance*
- / Action / **R** ferme l'interrupteur, rien ne se passe,
- / Formulation / **R** : *si ça ne marche pas peut-être que la résistance est trop forte.*

la phase d'anticipation ne se verbalise pas toujours

(Par contre le "trajet" (d), où la formulation ne se fait pas et qui conduit à une nouvelle anticipation, n'a pas été observé), ceci peut s'interpréter par le fait que, sans formulation, le travail d'équipe en binôme ne pourrait continuer.

En résumé on peut dire que **les étudiants suivent assez bien une démarche scientifique**, avec certains écarts que nous venons de décrire, quelques oublis quant à la phase d'anticipation, mais surtout un manque très net de phases de reformulation.

les étudiants ont quelques difficultés à énoncer les raisons de leurs essais

Une explication peut-être tentée en ce qui concerne la phase d'anticipation : il est plus simple et plus rapide pour l'étudiant de réaliser d'abord un "test" puis d'expliquer à son binôme ce qu'il a voulu faire et le résultat de son essai ; on pourrait dire aussi que lorsqu'on tâtonne et qu'on ne sait pas trop où l'on va, il s'avère difficile de parler de ce dont on n'est pas sûr !

Par contre, plusieurs explications convergentes peuvent rendre compte du fait que la phase de reformulation soit rarement présente :

plusieurs causes à l'origine du manque de reformulations

- les étudiants ne se souvenaient pas trop des différents types de dipôles, des modèles de Thévenin associés, donc des paramètres à rechercher, ni de la façon de déterminer le point de fonctionnement dans un circuit simple ;
- le professeur devant leurs blocages a souvent établi la reformulation par un dialogue avec les étudiants ;
- les questions posées, destinées surtout à mettre en oeuvre un processus de recherche hypothético-déductif (hypothèses-expériences-conclusion —> nouvelles hypothèses... etc...) ont été élaborées dans le souci d'apparaître les plus explicites possibles ;
- les étudiants ne sont pas habitués à la reformulation de problèmes.

#### 4.4. Comportement des étudiants face à la modélisation des dipôles

Les étudiants ont correctement identifié les dipôles passifs et les dipôles actifs, en vérifiant à l'aide du voltmètre qu'un dipôle passif ne délivre pas de tension, contrairement à un dipôle actif ; par contre ils n'ont pas utilisé les notions de "dipôle symétrique (ou non), polarisé (ou non)" et presque pas celle de "dipôle linéaire (ou non)". Pour D1 (résistor), ils ont calculé la valeur de R avec les générateurs S, mais ils n'ont pas tenté de retrouver ce résultat à l'aide de la pente de sa caractéristique (cette difficulté d'intégration du modèle "résistor linéaire" a d'ailleurs été signalée par B. Calmettes (18) ); pour D2 (varistance) la même méthode a été employée et les valeurs extrêmes de sa résistance n'ont pas été établies à l'aide de sa caractéristique ; il apparaît même que pour l'un des étudiants une résistance variable "varie au cours du temps". Pour D3 (diode) les étudiants ont précisé que sa résistance en inverse est infinie, mais n'ont pas donné la façon d'obtenir la tension seuil, ni calculé la résistance du dipôle dans le sens passant. Par ailleurs pour tous les dipôles passifs, la caractéristique n'a été tracée que dans un seul sens de branchement sans en fournir la raison ; de plus les valeurs limites de fonctionnement n'ont été suggérées que pour D1.

seul D1 (le resistor) a été modélisé de façon complète

En ce qui concerne les dipôles actifs, nous constatons que les caractéristiques n'ont été tracées que pour le fonctionnement en générateur, et seulement à l'aide de quelques points, bien que les étudiants aient mesuré la tension à vide et le courant de court-circuit pour chacun d'eux ; la notion d'électromoteur n'a pas été abordée et, ni la f.e.m, ni la résistance interne n'ont été indiquées, bien qu'un étudiant ait utilisé au début du T.P. la relation  $U = E - RI$ .

quelques points semblent suffire pour le tracé des caractéristiques

Pour D6 (diode + resistor en série) nous avons remarqué que les étudiants ont su réinvestir la particularité de la diode à ne laisser passer le courant que dans un seul sens ; mais ils n'ont pas tracé la caractéristique inverse, ni essayé de calculer la résistance du dipôle dans le sens passant ; ils ont néanmoins trouvé le mode de branchement des deux dipôles constituant D6 en vérifiant, à l'aide des caractéristiques, que ce sont bien les tensions qui s'ajoutent pour une intensité donnée et non le contraire.

Enfin pour les circuits (1) et (2) de la question Q IV nous avons constaté que les conventions de fléchage figurant sur les schémas n'ont pas été transposées de façon opérationnelle au niveau des caractéristiques ; cependant le circuit (1) a été traité sans difficulté apparente, ce qui n'a pas été le cas pour le circuit (2).

(18) CALMETTES, B. *Acquis en électrocinétique à courant continu : comparaison 1<sup>ère</sup> F3 / 1<sup>ère</sup> d'adaptation F3*. D.E.A. de Didactique des disciplines scientifiques, (pp 31, 32), Université Paul Sabatier, Toulouse. (1992)

la modélisation  
se limite le plus  
souvent au tracé  
de la  
caractéristique

En résumé nous constatons que le dipôle D1 a été modélisé complètement (caractéristique et valeur de sa résistance) et que tous les autres dipôles ont été identifiés puis modélisés par leur caractéristique  $I(U)$ , accompagnée des valeurs de quelques paramètres (valeurs limites de la résistance pour D2, tension seuil et résistance en inverse pour D3, ...) ; de plus, bien que les modèles de Thévenin n'aient pas été utilisés, il convient cependant de souligner que les étudiants ont su réinvestir de façon assez satisfaisante (dans le traitement des questions Q III et Q IV) les modèles qu'ils ont élaborés.

## CONCLUSION

En considérant l'ensemble de notre analyse, nous pouvons avancer quelques propositions afin d'obtenir de meilleurs résultats aussi bien, dans la pratique d'une démarche scientifique par les étudiants, que dans la modélisation des dipôles qu'ils doivent réaliser ; il faudrait pour cela :

- donner aux étudiants, en même temps que le questionnaire une feuille leur décrivant "l'état d'esprit" à avoir dans ce T.P., afin de leur faire pratiquer une véritable démarche expérimentale ( c'est-à-dire : reformuler les questions qui leur sont posées afin de décrire le mieux possible ce qui leur est demandé, émettre des hypothèses, prévoir et réaliser une expérimentation pour valider ces hypothèses, formuler de façon rigoureuse leurs résultats et éventuellement, émettre de nouvelles hypothèses, etc.) ;
- dans la feuille "d'état d'esprit", donner des conseils ou rappeler des consignes, afin que les étudiants utilisent un langage parascientifique correct ;
- faire réaliser cette séquence de T.P. à tous les binômes de la salle en même temps, en permettant les comparaisons et les confrontations de résultats, ceci afin de permettre une validation efficace et une institutionnalisation collective ;
- que l'enseignant, face aux blocages des étudiants, les incite à utiliser les fiches d'aide au lieu de jouer lui-même leur rôle, ceci afin d'entretenir la dévolution ; il ne devrait intervenir que si les fiches d'aide ne réussissent pas à débloquer la situation ;
- que l'enseignant vérifie et confirme les modèles établis lorsqu'ils sont justes, mais aussi propose aux étudiants des exercices de "réinvestissement" de ces modèles, afin de permettre une phase d'institutionnalisation sérieuse ;
- donner aux étudiants, avant la séquence de T.P., un photocopié de révisions (concernant les appareils de mesure utilisés dans le T.P., les dipôles, les conventions, et les montages pour les tracés de caractéristiques), afin qu'ils

des propositions  
pour tenter  
d'améliorer notre  
dispositif

travaillent avec une plus grande autonomie, ceci permettant une meilleure dévolution ;

- que les boîtes noires ne puissent pas être différenciées par leur poids, afin que les étudiants n'aient d'autre recours que les mesures électriques pour identifier les dipôles ; il suffit pour cela de lester les boîtiers de façon adéquate.

Notre travail se situe dans le cadre de l'ingénierie didactique, et nécessiterait, pour pouvoir démontrer l'efficacité d'une séquence de T.P. sous forme de situations-problèmes (telle que nous l'avons conçue) dans l'apprentissage de l'électrocinétique, une expérimentation à plus grande échelle (c'est-à-dire sur un plus grand nombre d'étudiants) en respectant les différentes phases de la méthodologie d'ingénierie préconisées par M. Artigue (19), s'inspirant pour cela des travaux de G. Brousseau et R. Douady, à savoir :

- des analyses préalables,
- une conception et une analyse a priori de la situation didactique,
- une expérimentation de cette situation,
- une analyse a posteriori,
- une validation interne par confrontation entre l'analyse a priori et l'analyse a posteriori.

C'est dans cette direction que nous comptons poursuivre notre travail.

Philippe PINELLI,  
I.U.F.M. de Toulouse  
Richard LEFÈVRE,  
L.E.M.M.E. Université Paul Sabatier,  
Toulouse

vers une  
méthodologie  
d'ingénierie à  
plus grande  
échelle afin de  
valider nos  
travaux

---

(19) ARTIGUE, M. "Ingénierie didactique." In : *Recherches en didactique des mathématiques*, 9 (3) (pp 283-305). Grenoble : La Pensée Sauvage. (1990).





# ESSAI D'ÉVALUATION DE DEUX MODÈLES PÉDAGOGIQUES, À PROPOS DU SOL

Alain Monchamp  
Annick Lainé

*Le sol, tout à la fois objet concret et concept, constitue, par son étude, un bon terrain pour un apprentissage de la modélisation. Il permet ainsi d'évaluer à nouveau les modèles pédagogiques transmissif et constructiviste, fréquemment opposés. Mais il était intéressant de renouveler cette étude en s'adressant à la fois à des élèves scolairement bons et médiocres. L'analyse comparative a porté sur l'enrichissement lexical, l'accès aux concepts par la maîtrise des mots, la possibilité d'abandonner des obstacles au raisonnement, la capacité à récupérer des savoirs et procédures mémorisés en long terme et à les transférer. Les bons élèves ne sont pas les meilleurs en toutes circonstances...*

Depuis quelques temps, un débat s'est instauré entre les tenants du modèle transmissif, plutôt traditionnel et ceux qui se réclament, plus récemment, du modèle constructiviste. Une tentative d'évaluation de l'efficacité respective de ces deux stratégies a été mise en oeuvre dans plusieurs classes de seconde en Biologie-Géologie (élèves de 15-16 ans). Nous avons travaillé avec une très bonne classe (latinistes, hellénistes...) et deux reconnues comme plutôt médiocres, selon les critères scolaires habituels de toutes les disciplines, critères très imprécis, il est vrai.

Certains groupes ont été placés en conditions d'apprentissage personnalisé et actif. D'autres ont reçu, en conduite dialoguée, un cours complet et de type transmissif, accompagné de schémas fonctionnels préparés et imposés par le professeur.

Notre étude comparative porte sur l'enseignement du concept de sol (texture, structure, organisation et fonctions du complexe argilo-humique). Elle correspond à une observation du comportement des élèves pendant quatre semaines et à une tentative d'évaluation aussi bien de l'augmentation en quantité et en qualité des informations mises en mémoire par l'élève que du caractère opératoire de celles-ci pour chacune des deux stratégies utilisées.

Le sol constitue un bon sujet d'apprentissage car c'est un "objet" paradoxal. Il appartient, en apparence, au domaine de la matière tangible, du continu homogène et massif, de l'immuable alors qu'en fait il est constitué d'éléments invisibles dont l'agencement est régi par des lois qui lui permettent d'être organisé, d'évoluer, de réagir et résister à des

le concept de sol peut-il être rendu accessible à tous les élèves ?

actions matérielles, d'être dégradé, de disparaître. Il a beaucoup des attributs d'un être vivant...

C'est un concept dont les attributs sont analysés aussi bien par la physique, la chimie que la biologie. Son étude permet, en partant du concret, de proposer de nombreux thèmes d'étude et d'introduire des manipulations diverses qui mobilisent l'intérêt de l'élève tout en le conduisant à l'abstraction.

## 1. FONDEMENTS THÉORIQUES DU DISPOSITIF PÉDAGOGIQUE CONSTRUCTIVISTE

Le dispositif pédagogique se référant au modèle transmissif est tellement généralisé qu'il ne nous semble pas nécessaire de le détailler. Sa mise en œuvre a comporté des analyses de documents en classe dialoguée, des manipulations illustratives opérées par le professeur ou les élèves, la réalisation d'un schéma de synthèse, des temps d'évaluation formative. Ces activités étaient intégrées à une présentation linéaire et déclarative de connaissances. Certaines manipulations étaient les mêmes dans les deux types de dispositifs mais elles prenaient des statuts différents.

Nous précisons plus longuement **pourquoi** (aspect théorique) et **comment** (étapes-clés d'apprentissage) nous avons tenté de mettre les élèves en situation de construire eux-mêmes leurs connaissances.

### 1.1. Stimuler des schémas de connaissances

C'est tout le problème du statut des connaissances qui se pose ici. L'intérêt de l'étude du sol est fortement contestable si elle ne construit pas le concept de sol, si elle ne se résume qu'à un cumul de noms inégalement reliés entre eux et donc peu opératoires. C'est pourtant le défaut qu'on peut craindre :

- lorsque tous les éléments de l'étude sont imposés par le professeur,
- lorsque toutes les opérations mentales nécessaires à une certaine acquisition du concept sont d'abord effectuées par le professeur et, souvent implicites (Monchamp, 1993 a),
- lorsque la présentation du savoir n'existe que selon la seule logique du professeur,
- lorsque les seuls obstacles sont ceux qu'il a rencontrés en construisant son cours.

Or, des études nombreuses en psychologie cognitive et en didactique ont montré que l'élève construit ses connaissances en mobilisant et en reconstruisant son savoir et ses conceptions antérieures. Ainsi se constituent des "schémas mentaux" dont parle J-F. Richard (1990).

c'est le professeur  
qui construit  
dans un modèle  
transmissif

la construction  
de structures en  
mémoire  
automatisée

*"Les schémas sont à la fois une façon de représenter l'organisation des connaissances en mémoire et une façon d'exprimer comment ces connaissances sont utilisées pour comprendre, mémoriser, faire des inférences [...] Ce sont des blocs de connaissances. Ils constituent des unités qui sont, d'une part, insécables et récupérées en mémoire comme telles (Corson, 1987), d'autre part, autonomes par rapport aux autres connaissances [...]. Ce sont des objets complexes, cela signifie qu'ils sont construits avec des objets élémentaires, à savoir des concepts, des actions et des relations [...]. Ce sont des structures générales et abstraites qui s'appliquent à un certain nombre de situations concrètes différentes [...]"*.

Pour être amélioré, le schéma explicatif élaboré par chacun des élèves doit être confronté constamment aux faits, à l'expérience, producteurs de savoir nouveau. Des conditions doivent être créées pour amener chaque enseignant à tester constamment la valeur explicative de son savoir, le remettre en question si nécessaire et le réformer lui-même en créant un nouveau modèle explicatif établissant une cohérence entre des informations diverses proposées par le milieu. C'est l'objectif de la pratique de l'évaluation formative.

Nous formulons l'hypothèse que le passage par une figuration évolutive, spontanément effectuée par la majorité des "bons élèves" peut constituer une aide à penser de manière abstraite. Ce projet trouve chez A. Lieury (1993) une justification quand il écrit, page 108 : *"En bref, le concept de cylindre qui apparaît une entité simple, quasiment un objet, pour un professeur de mathématiques ayant bénéficié de nombreuses années d'études puis d'enseignement est un concept abstrait complexe. Il faudra des recherches spécifiques pour étudier le développement des significations de ces concepts complexes, polyèdre, prisme, pyramide, etc., dont la plupart des adultes ignorent la signification. Jusqu'à un âge avancé qu'il faudra définir avec précision (au-delà de l'enfant de Sixième), les significations ne sont vraisemblablement que l'image mentale (approximative) d'objets* (souligné par nous). *Un cylindre sera certainement mieux compris en montrant divers objets familiers de cette forme, tube, tuyau, saucisse, boîte de conserve, etc."*

la figuration  
d'objets comme  
aide à la  
constitution de  
significations

## 1.2. Développer des capacités à expliquer

L'élève semble souvent **penser de façon binaire** lorsqu'il cherche à donner du sens à ce qui l'entoure en faisant appel spontanément et exclusivement à deux catégories de références :

- ce qui est utile, nécessaire à la survie, bon, rassurant, pour lui ou tout autre être vivant ou bien encore tout objet mal connu sur lequel peut s'exercer l'anémisme ("l'engrais nourrit le sol", "l'humus du sol est bon pour la plante"...);
- ce qui est dangereux, agressif, qui constitue une menace pour la survie, de manière matérielle (quelque chose qui choque, coupe...) ou immatérielle (qui fait peur de manière

l'angoisse  
existentielle  
comme  
catégorie de  
pensée

irraisonnée, mourir, disparaître comme par magie). “Le  $CO_2$  (mais aussi l'urée) est toxique puisqu'on le rejette”, ce qui est chimiquement et physiologiquement faux !

Cette grille d'analyse est utilisée constamment (obsessionnellement) par l'élève pour reconnaître le milieu dans lequel il se déplace (voir, par exemple, l'analyse des signaux émis par l'autre, lors d'une rencontre ...).

**Ces catégories constituent par nature une explication et dispensent de rechercher des causes.** Elles sont peut-être fondées sur une certaine angoisse existentielle, inconsciente mais permanente et puissante. De ce fait, elles seraient appelées spontanément dès qu'il s'agirait d'expliquer une situation touchant au vital, menaçant le vivant, l'alimentation par exemple d'un végétal comme d'un animal. Elles pourraient ainsi **occulter puissamment toute recherche d'une explication logique.**

Des stratégies d'enseignement (Astolfi et Peterfalvi, 1993) cherchent à mettre provisoirement certaines capacités explicatives de l'élève en situation d'échec (conflit cognitif) dans le but de faciliter l'acceptation d'un autre système explicatif. Mais nous avons vu que le conflit n'est pas toujours issu du constat d'une inadéquation d'un système explicatif face à une situation précise. Il semble pouvoir être aussi une situation d'impossibilité d'expliquer ou de refus d'expliquer parce que l'inconscient a identifié la situation comme relevant confusément du dangereux, d'un pouvoir appartenant à l'irrationnel.

Plutôt que de chercher à affronter l'obstacle de face, le professeur pourrait peut-être intervenir ainsi :

- d'une part, créer des conditions pour proposer et installer un nouveau schéma mental intellectuel et logique, concurrent du schéma antécédent et relevant de l'affectif, ce que l'enseignant fait habituellement, mais cette fois en mobilisant le plus possible d'organes des sens (codages tactile et moteur, visuel, verbal...) ; cette pratique facilitant les mémorisations **rendrait familier le nouveau schéma explicatif** sans qu'il soit nécessaire d'évoquer le schéma-obstacle pour l'exorciser ;
- d'autre part, il faut créer des conditions pour **rassurer l'élève** de manière à diminuer l'emprise du schéma premier, fondé sur l'angoisse, l'irrationnel. L'explication par la mise en scène d'objets concrets démystifie le phénomène. Ainsi, dans la nature, une perturbation intervient et disparaît par le jeu d'effets et d'interactions, au bout du compte matérialisés par des objets et non pas par la seule influence, quasi magique, d'un pouvoir paranormal, indiscernable et donc inquiétant !

la contestation  
d'une panacée ?

une proposition  
pédagogique  
alternative

### 1.3. Diversifier les rôles du professeur

Dans ce dispositif, le professeur aide l'élève à expliciter son discours. Il suggère des activités, anime un débat... L'élève peut ainsi être guidé en recevant :

- des aides intellectuelles pour un apprentissage de la conceptualisation (Astolfi, Peterfalvi, Vérin, 1991) passant par un apprentissage de la modélisation avec exploitation du modèle par la prévision et la confrontation aux faits ; elles lui apportent à la fois une méthode transposable et des concepts disciplinaires transversaux ;
- des aides psychologiques en ne rejetant a priori aucune de ses représentations, aucun des éléments de son vocabulaire commun, aucune théorie explicative personnelle. Toute production d'élève étant prise en considération (droit à l'erreur), la recherche de propriétés communes aux productions de ses camarades évite de le placer en situation d'échec tout en lui permettant d'essayer de prendre en compte leurs propositions, de "voir si ça ne marcherait pas mieux"...

déclasser  
l'obstacle plutôt  
que de chercher  
à le détruire

Dans la mesure où on peut douter de la possibilité de faire disparaître l'obstacle (le pouvoir de la mémoire...), on peut organiser des stratégies pour proposer à l'élève des activités de résolution manipulant de préférence et fréquemment des objets tangibles, non seulement pour l'aider à penser avec des informations sensorielles mais pour le familiariser avec ces pratiques et donc pour l'aider à **mémoriser et utiliser de préférence ces nouvelles possibilités explicatives.**

Enfin, une situation-problème pouvant être interprétée de diverses façons selon ses représentations et sa sensibilité, l'évolution de l'élève sera facilitée si on lui accorde le droit d'évoluer à sa propre vitesse (mais seules les conditions de demi-groupe de Travaux Pratiques sont favorables à ce type d'apprentissage).

## 2. LA SITUATION D'APPRENTISSAGE

### 2.1. De la situation-problème aux représentations

Les élèves savent qu'une plante a des besoins permanents en eau. Lors du recueil de représentations, il leur a été demandé d'expliquer comment ce besoin en eau pouvait être satisfait en été alors que les pluies sont discontinues, voire rares. Les réponses l'ont été tout autant.

La reprise de cette **situation-problème** entraîne d'autres questions d'élèves : *"La plante satisfait-elle seule son besoin, sans intervention du sol ?"* *"Le sol participe-t-il à la satisfaction de ce besoin ?"* Ainsi, est vite posée la question fondamentale : *"Mais d'abord, qu'est-ce qu'un sol ?"* On arrive ainsi à l'observation d'un échantillon de sol brun grumeleux (œil nu et loupe). L'élève y reconnaît-il quelque chose ?

**Le fait de porter un regard investigateur sur cet objet le fait exister mais le rend tout à fait étranger à l'élève.** Ça n'est plus un objet neutre avec lequel on joue, qu'on lance ou qu'on enlève de la peau salie. Il s'agit de le regarder autrement.

quand l'objet  
commun devient  
objet d'étude  
scientifique

L'observation d'un sol n'apporte aucune information immédiate permettant de comprendre ses propriétés, sa fertilité par exemple. Très souvent, chaque point est identique à son proche voisin de sorte qu'un sol apparaît plutôt comme "fondu" en une masse décourageant le naïf curieux. Il n'y a pratiquement pas de signes d'évidence, même au niveau des horizons très contrastés d'un podzol.

Il faut **chercher à y voir** des composants fins pour les y trouver. Son étude réclame donc l'existence d'une **représentation antérieure** permettant d'effectuer des comparaisons. C'est par ce va-et-vient entre une construction mentale, qui permet de poser des questions, et les réponses de l'objet que l'élève pourra **reconnaître des constantes** entre différents échantillons.

Or, lorsqu'on demande à un élève de seconde de décrire simplement ce qu'il voit (du sol), il se réfugie dans le mutisme. Pressé de répondre, il avoue ne rien avoir à dire parce qu'il ne sait rien. Il sait seulement qu'il n'a rien appris sur ce sujet précis. Cette situation-impasse révèle, chez l'élève, **une certaine représentation de sa fonction** dans la classe, face au professeur : restituer des acquis antérieurs, un vocabulaire technique, révéler la maîtrise de connaissances scolaires, au mieux établir des relations entre elles et des faits nouveaux proposés par le professeur. Il s'agit d'un savoir officiel, celui qui est frappé du label de l'institution scolaire et qui semble avoir seul cours dans l'établissement. Pourtant, si on encourage l'élève à passer du stade de la description par restitution ("**c'est...**") au stade de la description par analogie ("**c'est comme...**"), la situation se débloque.

utilisation  
dangereuse mais  
nécessaire de  
l'analogie...

On recueille des propositions d'élèves. Ces propositions ne sont anodines qu'en apparence. Elles révèlent, en effet, que l'attention est bien attirée par le caractère hétérogène de la composition de l'échantillon et de chaque agrégat et par une certaine cohésion des éléments. Des caractéristiques communes à d'autres objets ont été reconnues. Le sol n'est plus étranger à l'élève. Il est alors compris comme **susceptible de faire partie d'une classe d'objets**, classe qui préexistait dans son esprit et qu'il avait peut-être déjà mobilisée antérieurement pour identifier d'autres objets communs.

pour classer un  
objet et  
commencer à le  
comprendre

Cette classification peut d'ailleurs aussi bien utiliser des critères structuraux que fonctionnels.

Ainsi, en s'appuyant sur le problème qui fonde notre démarche, certains suggèrent de déposer des gouttes d'eau sur les agrégats. Les élèves se sentent placés dans une situation différente de celle, habituelle, où ils doivent fournir une "bonne hypothèse" qui sera authentifiée par le professeur par le seul fait qu'il la retiendra pour construire ou pré-

senter un montage. Ils font alors appel librement à des représentations étrangères au sujet, par le jeu de la pensée divergente, pour proposer, par analogie, des hypothèses explicatives. Ils appréhendent la situation en s'interrogeant sur le mode "c'est comme si c'était..."

## 2.2. Confrontation des propositions des élèves

Les propositions étant toutes notées au tableau, reste au professeur à faire rechercher et identifier les traits communs dont les caractéristiques premières auxquelles il ne faut pas s'arrêter sont l'originalité et la naïveté ! Chaque élève ayant réfléchi seul, une recherche collective est organisée.

Des **règles communes de composition** puis de construction (structure hypothétique) peuvent alors être énoncées. Le travail intellectuel de compréhension d'un sol commence : les éléments sont mentalement assemblés selon des principes. Par le jeu d'une activité scientifique, l'inexistant ou bien l'anarchique et l'aléatoire font place au cohérent, à l'organisé. Le sol n'est plus perçu comme une masse amorphe, confondue avec le sous-sol. Il **existe** enfin en tant que tel, en tant qu'objet d'étude-modèle, support d'abstraction.

après la  
recherche en  
commun de  
règles de  
construction...

Les agrégats, résistants à la pression des doigts, sont devenus mous et plastiques après humidification. Le sol est bien constitué d'éléments de taille très différente.

A ce moment de réflexion, le résultat d'une manipulation classique et proposée par le professeur (les élèves ne peuvent pas tout inventer !) est alors **aisément interprété parce qu'attendu** : un échantillon de sol, plongé et agité dans l'eau est laissé à décanter. La liste des composants peut être dressée (sable, argile, matière humique plus ou moins surnageante, eau, ions). Certains d'entre eux, imperceptibles à l'œil nu mais qu'on peut oser identifier (argile), semblent pouvoir être mobiles, mais solidaires, en présence d'eau. Le modèle s'enrichit.

Ce n'est plus un "cooky" ou un "morceau de sucre" rigide mais une matière hétérogène molle qui **pose désormais le problème** de la "colle" entre les constituants.

Mais, auparavant, il est nécessaire de savoir si tous les élèves sont parvenus au même niveau de représentation. Une production visible exprimant une représentation mentale est alors demandée à chacun d'eux.

## 2.3. Une étape de structuration : premiers essais de modélisation du sol

La consigne est alors de chercher à "**représenter comme...**", c'est-à-dire à concrétiser sa représentation mentale du sol. Aucun conseil particulier n'est donné. Mais, pour effectuer cette tâche, chacun doit, consciemment ou non, penser à **se donner des règles** de manière à ce que des objets étrangers au sol (objets symboliques) soient assemblés et reconnus comme étant la copie agrandie des compo-

la concrétisation  
en autonomie

sants du sol. Comme le choix des symboles et des règles de construction a souvent été fait inconsciemment, il est indispensable de le faire émerger au niveau conscient, par un travail d'analyse comparative en commun. Les productions des élèves ont été présentées par ailleurs (Monchamp, 1993 b). Elles permettent de reconnaître quatre groupes :

quatre groupes  
selon les  
productions  
produites

- premier groupe : ceux qui ne sont pas capables de passer à l'acte. A ce niveau, ils ne sont pas nombreux mais un réel apprentissage leur est indispensable ;
- deuxième groupe : ceux qui utilisent des **objets concrets** familiers dont l'une des propriétés, implicite, est de pouvoir être assemblés. Ainsi, des **maquettes** sont proposées :
  - . des "post-it" dont les papillons adhésifs portent le nom de l'objet représenté (sable...),
  - . des rectangles de papier portant des noms (sable...) et rellés par des trombones,
  - . des pièces de Légo de différentes couleurs,
  - . des boules de pâte à modeler de diverses couleurs également ;
- troisième groupe : ceux qui matérialisent leur représentation par un simple **schéma**. C'est une tentative descriptive et non explicative de la structure supposée du sol.
- quatrième groupe : ceux qui expriment l'idée d'une cohésion issue de l'assemblage particulier des pièces (comme les "pavages autobloquants") mais ne peuvent le faire que par la rédaction d'un petit **texte** exprimant cette propriété. L'existence de forces de cohésion est explicitée par des verbes (coincer, encastrer, accrocher...) mais non graphiquement. Ces élèves s'expriment plus volontiers par un texte que par un schéma.

Les productions du second groupe ont un caractère très familier. Il ne faut pas se cacher que cela peut nourrir un attachement à la matière, attachement qui risque de faire obstacle à une évolution souhaitée vers l'abstraction.

utilisation lucide  
et mesurée de  
l'analogie

Ce que les élèves ont produit n'est évidemment pas une partie du sol. Il faut conduire les élèves au-delà, de manière à ce qu'ils puissent **saisir la signification** de cet assemblage. Pour cela, on n'hésite pas à dresser la liste des propriétés du montage, propriétés qu'on retrouve ou non dans le sol. Ainsi, la **limite de validité du modèle** est plus claire.

Pourtant, ce type de production présente un très grand avantage par rapport aux autres, c'est qu'il contient l'idée de volume, d'**extension dans l'espace**, dimension qui n'est réellement explicitée et prise en compte qu'exceptionnellement dans notre enseignement, y compris à propos du chapitre traitant du sol.

En effet, il n'est pas certain que les élèves du troisième groupe l'avaient présente à l'esprit.

A ce point de la réflexion, les élèves risquent d'oublier l'objet qu'ils tentent d'expliquer, le sol, et de ne pas **comprendre à quoi sert leur maquette**.



## 2.4. Comment le modèle donne du sens aux manipulations

### • *Dresser un bilan*

Puisque le problème concerne l'alimentation régulière des plantes en eau, même en période de sécheresse, il est proposé de revenir au concret en abandonnant provisoirement la maquette.

la maquette pour regarder autrement l'échantillon qui réagit et y pratiquer des mesures

La classe retrouve la matérialité du sol (la terre) avec la question proposée : *"Puisque je constate que de l'eau est retenue, avant de savoir comment, je peux me demander combien..."*. Une stratégie de mesure des quantités d'eau pouvant être retenue ou non est alors organisée avec les élèves. Par le travail habituel et simple, en Travaux Pratiques, elle débouche sur l'étude de la porosité d'échantillons du sol et elle permet de constater la réalité de paramètres et, par la quantification comparative, de reconnaître leur variabilité selon les matériaux utilisés.

L'étude globale répond provisoirement à notre question : de l'eau est effectivement retenue, elle peut satisfaire les besoins de la plante. Pour aider à faire le pont entre le réel mesuré et la maquette issue d'une production mentale, le professeur propose d'introduire les racines d'un végétal dans le modèle. L'analyse des "images en trois dimensions" du complexe sol-plante permet de distinguer des parties qu'on peut désigner comme des **compartiments**, même si aucune cloison n'est visible (surface de la fraction solide, espace "vide" occupé par l'eau ou l'air, racines).

La démarche analytique du début de l'étude a été abandonnée. Le sol a été abordé dans sa globalité mais c'est en **s'appuyant sur un bilan** qu'on peut y soupçonner des mécanismes internes.

### • *Identifier des mécanismes*

L'analyse comparative des résultats de manipulations par les élèves révèle aussi que le sol retient d'autant plus d'eau qu'il est constitué d'éléments plus fins, que l'eau est contenue dans des espaces de plus petite taille.

Le professeur propose des tubes de verre de divers diamètres et suggère de les plonger dans l'eau et de les en retirer complètement avec la consigne : quelle relation pouvez-vous exprimer entre les observations des tubes et du sol ?

Les relations inverses entre la hauteur d'eau retenue par un tube et son diamètre permet d'énoncer une loi (capillarité).

On pourrait en rester là (enseignement transmissif), chaque élève devant seul repérer le rapport entre la granulométrie, la variation du diamètre des pores, la rétention ou non d'eau et le phénomène de capillarité.

Pour **aider les élèves à effectuer cette opération de mise en relation**, il leur est demandé de considérer le sol du

découverte  
empirique de lois

montage comme étant organisé comme la maquette le prédit.

La construction de celle-ci, copie agrandie mais hypothétique de l'échantillon testé dans le montage, permet de se représenter d'une certaine manière la structure du sol, d'y introduire des lois, d'y comprendre la propriété de porosité. Désormais, le professeur peut demander à chacun qu'il sollicite ce nouveau mode explicatif pour comprendre le stockage de l'eau, l'approvisionnement des racines en dioxygène, la pénétration des radicules et l'ancrage du végétal. Une production écrite par groupe de deux est exigée pour contrôler la réalité de la compréhension et pour fixer ce nouveau savoir sur le cahier de cours, l'élaboration du texte participant à la mémorisation.

• **Opérer un va-et-vient entre l'objet et la maquette**

Une formalisation a été progressivement amorcée. Après avoir explicité des constantes de composition et d'assemblage des éléments, la construction mentale se complexifie puisqu'on y fait jouer deux types de modèles (molécules d'eau, gaz et forces capillaires, de gravitation et d'aspiration racinaire). Des interactions sont perçues. Les productions d'élèves rendent compte désormais d'une structure-type qui n'apparaît pas à l'œil de l'observateur d'un véritable sol. Pouvant être défini par des attributs relatifs aussi bien à la structure qu'à certaines fonctions, il peut être élevé au-dessus de son état matériel premier, au rang d'entité.

Il acquiert ainsi et déjà le statut de "**concept de sol**", le support matériel ayant été proposé **pour aider à se représenter** l'objet et l'idée.

Un problème nouveau se dresse alors. Comment les éléments, solidaires dans un sol sec, peuvent-ils être de plus en plus dissociables selon le degré d'humidification, cette évolution étant réversible, par dessiccation ? Autrement dit, qu'est-ce qui pourrait permettre d'expliquer la plasticité, l'"adhérence molle", entre les éléments constitutifs ?

**2.5. Mise à l'épreuve du modèle par un nouveau problème : recherche d'une solution au problème de la "colle"**

Selon la classe et les circonstances, plusieurs types de propositions ont été formulées par des élèves. Leur caractère inattendu, et donc inquiétant, est peut-être à l'origine de la réticence qu'ont les professeurs à adopter ces pratiques. Nous en rapportons deux.

• Le modèle de la dissolution (par l'interprétation particulière de la molécule d'eau) répondant à une situation antérieure de classe (dissolution de l'engrais-étude des besoins des végétaux) peut faire rebondir la recherche dans une autre situation (amollissement d'agréats du sol en présence

étude de  
relations  
structurales et  
fonctionnelles  
entre le réel et la  
maquette

l'appel à un  
modèle  
particulaire : une  
démarche de  
physicien

d'eau) en apportant une explication possible. **L'identité des caractéristiques de situations** a été aisément reconnue par certains élèves, habitués à établir des relations, il faut le reconnaître.

Le fait de pouvoir faire appel au même modèle dans deux situations différentes renforce la valeur explicative de ce modèle. C'est la situation qui est apparue dans la "bonne" classe.

- La synthèse de l'objet à partir du modèle. Le modèle rendu visualisable par la maquette laisse penser qu'on doit pouvoir **reconstituer** des agrégats en mettant en présence les composants isolés.

On propose aux élèves les composants purs d'un sol : solutions ioniques, suspensions d'argile ou d'humus. Un protocole expérimental est alors construit par chacun des groupes dans lequel toutes les combinaisons de mélange sont proposées, tubes témoins compris. On peut même y introduire des grains de quartz. Ces manipulations mettant en interaction tous les constituants sont classiques et bien connues des collègues. Nous ne les décrirons pas.

Les élèves retournent donc à l'activité modélisante pour construire par groupe d'abord, ensemble et au tableau ensuite, une analogie entre les flocons du tube à essais et les assemblages en pâte à modeler, par exemple, ou les simples graphismes. Un problème est soulevé (la "colle" entre les constituants).

Les groupes recherchent des points communs entre les différentes manipulations : les ions. Des charges électriques interviendraient-elles ? Le professeur propose le montage d'électrophorèse. En quoi son principe de construction correspond-il à nos préoccupations ? En quoi le résultat est-il susceptible de répondre à nos interrogations ? Toutes ces questions doivent être traitées par chaque groupe et la réponse écrite chronologiquement sur le brouillon : un débat peut alors s'instaurer entre les élèves.

C'est ce type de situation qui est apparu dans une des classes médiocres.

## **2.6. Seconde structuration : mise en conformité du modèle aux nouveaux acquis**

Des activités de **reconstruction du premier modèle** en utilisant les propriétés des aimants symbolisant des particules du sol peuvent être proposées. On assemble d'abord les particules chargées du sol puis on noie les composants inertes (quartz) dedans et on essaie d'y inclure les pores de divers diamètres.

Le nouveau modèle, qui se place à une **échelle beaucoup plus petite** que précédemment, apporte des précisions non seulement sur la structure du sol (agrégat, au niveau macroscopique) mais aussi sur sa propre structure (complexe argilo-humique, au niveau "microscopique").

la création d'un  
sol in vitro

de la chimie à la  
physique

A ce niveau de réflexion et dans une même classe, on obtient des résultats très hétérogènes, allant de l'impossibilité maintenue à créer une représentation matérielle (aucun progrès dans l'apprentissage, cas rare) jusqu'à l'assemblage précis en passant par des hésitations révélant l'absence d'intégration de certaines propriétés.

Une aide personnalisée est nécessaire. Ce que l'élève n'a pu faire seul, il faut que le professeur le lui révèle, ce qui, souvent ne pose pas de problème insoluble puisque les objets mentaux sont devenus de véritables objets (éléments de la maquette) et que les opérations mentales correspondent à des gestes physiques, des déplacements le plus souvent.

tester les  
capacités  
explicatives et  
prédictives du  
modèle

Cette fois, la majorité des élèves est parvenue à identifier les règles de construction comme pouvant être également celles de fonctionnement. Les représentations du modèle peuvent être **confrontées** à différentes manipulations nouvelles présentées aux élèves. Ces montages mettant en jeu des sols et des ions différents ont-ils des points communs ? Les résultats répondent-ils finalement aux mêmes lois ? Ces lois sont-elles bien constitutives de notre nouveau modèle ? Faut-il imaginer de nouvelles lois pour rendre compte de certains événements ?

Chacun y réfléchit et tous en discutent. Ainsi est ressentie la nécessité d'énoncer les propriétés (les concepts) d'adsorption, de restitution et donc **d'échange en fonction de certaines conditions** (concentration en ions de la solution du sol) en plus des actions structurantes.

Pour une ultime **structuration**, il est possible de faire jouer entre eux les éléments du modèle, d'y introduire des modifications (des perturbations) de manière aussi bien physique que mentale. Il est devenu possible de prévoir les effets dans une nouvelle situation-problème (comportement du sol soumis à une pluie battante ou plongé dans une solution ionique ou dans l'eau pure...).

quand la  
structure s'efface  
devant les  
fonctions et la  
sophistication du  
codage

Finalement, de proposition en proposition, toutes discutées en classe, on finit par tomber d'accord sur un graphisme extrêmement dépouillé dont le sens n'est exprimé que par des ensembles (**compartiments**), des flèches (**mouvement** de matière) et des mots (**étiquettes**). Nous ne sommes pas loin de l'abstraction puisque le codage est tellement évolué que le modèle ne peut être lu sans clé précise.

Par ailleurs, certains des attributs de ce concept peuvent aussi être identifiés comme tout à fait semblables à ceux qui ont émergé lors d'études d'autres chapitres. En effet, l'animal, le végétal, le sol ont effectivement des points communs qu'une analyse comparative révèle : les attributs du **concept de système**.

Le sol est bien assimilable à un système. Il est organisé par le jeu de propriétés de ses composants et des actions extérieures aléatoires mettant ces mêmes composants en contact (vers, racines, labour...). L'enseignement traditionnel, qui **n'explique la formation du sol qu'en décrivant** chacun des facteurs (roche-mère désagrégée, climat, êtres

vivants), laisse l'élève seul devant des connaissances cumulées et non pas mises en relation. Par contre, l'élève, mis en situation de produire du savoir et de le structurer, peut concevoir une construction, et donc une évolution, du sol-objet.

Replacé mentalement dans la nature, le sol reçoit alors véritablement un passé et un avenir. Il peut être imaginé en **expansion dans l'espace et le temps**, ce qui est en stricte conformité avec les instructions officielles.

### 3. ÉVOLUTION DE LA RELATION ÉLÈVE-SAVOIR SCOLAIRE

En lycée, les élèves sont réticents pour exercer leurs capacités d'observation et d'interprétation, arguant du fait que leurs connaissances communes ne peuvent y être pertinentes et que l'école ne leur a rien appris sur le sujet proposé. C'est d'autant plus vrai qu'ils y sont mal intégrés.

L'analyse des productions de certains camarades peut, par contre, leur faire comprendre ce qu'on attend d'eux. Leur exploitation (prévision à laquelle la classe va se livrer bientôt) permet de découvrir progressivement l'intérêt de se livrer à l'activité d'élaboration de modèles. Celle-ci peut finalement être comprise comme un moyen supplémentaire, **une réponse possible à un besoin de résoudre un problème**, de comprendre en se représentant, une situation qui devient explicable.

Ainsi, les situations de modélisation précédemment décrites activent et mobilisent des représentations préexistantes, communes et/ou scolaires, répertoriées, classées plus ou moins précisément, et permettent de **donner un sens à l'objet** étudié. L'élève se l'approprie, ce qui modifie complètement son attitude face à l'effort intellectuel.

Parce que le problème appartient, en apparence, à son monde sensoriel, l'élève se sent placé en situation familière. De plus, il a compris qu'il est autorisé à utiliser **son** langage habituel. Quelles que soient ses relations avec l'école et l'abstraction, il se sent désormais concerné. Lorsqu'on l'autorise à user de son arsenal d'idées communes et donc d'images et/ou de termes courants voire vulgaires, dont l'usage lui paraissait interdit à l'école, des propositions de voies à explorer apparaissent spontanément.

Il a des "choses à dire" et, reprenant confiance, demande de plus en plus souvent à participer.

En retenant comme indices d'intérêt la fréquence et la qualité des informations émises par les élèves, il a été très souvent constaté, dans plusieurs classes, que la séance devenait dense et enrichissante, y compris pour ceux dont un processus de déscolarisation était engagé. C'est par l'apparition de ce type de comportement qu'on peut attribuer à la séance le caractère d'un véritable apprentissage.

des conditions  
qui font que  
l'élève se sent  
concerné

Cette évolution comportementale, observée en classe  $B_C$ , a été très fréquente en classe  $M_C$  (voir tableau en 4.1.) mais rare dans les cours et séances de T.P. où le modèle transmissif a été appliqué.

#### 4. ÉVOLUTION DES REPRÉSENTATIONS DU SOL CHEZ LES ÉLÈVES

L'étude porte sur l'ensemble des élèves ayant reçu l'un ou l'autre des deux types d'enseignement.

##### 4.1. La structure du dispositif comparatif

Nous avons cherché à caractériser les effets sur les apprentissages du dispositif pédagogique constructiviste expérimenté avec deux classes, en les comparant aux résultats de deux classes de niveau équivalent mais ayant bénéficié d'un enseignement de type transmissif. Les professeurs des classes  $M_C$  et  $M_T$  étaient différents. Le professeur de la classe B était le même et a mis en œuvre les deux dispositifs pédagogiques, l'un dans la demi-classe  $B_C$ , l'autre dans la demi-classe  $B_T$  (les cours en classe entière portant sur un contenu tout à fait différent).

Le tableau ci-dessus décrit le dispositif de comparaison utilisé :

	modèle se référant au constructivisme	modèle de type transmissif
classes "médiocres" M (T.P. et cours)	classe $M_C$	classe $M_T$
"bonne" classe, B (en T.P. seulement)	groupe $B_C$	groupe $B_T$

Pour les classes  $M_C$  et B (groupes  $B_C$  et  $B_T$ ), et en conformité avec le procédé choisi, un recueil simplifié de représentations a été effectué, avant et après l'étude du sol (au minimum un mois et demi après), par questionnement et une demande d'élucidation de situations-problèmes. Des analyses comparées ont pu être menées, de manière quantitative ( $M_C$  et  $M_T$ ) ou qualitative (classe B).

La classe  $M_T$  n'a reçu le questionnaire qu'à la fin du chapitre. Les résultats obtenus dans les deux classes  $M_C$  et B avant le cours sont non seulement tout à fait identiques, mais aussi en accord avec ceux obtenus par M.-C. Girard(\*)

(\*) Nous remercions monsieur Michel-Claude Girard, professeur à l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon, laboratoire de science des sols et d'hydrologie, d'avoir accepté de prendre sur son temps pour nous recevoir et nous aider dans notre recherche.

auprès d'adultes. Ils nous autorisent donc à penser qu'il n'y a, apparemment, aucune raison pour que les élèves  $M_T$  aient des représentations initiales différentes de leurs camarades  $M_C$  et B.

Bien après une évaluation sommative, une situation-problème nouvelle demandant un transfert a été soumise aux classes  $M_C$  (deux mois plus tard) et B (sept mois plus tard). Pour éclairer les réponses du groupe  $B_T$ , nous avons évalué la quantité d'informations encore mémorisées après un si long délai.

Pour toutes les productions écrites d'élèves, les réponses ont été appréciées, classées et comptées pour comparaison.

#### 4.2. Analyses quantitatives en classes dites "médlores"

- *Évolution des compétences lexicales (classes  $M_C$  et  $M_T$ )*

Deux questions ont été posées aux élèves :

*"Écrivez, après réflexion, les dix premiers mots qui, pour vous, sont associés à l'idée que vous avez du "sol".*

Deuxième question : même formulation à propos de la terre

Dans la classe  $M_C$ , et à propos du sol, 50 mots différents ont été répertoriés avant l'étude contre 49 après. Des résultats très semblables ont été enregistrés à propos du mot terre (55 contre 45).

Même si beaucoup de mots associés à sol et à terre sont identiques (49%) dans les réponses initiales, l'utilisation spécifique de certains pour sol ou terre permet de rendre compte que :

- pour beaucoup d'élèves avant le cours, sol et terre peuvent avoir **des statuts différents** (situation, rôle, utilisation) ; pour 35%, **sol = surface** et **terre = milieu où se nourrissent** les plantes ; pour 10%, sol = profondeur, roche (roche-mère), solide et terre = partie cultivée, meuble ;
- pour plus de la moitié, la **terre** est un **élément constitutif du sol** (référence à des pratiques culturelles connues ...). Ceci explique aussi que pour certains, la terre peut avoir la même signification qu'engrais ("**de la bonne terre..**").

la terre et le sol  
coexistent sans  
être confondus

Ces résultats sont confirmés par les réponses obtenues à la question 3 : *"Y a-t-il, pour une plante, une différence entre sol et terre ? Laquelle ?"* 25% seulement des réponses affirment que sol et terre apportent la même chose aux plantes mais sans explication et... ces élèves associent malgré tout de nombreux mots différents à sol et terre !

Si le sol évoque essentiellement des images contenant une collection d'objets et des propriétés physiques (surface, couche, marcher, solide, roches...), la terre rappelle la vie, végétale surtout. Le projet exprimé par le professeur ("étude du sol") est donc susceptible de déclencher l'évocation

le statut physique  
du sol et les  
propriétés  
biologiques de la  
terre fusionnent  
progressivement

d'images parasites qui peuvent créer des obstacles à la compréhension et à la communication. Au professeur averti de gérer cette situation.

Par ailleurs, dans la classe  $M_C$ , 32 mots sont abandonnés après l'étude : **l'image initiale du sol a évolué et l'écart de sens entre sol et terre s'est réduit**. A la question 3 : "Y a-t-il pour la plante une différence entre sol et terre ?", 75% répondent qu'il n'y en a pas, mais associent cependant des mots différents à l'idée de sol et de terre. Dans les mots constants utilisés à propos de terre, beaucoup ont encore la signification de la partie cultivable - mots que l'on ne retrouve pas dans la nouvelle liste associée à sol.

L'idée d'une différence entre sol et terre est résistante sans doute parce qu'elle vient de notre enfance !

De plus, 31 mots nouveaux ont remplacé ceux qui ont disparu. Il s'agit de mots techniques désignant aussi bien des structures que des fonctions (agrégat, complexe argilo-humique, structure, micro et macropores...). Mais, pour chacun, cette liste s'est enrichie. De nombreux mots sont toujours présents et avec une plus grande fréquence (argile : 3% - 33%, humus : 3% - 58%, ions : 33% - 66%...). La richesse de sens de la liste des mots conservés et nouveaux montre également une amélioration de la précision du vocabulaire concernant les constituants du sol, l'organisation de ces constituants dans l'espace (structure du sol) et les propriétés qu'elle détermine vis-à-vis des plantes.

Le sol change de statut pour la grande majorité des élèves. Il y a eu acquisition du vocabulaire définissant le sol comme un ensemble complexe mais organisé. L'image de l'objet concret-sol a été modifiée par l'étude. Il s'est construit sur elle, ou à sa place, **un réseau de connaissances abstraites** ressemblant à un réseau conceptuel.

De son côté, après l'étude, la classe  $M_T$  propose 90 mots différents se référant au sol (et 77 à terre). Ces chiffres montrent donc **une plus grande richesse lexicale** dans la classe  $M_T$  que  $M_C$ .

En fait, **certaines catégories de mots persistent** alors qu'ils ont disparu dans la classe  $M_C$ , d'où l'effet d'accumulation. Ce sont souvent les mots qui traduisent l'idée d'**un statut différent pour sol et terre**.

Tous les autres mots de  $M_T$  correspondent au vocabulaire technique disciplinaire qui a été appris au cours du chapitre. Mais les fréquences d'occurrence sont faibles (< 16%), mis à part humus (23%) texture (36%) eau (43%) et porosité (53%).

- Tous les mots cités dans le cours à propos de la texture, de la structure et du fonctionnement du sol vis-à-vis de l'eau sont présents dans la liste. Le nombre de termes liés à l'eau (14 mots différents) sont révélateurs de **l'effet des Travaux Pratiques** et des tous derniers cours traitant des nappes phréatiques sur la mémorisation.

le modèle  
transmissif  
augmente le  
lexique sans le  
faire évoluer...



- La fréquence d'utilisation des termes liés à la texture est faible pour tous les constituants. Aucun ne semble avoir été considéré comme primordial. Ainsi, l'élément majeur de la structuration et du fonctionnement du sol, **le complexe argilo-humique, n'est cité que par un seul élève**, un autre ne proposant que le terme de complexe.

Après l'étude dans la classe  $M_T$ , et contrairement à  $M_C$ , on relève la conservation des mots évoquant des animaux et des plantes ou relatifs à des parties de plantes se trouvant dans le sol.

Pour ces élèves, le chapitre traitant du sol se ramène donc à une liste d'objets juxtaposés et équivalents, voire de propriétés, mais qui ne semblent pas avoir été réunis en un tout cohérent, en un système opératoire (l'idée de sol), ce qui pourrait expliquer cette **liste exhaustive mais disparate pour chaque élève**.

La prétendue médiocrité intellectuelle de la classe  $M_C$  n'influence donc pas les résultats ; mais les élèves ont-ils bien assimilé le sens des mots de manière à le rendre opératoire (vocabulaire actif) ou n'ont-ils retenu que le signifiant (vocabulaire passif) ? La seule analyse lexicale n'est pas suffisante pour conclure avec certitude. C'est pourquoi il a été utile d'analyser les réponses d'élèves en situation de résolution de problèmes.

• **Évolution des compétences sémantiques**  
(classes  $M_C$  et  $M_T$ )

Onze questions ont été soumises aux élèves. Non traitées en cours, elles en sont plus ou moins proches et ne demandent pas une restitution systématique. Elles ne portent que sur trois domaines : la structure, l'évolution du sol, l'eau et les ions (engrais). Nous pensons, en effet, que le jeu du croisement des réponses présente l'avantage d'évaluer précisément la maîtrise (le caractère opératoire) des concepts par les élèves.

Pour ne pas disperser l'attention du lecteur nous ne lui en proposons que quelques-unes. Voici donc un exemple d'analyse des réponses aux questions 7 : *"Que devient l'eau de pluie tombée à la surface d'un champ ?"* et 13 *"Où se trouve l'engrais (sous quelle forme) pendant la période située entre son épandage en automne et son utilisation par la plante au printemps ?"*.

il rend difficile la  
hiérarchisation  
des termes...

Le dépouillement des réponses est exposé ci-dessous.

	pré-test (citations)	%	post-test (citations)	%
question n°7	<i>l'eau...</i>		<i>l'eau...</i>	
	- est absorbée ;	10	- rentre dans le sol et nourrit les plantes ;	10
	- est absorbée par le sol ;	58	- rentre dans les pores du sol et s'enfonce dans les nappes phréatiques ;	4
	- est absorbée et va vers les nappes phréatiques ;	14	- est retenue par les micro- pores ;	28
	- entre dans le sol et est absorbée par les racines des plantes ;	10	- entre dans le sol, une partie reste dans les micropores et servira la plante, l'autre descend vers les nappes phréatiques ;	28
	- pas de réponse.	8	- même réponse, seule l'eau utile est prélevée par les plantes ;	8
question n°13	<i>l'engrais...</i>		- les ions vont être mis en réserves dans le sol ;	20
	- reste en surface ;	4	- certains ions sont mis en réserve, d'autres sont lessi- vés ;	8
	- migre en profondeur ;	11	- mis en réserve, liés à l'argile et l'humus ou au complexe argilo-humique ;	25
	- change d'état :		- ions qui se trouvent dans la solution du sol ;	12
	= devient solide,	7	- enfouis dans le sol ;	16
	= devient gazeux,	3	- pas de réponse (ou incohé- rente).	18
	= prend la forme ionique,	7		
	= devient du fumier ;	4		
- mis en réserve par les plantes ;	7			
- pas de réponse.	57			

Évolution des compétences sémantiques dans la classe M<sub>C</sub>  
(du pré-test au post-test)

Pour comparaison, nous proposons les réponses des élèves de la classe M<sub>T</sub> aux mêmes questions (post-test) :

réponses à la question 7 (l'eau de pluie...)	%	réponses à la question 13 (l'engrais...)	%
- s'évapore ou est absorbée par le sol ;	36	- dans le sol (sans autre précision) ;	20
- s'infiltré dans les nappes phréatiques ;	20	- dans le sol mais certains auront subi le lessivage ;	10
- pénètre dans le sol, une partie est absorbée par les plantes, une autre descend vers les nappes ;	30	- dans les réserves du sol ;	3
- est absorbée et retenue différemment selon la texture et la porosité. Seule, une partie de l'eau est disponible ;	3	- vers le bas et remonte quand les plantes en ont besoin ;	3
- retenue dans les macro. et micropores ;	3	- dans le sol sous forme d'ions ;	6
- sert aux plantes ou lessive les ions et descend en profondeur ;	3	- utilisé par les plantes ;	3
- la pluie avec ses ions va nourrir le sol.	3	- réponse sans rapport avec la question ;	20
		- pas de réponse.	30

### Compétences sémantiques dans la classe M<sub>T</sub> (post-test)

Dans cette dernière classe, le vocabulaire "technique" n'est qu'exceptionnellement utilisé (6 %) alors que l'analyse lexicale a montré qu'il était cité par la moitié des élèves. Les mots appartiennent donc, pour l'essentiel, au **vocabulaire passif**. 78,6 % des élèves n'ont pas d'explication plus précise, plus technique que celles que leurs représentations initiales leur apportent.

Lorsqu'on demande à ces mêmes élèves : "Comment expliquez-vous qu'après une période prolongée sans pluie les plantes soient toujours vivantes parce qu'encore alimentées en eau ?", les réponses restent incohérentes ou insuffisantes pour 43 %. Les autres évoquent des réserves mais 13 % seulement utilisent cette notion sans erreur.

A propos des réponses à la question 13, aucun élève ne fait référence au complexe argilo-humique pour expliquer la mise en réserve d'ions. Pourtant, toutes les illustrations classiques ont été apportées dans le cours et les T.P. par le professeur (floculation des colloïdes, expérience avec bleu de méthylène et éosine, schéma de la floculation et fixation d'ions sur le complexe...). De plus, une évaluation formative ad hoc a été effectuée.

D'une manière générale, l'animisme (Piaget, 1976) ou, tout au moins, le vocabulaire qui lui est lié, reste très présent après le cours. Ainsi, à la question "Pourquoi laboure-t-on le

... et ne refoule pas les représentations initiales

sol ?", les élèves des classes  $M_C$  et  $M_T$  se comportent bien différemment :

- avant le cours, les réponses sont imprécises ("*faire respirer le sol*", "*aérer le sol*", "*ramener la bonne terre, la terre riche, fraîche en surface*") mais après le cours, le vocabulaire devient franchement technique (76%) pour la classe  $M_C$  ;
- après le cours, les élèves  $M_T$  continuent à utiliser leurs représentations initiales et non pas leur savoir scolaire : "*mettre en surface du sol neuf*", "*pour régénérer, purifier*", "*pour faire respirer le sol*", "*pour qu'il ne s'étouffe pas*" mais aussi, chez un seul "*pour améliorer la texture*".

#### • Conclusions

Par l'abondance des mots se rapportant aux êtres vivants, notre étude révèle d'abord l'**effet parasite d'un chapitre** que les instructions officielles ont accolé à l'étude du concept de sol. Il s'agit de l'étude d'un attribut du concept de transformation de matière : la minéralisation de la matière organique.

Ces deux chapitres sont réunis par le simple effet d'une logique topographique car les deux parlent du sol... Or, si on se place au plan d'analyse des concepts, sol et transformation de la matière sont deux concepts qui n'ont que fort peu d'attributs communs. Cette confusion est génératrice de mélange de mots et sans doute de confusion de sens accumulés dans le même "dossier mémoire" de l'élève.

D'autre part, et surtout, l'étude comparée des résultats montrent des connaissances très étendues au plan lexical dans la classe  $M_T$  mais exceptionnellement fonctionnelles chez ces élèves ayant reçu un enseignement de type transmissif. Ils répondent comme si les T.P. sur la porosité avaient simplement servi à dégager les propriétés du sable, la valeur générale des idées ne semblant pas avoir été révélée. La généralisation implicite a dû être opérée par l'élève seul. L'absence de cette opération rend alors impossible tout transfert.

Dans cette classe médiocre, l'enseignement transmissif n'apporte que peu de modifications des représentations initiales. Rendant moins familière la mise en situation-problème ou en résolution de problème, il ne semble pas avoir permis l'installation et/ou la mémorisation de relations entre des informations de diverses natures. Les mots techniques présentés en classe sont mémorisés mais pas utilisés. **Les mots n'ont pas été compris comme étant des outils de pensée** parce que la fonction qu'ils recèlent ne semble pas avoir été révélée par les conditions d'enseignement. L'activité de construction de connaissances - ici, la modélisation et son exploitation - semble, quant à elle, le permettre, en faisant "jouer" les élèves avec des symboles d'objets microscopiques, de propriétés, de relations. A ce propos, on peut se demander si l'aspect déterminant de ce dernier type d'apprentissage est la prise en charge auto-

l'analyse conceptuelle des chapitres est une nécessité pour les distinguer...

... mais aussi pour souligner leurs traits communs et mieux les comprendre

nome de la construction par les élèves ou la mise en oeuvre d'un modèle permettant de se représenter les relations et les aspects fonctionnels. La question est posée.

Enfin, les chapitres étant très fréquemment considérés comme étanches les uns par rapport aux autres, il n'y a pas de tentative de mise en relation entre eux : besoins des végétaux et engrais dans le sol par exemple. Le complexe argilo-humique, point central du réseau conceptuel, reste donc un simple nom qui désigne encore un objet, quand il est connu (!), et non une fonction. C'est pourtant la fonction qu'il faut révéler pour tendre vers la maîtrise du concept.

Non seulement les élèves de la classe  $M_C$  ont enrichi leur vocabulaire mais, en plus, ils savent s'en servir, et cela bien après la fin du cours, ce qui est une bonne indication de la qualité de l'assimilation. Les cours qui ont suivi n'ont pas effacé ceux qui les ont précédés.

La classe  $M_C$  nous autorise à **mettre en relation ses progrès avec le travail** qui a été fait par les élèves lors de l'apprentissage de la modélisation, séance au cours de laquelle une certaine représentation du complexe argilo-humique a été construite, système très complexe pour les élèves de seconde, il faut bien le reconnaître. Mais c'est le caractère extrêmement complet et formateur qui rend incontournable à nos yeux ce chapitre traitant du sol.

#### 4.3. Analyse qualitative dans une bonne classe (les groupes $B_C$ et $B_T$ )

Trois mois et demi après la clôture du sujet, le questionnaire proposé avant l'étude du chapitre a été soumis à nouveau à la classe. Chaque élève a retrouvé sa feuille et donc ses premières réponses. Il a ainsi pu apprécier la "distance qu'il avait parcourue". Cette distance est souvent importante.

L'analyse comparée montre :

- en pré-test comme en post-test, les mots associés à "terre" et "sol" sont les mêmes que ceux proposés par la classe  $M_C$ . Pourtant, les mots associés à sol et contenant l'idée de simple surface sont plus fréquents : par exemple pour Delphine, avant : "*chemin, sous nos pieds, goudron, trottoir, rue, plancher*" et après : "*roche-mère, érosion, minéraux, granite, cailloux*";
- les réponses des élèves de cette classe aux problèmes soumis sont identiques à celles de  $M_C$  ; cela signifie que l'acquisition des connaissances a été la même, et cela quel que soit le modèle pédagogique mis en oeuvre ;
- la nature des réponses au post-test nous montre qu'il y a eu réellement progrès, des glissements de sens se sont opérés, de nouveaux concepts sont mieux maîtrisés, par exemple :

**Q4 : Quelle est la matière du sol (de quoi est fait un sol) ?**

Marie, avant : pas de réponse ;

après : *“agrégats formés de grains de sable et d'un complexe argilo-humique qui tient grâce aux ions positifs qui sont attirés par les ions (sic !) négatifs de l'argile et de l'humus”*.

**Q12 : Où se trouve l'engrais (et sous quelle forme) pendant la période située entre son épandage en automne et son utilisation par la plante au printemps suivant ?**

Cécilia, avant : *“Il se trouve sur la terre et soit sous forme de granulés, soit sous forme de terre ou de mousse”* ;

après : *“Il se trouve dans la terre, stocké par le sol jusqu'à ce que la plante en ait besoin et se nourrisse avec les réserves. Stocké : par les lois d'attraction des ions positifs et des matières négatives constituant le sol”*.

les bons élèves  
ont la capacité  
de s'adapter au  
professeur et à  
son  
enseignement

Dans cette bonne classe, **quelle que soit la stratégie pédagogique utilisée**, le sol a effectivement changé de statut. Il n'est plus distingué de la terre. Il est reconnu désormais comme objet en soi, et surtout comme un assemblage d'éléments en interaction. Le vocabulaire associé est devenu plus riche et technique.

Le laps de temps important pendant lequel il n'a plus été question de ce chapitre nous permet de considérer que les seules informations stockées en mémoire à court terme ont été en grande partie traitées et reclassées en long terme sinon éliminées.

Si, pour l'instant, le modèle pédagogique semble ne pas avoir d'influence dans une très bonne classe, il n'en est pas de même pour une classe médiocre. Tout se passe comme si l'application d'une stratégie mettant les élèves en situation de traiter des informations sensorielles abondantes et d'agir manuellement et mentalement n'aidait surtout que ceux qui n'ont pas encore acquis les outils mentaux nécessaires.

Mais le savoir que l'élève performant exprime dans ses réponses, savoir qui a toutes les chances d'avoir été intégré, est-il réellement opératoire ?

## 5. EFFETS DU DISPOSITIF PÉDAGOGIQUE SUR LA CAPACITÉ À RÉSOUDRE UN PROBLÈME

### 5.1. Évaluation différée

Bien après la fin de l'étude du sol, une brève situation d'évaluation a été proposée aux élèves  $M_C$ ,  $B_C$  et  $B_T$  :

*"Depuis le début de l'ère industrielle, les usines rejettent des gaz dans l'atmosphère. Ceux-ci réagissent avec l'eau des nuages et produisent des ions  $H_3O^+$  qui sont entraînés sur et dans le sol par les pluies (pluies acides, Volker Mohnen, 1988). Expliquez comment celles-ci agissent sur la structure du sol et entraînent la mort des végétaux"(\*)*.

tester la  
capacité à  
récupérer en  
mémoire à long  
terme les savoirs  
et à les transférer

La réponse devait décrire les mécanismes d'échange entre les cations adsorbés sur le complexe argilo-humique et ceux de la solution du sol enrichie en ions hydronium par les "pluies acides". La libération de certains cations, dont le  $Ca^{2+}$ , est susceptible de donner prise au lessivage (appauvrissement du sol en ions, au détriment des plantes) et de déclencher la dislocation du complexe.

Ce problème a été retenu parce qu'il n'est pas de même nature que ceux qui ont permis de faire émerger les représentations. En effet, contrairement à ces derniers, il ne fait intervenir ni pratiques culturelles ni situations qui ont pu être évoquées en cours ou dans le questionnaire, tels les engrais-ions du sol ou les pluies-eau du sol. Il s'agit donc d'effectuer un transfert dans des conditions tout à fait nouvelles mêmes si les lois et les objets mis en scène ne le sont pas.

### 5.2. Les résultats

Le problème a été posé aux élèves plusieurs mois après la fin de l'étude du sol. Les résultats des groupes  $B_C$  et  $B_T$  figurent sur le tableau ci-après.

---

(\*) Notons que ces phénomènes sont loin d'être les seuls à être responsables de la mort des végétaux.

critères de catégorisation	groupe B <sub>C</sub>	groupe B <sub>T</sub>
<i>bonnes réponses</i>	10/14 (71%) <i>dont 8 très précises</i>	4/17 (24%) + 3 (échanges seuls)
<i>la toxicité du caractère acide d'H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> serait responsable de la mort des végétaux</i>	1/14	12/14
<i>élèves ayant conscience d'avoir spontanément évoqué des images mentales</i>	12/14	12/17
<i>élèves ayant spontanément accompagné leur texte d'un schéma explicatif <u>personnel</u>, tous mettant en scène des charges</i>	6 sur les 12 précédents	5 sur les 12 précédents
<i>élèves ayant produit un schéma exprimant des déplacements de charges...</i>	6/6 <i>tous exacts et correspondant à une réponse écrite exacte et complète</i>	3/5 <i>dont 2 (avant-après) correspondant à une réponse écrite exacte</i>
- par des flèches - par deux schémas, avant - après	4/6 2/6	1/3 2/3
<i>élèves exprimant spontanément leur dépendance par rapport aux schémas du cahier (images visibles "dans la tête")</i>	5/12 dont 2 <i>ne savent pas les rendre mobiles</i>	7/12 <i>(probabilité de schémas mentaux figés ?)</i>

### Évaluation différée : réponses des élèves B<sub>C</sub> et B<sub>T</sub>

De leur côté, les élèves M<sub>C</sub> obtiennent un taux de réussite proche de celui de la classe B<sub>C</sub>, en tous cas, supérieur à ceux de BT.

- 67 % apportent une réponse satisfaisante ou assez satisfaisante. Ces réponses se répartissent ainsi :

. 14 %, très complètes et détaillées, sont accompagnées de schémas indiquant soit l'état avant-après soit des mouvements par des flèches ;

. 14 % sont complètes mais sans schéma. Par contre, le vocabulaire est très imagé, peut-être faussement animiste ("les ions se battent...", "les ions arrachent..."). Il s'agit, en particulier d'élèves en grande difficulté (redoublement...) présentant habituellement et en toutes disciplines de redoutables problèmes de vocabulaire, **mais la qualité de la pensée ne semble pas devoir dépendre uniquement de la richesse du vocabulaire exprimé ;**

. 20 % expliquent les échanges, le lessivage et le problème de nutrition des plantes, mais, 10 % ne parlent pas de changement de structure du sol et les autres en donnent les conséquences sans l'expliquer ;

. enfin, 19 % parlent de remplacement d'ions, de changement de structure donc de conséquences de la perturbation sans dire quels sont les ions en cause et comment

quand des  
"mauvais" élèves  
peuvent réussir !



cela se passe (mais un élève propose un traitement correctif, pertinent et évoqué en cours).

- 23 % prédisent ou non certaines conséquences mais sans les expliquer à partir du cours et en évoquant tous l'intervention de la toxicité de l'acide !

### 5.3. Capacité à transférer des connaissances

Sept mois après, les élèves du groupe B<sub>C</sub> font appel au schéma de synthèse qu'ils ont construit eux-mêmes en classe et mémorisé de manière visuelle. Ils le font très généralement fonctionner correctement (schéma pouvant être mentalement animé).

l'exploitation généralisée d'images mentales, mais sont-elles souples ou rigides ?

Pour rechercher et produire une réponse, les élèves du groupe B<sub>T</sub> semblent fonctionner de la même façon (appel plus fréquent à des images mentales que la seule verbalisation) mais s'expriment un peu moins souvent par un graphisme. Ils verbalisent à partir de leurs images mentales. Leur succès est nettement moins élevé alors que ce groupe contient des élèves reconnus comme habituellement "bons" en toutes disciplines. La fréquence élevée d'élèves se référant spontanément aux seuls schémas du cahier nous amène à nous interroger sur le type d'exploitation qui en est faite. On voit, en tous cas, qu'il ne suffit pas d'avoir mémorisé un schéma fonctionnel pour produire la bonne réponse.

De plus, des schémas proposés (B<sub>T</sub>) sont faux, totalement ou partiellement (souvenirs émoussés) et/ou pas adaptés au problème (images figées). Certains présentent des éléments étrangers (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> !), des associations incomplètes. Tout cela révèle que **le complexe et son environnement n'ont pas été compris comme un système qu'on peut mentalement modifier pour l'adapter**. Quand ils sont évoqués, les ions sont uniquement adsorbés sur le complexe.

l'évocation de souvenirs exige des repères qu'il faut savoir distinguer

Ces élèves ont des souvenirs mais parcellaires. Il semble qu'ils ne peuvent plus reconstituer le sol en retrouvant les associations antérieures correctes. Et quand les associations sont exprimées, elles sont souvent figées parce que fossilisées. Les échanges ne fonctionnent plus comme éléments d'explication. L'élève ne trouvant pas dans ses souvenirs de cours une solution cohérente est alors influencé par l'abondance des ions étrangers, perturbateurs par leur caractère artificiel.

Il semble que les élèves du groupe B<sub>T</sub> cherchent à retrouver une réponse toute faite, en **rappel** (Lieury, 1993, p.12) dans le souvenir du cours, sans chercher à vérifier (ou sans avoir les moyens de vérifier) qu'elle n'a jamais été élaborée voire citée en cours ou qu'elle n'est pas pertinente. Est-ce par paresse ? par insuffisance de connaissances ? par insuffisance de construction de connaissances ? par manque d'**indice de récupération** (Lieury, 1993, p. 55) ?

#### 5.4. La fonctionnalité du lexique

Tout se passe comme si les élèves du groupe B<sub>T</sub> (qui, nous le rappelons, avaient bien répondu au questionnaire, trois mois après) avaient oublié, sept mois après, des connaissances nécessaires à la résolution. Nous avons testé cette hypothèse, une semaine après la mise en situation que nous avons décrite, par un questionnaire.

Chacun a répondu à une question avant de connaître la suivante et ne pouvait revenir sur sa réponse :

- 1 - Comment vous représentez-vous les agrégats du sol ?
- 2 - Qu'est-ce que le complexe argilo-humique ?
- 3 - Quel est le rôle des ions dans la structure du sol ?
- 4 - Expliquez l'alimentation de la plante à partir des réserves en ions du sol.

Cinq des treize élèves qui n'avaient pas su résoudre le problème des pluies acides, révèlent qu'ils connaissent bien les composants et règles de structure du complexe argilo-humique et trois d'entre eux précisent que ce dernier fixe à sa surface des ions qui peuvent passer dans la solution du sol puis dans la plante.

on peut savoir  
mais ne pas  
savoir faire

Confronté au problème, **ces élèves avaient tous les éléments cognitifs**, en apparence, pour résoudre le problème. Il semble qu'ils savaient faire circuler les ions (du complexe à la plante en passant par la solution du sol) mais que le concept d'échange n'était pas assez bien construit : le complexe n'a pas été compris comme susceptible de changer d'état sous l'effet d'une perturbation de son environnement. Ce constat est peut-être à rapprocher du fait que ces élèves n'ont pas été placés en situation d'apprentissage actif et de construction autonome des connaissances. Il serait donc intéressant d'approfondir cette question.

Les cinq autres élèves (sur 17) n'ont plus que des souvenirs très vagues, incohérents et bien sûr inopérants. Sept mois après le cours, les effets de l'enseignement s'estompent...

Deux se souviennent encore de l'alimentation de la plante à partir de la solution du sol (et pas à partir du complexe), mais il est vrai que ce cours a été dispensé plus récemment.

#### 5.5. Opérationnalité des modélisations

Certains des élèves du groupe B<sub>T</sub> n'ont fourni une réponse satisfaisante au questionnaire qu'après avoir lu la troisième question. Il semble que, contrairement au **graphisme** H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> de l'énoncé du problème, **les mots associés** "ion" et "structure" dans la question, aient joué un rôle déclencheur en activant un fichier mémorisé imagé (feuille de cours portant le schéma accompagné d'une texte). Les mots, et non pas le graphisme, ont permis d'activer un fichier de mémoire comportant plusieurs instructions (structure du sol, charges électriques, relation entre des composants...), dont l'accès était resté verrouillé malgré la formulation des deux pre-

l'apprentissage  
des sciences est  
d'abord et  
évidemment un  
travail sur le  
langage...

mières questions. Les réponses à celles-ci avaient été très incomplètes.

Les mots "ion" et "structure" ayant été reconnus comme faisant partie d'un fichier lié au sol, la question 3 a joué le rôle de **rappel indicé** ("*technique de récupération avec indices spécifiques, indices alphabétiques, sémantiques, imagés [par exemple, l'album photo permet de retrouver des souvenirs]*", Lieury, 1993, lexique).

Ces élèves n'ont donc pas décodé le graphisme  $H_3O^+$  en terme de propriété électrique. Il s'agirait pour eux d'un objet non signifiant. Si pendant le cours, les mécanismes du sol ont été appris, en utilisant certains ions particuliers (calcium, potassium...) on peut craindre qu'ils **n'ont pas été compris en tant qu'expression de lois générales concernant tout corps** chargé électriquement, ce qu'ont dû faire la très grande majorité du groupe  $B_C$  et  $M_C$  lors de la modélisation, en "jouant" avec des combinaisons de charges.

Le codage visuel (schéma fonctionnel au tableau) n'a pas été traduit en mémoire sémantique (pas de prise de sens du schéma) mais en mémoire épisodique, contrairement aux mots écrits.

Par contre, la modélisation semble permettre à la fois cette prise de sens et la mémorisation.

### 5.6. La résurgence d'obstacles

Quand on ne sait plus faire fonctionner le modèle du sol au niveau de sa structure, les conséquences sur celle-ci ne peuvent plus être déduites. Face à une situation n'appelant pas une réponse toute faite, les élèves du groupe  $B_T$  ne raisonnent plus. Très majoritairement, ils mobilisent immédiatement et sans contrôle le mode d'interprétation le plus économique, le plus immédiat parce que le plus commun, c'est-à-dire l'idée de toxicité de l'acide.

Avec l'artificialisme de la chimie, elle correspond bien à une représentation commune. Elle a été signalée dans d'autres recherches antérieures et nous-mêmes l'avions déjà rencontrée.

Nous formulons l'hypothèse que le recours immédiat des élèves à une propriété agressive et immatérielle des ions  $H_3O^+$  peut révéler l'existence d'un obstacle fréquemment rencontré. En effet, l'acidité semble être préférentiellement comprise par beaucoup d'élèves comme une **vertu** destructrice et non pas comme une interaction possible de la matière (ion) avec de la matière (complexe argilo-humique). Dans ces conditions, si les explications des élèves n'évoquent pas la matière, c'est peut-être parce que les gaz pol-

pour passer du  
particulier au  
général

---

(\*) Le groupe de didactique des sciences expérimentales de l'INRP, auquel l'un des auteurs est associé, conduit actuellement une recherche sur des objectifs-obstacles (ROOSA) concernant ce thème, notamment à propos de production de "matière vivante". Cette recherche est dirigée par Brigitte Peterfalvi. Voir ASTOLFI, PETERFALVI, 1993.

le modèle  
transmissif a  
modifié les savoirs  
mais pas les  
savoir-être

luants, émis dans l'atmosphère et à l'origine des ions  $H_3O^+$  ( $CO_2$ ,  $NO_2$ ... réagissant avec l'eau des nuages) ne sont pas compris comme étant de la matière (\*).

Le contexte "chimique" des conditions de production appelle alors, par association et de manière impulsive et intuitive, d'autres qualificatifs : artificiel, agressif, inquiétant.

Il ne suffit donc pas d'identifier le schéma mental (Richard, 1990) et d'affecter aux éléments de l'énoncé une place dans le schéma, encore faut-il faire fonctionner celui-ci afin d'éviter le retour des représentations obsédantes. Pour cela, il faut que, chez l'élève rassuré, ce schéma soit devenu familier afin de lui permettre d'inférer des informations manquantes.

Pour ce qui concerne la classe  $M_C$  et le groupe  $B_C$ , il semble que les élèves y ont appris à reconnaître des indices dans un graphisme ( $H_3O^+$  par exemple) mais aussi dans un énoncé et à établir des relations avec des propriétés mémorisées antérieurement. Ces données proviennent à la fois des mémoires sémantique et procédurale, ce qui montre bien que des connaissances (savoir, savoir-faire) ont réellement été construites lors des apprentissages.

## CONCLUSION

Les domaines sur lesquels ont porté nos observations sont suffisamment nombreux et les résultats obtenus suffisamment voisins ou contrastés pour qu'on puisse les considérer comme "porteurs" d'informations, même si on peut encore améliorer la rigueur de l'analyse avec tout autant d'impartialité.

Pour ce qui concerne le simple enrichissement lexical, l'enseignement exclusivement transmissif et la passivité physique de l'élève qui en découle, même en Travaux Pratiques où un protocole est imposé, ne sont vraiment efficaces pour résoudre des problèmes de cours que dans de bonnes classes. En effet, l'étendue du vocabulaire de la classe  $M_T$  relève plus du cumul de mots que de l'enrichissement en concepts. On pourrait conclure, en forme de truisme, que l'enseignement ne pourrait être utile que dans les bonnes classes (idéologie élitiste)...

Cependant, les "bons" élèves ont montré que leurs représentations initiales, les obstacles qu'elles recelaient, étaient de même nature que chez leurs camarades moins "scolaires". Mais la capacité à s'analyser, à se livrer à l'introspection, la confiance accordée à l'enseignant pour accepter d'être déstabilisés, leurs multiples stratégies d'apprentissage leur permettent de se remettre en cause pour construire un nouveau système explicatif plus performant.

Nos résultats montrent que ce type d'enseignement ne semble pas avoir du tout la même efficacité lorsqu'il s'agit d'acquérir pour le long terme un vocabulaire opératoire en

situation de transfert, et cela même s'il s'agit encore de bonnes classes.

Qu'il soit "bon" ou "médiocre", l'élève qui a mémorisé des mots et, peut-être, des idées, sans avoir eu l'occasion de rectifier et de tester un nouveau savoir, ne fait pas confiance à celui-ci pour résoudre une situation nouvelle déstabilisante. Chassant tout mode logique causal de raisonnement, l'une de ses conceptions initiales est impérieusement activée et sert de réponse toute faite.

Par contre, la mise effective en situation de résolution de problème sollicitant chacun des élèves (constructivisme) semble pouvoir être vectrice de progrès **dans de bonnes classes comme dans de médiocres**, que l'on considère aussi bien l'évolution des représentations à propos d'un objet précis, l'aspect lexical scientifique que le développement de la capacité à résoudre et expliquer un problème.

D'autre part, l'interprétation de nos résultats peut aussi nous amener à poser l'hypothèse que les conditions de simple transmission d'un nouveau savoir ne permettent pas à tout élève d'identifier dans une situation nouvelle des éléments communs à une situation déjà traitée de manière à transférer ses connaissances. Ce type d'enseignement donne l'illusion à l'élève pourvu d'une seule stratégie d'apprentissage - apprendre par coeur - qu'il suffit d'empiler des connaissances comme elles lui sont présentées.

Par contre, ces résultats nous indiquent que c'est bien l'apprentissage de la modélisation qui facilite grandement la compréhension des phénomènes et ceci parce que la situation reste dans le domaine de la "sensorialité", du manipulable, tout en mettant en scène des "objets" mentaux.

La mémorisation est aussi facilitée par l'établissement de multiples relations entre les connaissances pré-acquises et les nouveaux objets mentaux. Les relations sont en effet rendues possibles par la mobilité que l'apprentissage a conférée à ces objets, effet que ne pourra jamais avoir la simple copie ou photographie d'un schéma fonctionnel tracé au tableau par le professeur.

Enfin, le même modèle devant être appelé à expliquer des situations différentes, la familiarisation que l'apprentissage répété entraîne accentue l'incrustation en mémoire.

Ainsi, peut-on espérer raisonnablement qu'en s'habituant à penser d'une certaine manière, en installant un certain schéma (Richard, 1990), l'élève, progressivement, abandonne la matérialité des objets, supports de pensée, au profit de l'idée pure, du concept.

Sans cet apprentissage, des schémas mentaux archaïques, des obstacles, sont sollicités préférentiellement sur intuition ou simple reconnaissance d'indicateurs, comme le mot "acide".

Dans ces conditions, l'enseignement transmissif n'atteint pas sa cible sauf chez quelques élèves, les "très bons" qui, munis de multiples savoir-faire intellectuels, peuvent orga-

niser leurs connaissances, prévoir des conséquences, constater des incohérences, poser des questions pour rectifier... mais ne nous adressons-nous qu'à eux seuls ?

Alain MONCHAMP  
Annick LAINÉ  
professeurs au lycée Jean Vilar -  
Plaisir (78)  
associés aux recherches INRP

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ASTOLFI J.-P., PETERFALVI B. et VÉRIN A., *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*, INRP, Paris : 1991, p.105-176 entre autres.

ASTOLFI J.-P. et PETERFALVI B., "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", *Aster 16, Modèles pédagogiques 1*, 1993, INRP, p. 103-142.

LIEURY A., *La mémoire, résultats et théories*, Bruxelles : Mardaga, 1992.

LIEURY A., *Mémoire et réussite scolaire*, Paris : Dunod, 1993.

(a) MONCHAMP A., *Rapport descriptif sur les caractéristiques de l'enseignement de biologie en classes de troisième et de seconde et sur les conditions d'articulation de ces deux niveaux*, Département de didactique des disciplines, Equipe des Sciences expérimentales, Paris : INRP, document interne multigraphié, 1993.

(b) MONCHAMP A., "De la terre au concept de sol", in : RUMELHARD Guy (dir.), *Équilibre et régulation en biologie*, Paris : INRP, à paraître.

PIAGET J., *La représentation du monde chez l'enfant*, Paris : P.U.F., 1976.

RICHARD J.-F., *Les activités mentales, Comprendre, raisonner, trouver des solutions*, Paris : Armand Colin, 1990.

VOLKER MOHNEN, "Le danger des pluies acides", *Pour la Science*, octobre 1988, page 59.

# UN MODÈLE POUR UN TRAVAIL INTERDISCIPLINAIRE

Gérard Fourez  
Philippe Mathy  
Véronique Englebert-Lecomte

*Comment éduquer aux pratiques interdisciplinaires indispensables dans notre société scientifico-technique ? Cet article propose une procédure de travail interdisciplinaire applicable à la fois dans la pratique et dans l'enseignement. Cette structure épistémologique peut servir de modèle à des applications didactiques.*

*L'article commence par évoquer les difficultés de l'enseignement scientifique disciplinaire ; puis il dénonce le risque de l'enseignement par thèmes ou par amalgame en insistant sur l'enracinement du travail interdisciplinaire. Celui-ci implique une situation, un projet, des producteurs et des destinataires, lesquels fonderont les critères permettant de sélectionner et de "clôturer" les contenus de l'"îlot de rationalité" qui sera construit.*

*Les étapes du processus sont présentées à travers deux cas. Le premier, lié à une technique, peut s'étudier dans des contextes soit professionnel, soit scolaire. Le second vise une alimentation permettant de garder "la ligne" ; il est plus directement dirigé vers des élèves.*

dépasser un  
enseignement  
fragmenté

La nécessité de l'interdisciplinarité est devenue une quasi évidence dans notre société où la spécialisation est la règle : il n'est pratiquement aucun problème concret qui puisse recevoir une solution appropriée sans faire appel à diverses spécialités et à divers spécialistes. Face à ce besoin social, on peut se demander quand et où on éduque les jeunes au bon usage des spécialistes (cf Fourez, 1992d). Depuis quelques années, des auteurs ont suggéré de dépasser un enseignement trop fragmenté et de promouvoir le travail interdisciplinaire (1). L'ensemble de ces questions rejoint divers doutes quant aux succès des formations scientifiques classiques. Certains, comme K. Morgan, dans son rapport au Forum 2000+ à l'Unesco, vont jusqu'à évoquer "le manque de pertinence du modèle de l'éducation scientifique classique pour beaucoup d'élèves" (2). Diverses revues suivent de près ce mouvement (3).

deux courants  
dans la pensée  
scientifique

Par ailleurs, la formation des enseignants ne comporte que rarement une initiation au travail interdisciplinaire. Ce sont les disciplines qui sont valorisées à l'université, et même dans certaines écoles normales. Cette situation n'est sans doute pas étrangère aux hésitations, voire aux résistances de beaucoup dès qu'il s'agit de sortir de leur spécialité. Des deux courants de la pensée scientifique qui se sont développés à partir du XIXe siècle, les sciences disciplinaires et

celles "orientées vers des projets" (Cf Fourez, 1990 ; Bensaude, 1993), seul le premier, à tort ou à raison, est présent massivement dans l'enseignement secondaire général, comme dans les facultés des sciences (4).

l'interdisciplinarité :  
but ou moyen ?

L'objectif de cet article n'est pas d'examiner les finalités de l'enseignement scientifique (5). Il vise à clarifier, méthodologiquement et épistémologiquement, les démarches d'interdisciplinarité dans une société comme la nôtre. Cet article propose donc un **modèle** en vue d'une démarche interdisciplinaire, à buts soit pédagogiques, soit "réels". Il ne propose pas des démarches pédagogiques détaillées pour la classe mais établit un canevas utilisable lors d'une telle démarche - avec, évidemment, les adaptations nécessaires dans des situations concrètes (6). La question de l'interdisciplinarité n'est pas uniquement didactique, elle est aussi, et peut-être d'abord, épistémologique : beaucoup d'enseignants manquent d'une représentation opérationnelle des pratiques interdisciplinaires (7). Enfin, la démarche pédagogique impliquée ici ne met pas des situations-problèmes au service d'un apprentissage disciplinaire ; elle vise au contraire à l'apprentissage de la résolution de problèmes en faisant appel à diverses spécialités (quitte à voir, parfois et "en passant", quelques points inscrits aux programmes) (Layton, 1993).

## 1. LE TRAVAIL INTERDISCIPLINAIRE : PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

Les pratiques interdisciplinaires sont indispensables puisque les approches mono-disciplinaires ne fournissent que rarement des réponses appropriées à des questions concrètes. Par exemple, on ne peut procéder à l'isolation thermique d'une maison, se protéger de la grippe, écrire un manuel, se représenter le cosmos, sans recourir à des savoirs d'origines diverses (8). Sans cesse, d'ailleurs, nous pratiquons l'interdisciplinarité comme monsieur Jourdain faisait de la prose. Mais le "bon usage" des spécialistes ne va pas de soi, comme le savent ceux qui ont à traiter avec leur médecin ou leur garagiste.

"négocier"  
la méthode

Une des différences entre les méthodes disciplinaires et les approches interdisciplinaires est le rôle de la normativité. Dans une approche disciplinaire (la "science normale" de Kuhn), les normes explicites ou implicites produites par les communautés scientifiques permettent de résoudre les conflits de méthodes (comme le savent les étudiants quand ils doivent passer des examens). Dans le travail interdisciplinaire, au contraire, il n'y a pas de normes disponibles pour savoir quel point de vue disciplinaire privilégier : il s'agit là d'une décision qui se négocie sur le terrain (Latour, 1979 ; Latour, 1989 ; Fourez, 1992a, pp 103-109). Le tra-



vall interdisciplinaire s'apparente ainsi à une démarche politique où aucune partie n'est en droit d'imposer ses normes. Mais cela ne supprime pas l'intérêt de méthodes et d'institutions pour gérer ces négociations : de là l'utilité d'une méthodologie de l'interdisciplinarité (et l'anxiété légitime des enseignants à qui on demanderait de s'y lancer sans méthode).

### 1.1. Les écueils de l'approche par thèmes et de l'amalgame

Beaucoup d'enseignants se souviennent de la manière dont on a pu ennuyer des élèves par des **thèmes** comme l'eau, la contagion, l'énergie, etc. Les enseignants de toutes les disciplines apportaient leurs contributions. Celles-ci formalisent rarement une organisation finalisée et leur longueur était, de ce fait, souvent jugée arbitraire. Ces difficultés se retrouvent dans toute recherche interdisciplinaire si l'on ne parvient pas à limiter les apports des spécialistes : noyé sous l'information, le travail n'avance pas. Le problème provient de ce qu'on ne parvient pas à "**clôturer**" l'approche : sur l'eau, l'énergie ou le sida, il est possible de faire discourir des spécialistes pendant des mois, sans qu'on puisse voir le sens de la démarche. Comme les ingénieurs - et les patrons de thèses - le savent : pour faire aboutir un travail, il est aussi important de limiter la quantité d'information que de la trouver.

**L'amalgame** confond des résultats venant de diverses disciplines, sans qu'on perçoive que, en passant d'un contexte à l'autre, ils changent de signification. Ainsi, par exemple, le concept d'individu diffère selon qu'on est psychologue ou sociologue. Certains confondent aussi résultats scientifiques et normes éthiques. À force d'amalgame, l'échange interdisciplinaire perd en rigueur et tourne facilement à la conversation banale, sans permettre aux spécialistes de mettre en oeuvre les normes de précision propres à leur discipline.

Une approche interdisciplinaire prend sens en relation avec un **projet** : elle vise à produire une représentation théorique appropriée dans une situation précise et en fonction d'un projet déterminé (9). Par exemple, pour construire une maison ou choisir un régime alimentaire, on fera appel à des connaissances provenant de disciplines diverses, en vue de se donner une représentation de la situation, et d'éclairer ainsi les décisions à prendre. Cette représentation a été appelée un "*ilot interdisciplinaire de rationalité*" (10) ; c'est un modèle théorique qui permet de communiquer à propos de ce qu'on veut faire et d'y réfléchir. Le projet peut aussi bien être utilitaire (comme : construire un pont ou utiliser un four à micro-ondes) que culturel (comme : donner à un groupe précis une image des origines de l'humanité ou se situer face au four à micro-ondes (11)) ; la plupart du temps, il sera les deux. Mais c'est le projet et sa finalité (12)

organiser la  
conceptualisation

îlots  
interdisciplinaires  
de rationalité

"clôturer" la  
démarche

qui fourniront les critères en fonction desquels on trouvera intéressant ou non de s'informer, plus ou moins, de ce qu'une discipline peut apprendre sur une situation. C'est le projet qui permet donc de clôturer le corps de connaissances qu'on rassemblera pour mener l'entreprise à terme (13). Dans certains cadres scolaires, le projet peut être défini par la situation même : par exemple, pour la formation d'infirmières gériatriques, comprendre l'alimentation pour pouvoir aider les personnes âgées.

## 2.2. Le paradigme de l'équipe face à un projet

une équipe  
pratiquant  
l'interdisciplinarité

Un paradigme assez évocateur du travail interdisciplinaire est celui d'un **comité pluridisciplinaire** (14) réuni pour un projet (15). Les membres du comité sont impliqués dans deux rôles. D'une part, comme **décideurs**, ils négocient les étapes de la démarche et les décisions inhérentes à la recherche ; d'autre part, comme **spécialistes**, ils sont parfois appelés à témoigner d'une sensibilité ou d'une compétence spécifiques. C'est le premier rôle qui est propre à la démarche interdisciplinaire car, pour le second, on peut recourir à des spécialistes extérieurs. Dans certaines situations (et ce sera le cas d'un groupe d'élèves s'attelant à un problème concret) le comité n'est pas pluridisciplinaire : cela ne l'empêche pas de faire - par la consultation des spécialistes - du travail interdisciplinaire.

l'art du quotidien

En fin de course, le comité se sera construit une représentation croisant (16) différentes approches : un "îlot de rationalité". Le travail interdisciplinaire se fera au travers des tractations entre les personnes composant le comité. La négociation portera, entre autres, sur l'importance à donner aux informations apportées par des spécialistes (intérieurs ou extérieurs au comité). Il en faudra suffisamment, mais pas trop. On peut avancer bien des raisons pour en vouloir plus ou moins, mais il n'existe pas de critère contraignant pour en décider : en fin de compte, le travail interdisciplinaire (comme la recherche scientifique d'ailleurs (17)) dépend d'un "art" (dans le sens de l'art de l'ingénieur, de l'architecte ou du médecin), lequel relève de la logique du quotidien et de négociations concrètes : la rationalité de l'interdisciplinarité, comme celle de toute recherche ouverte, n'est pas absolue.

Si, à strictement parler, le travail interdisciplinaire met en œuvre des acteurs divers dans une équipe, il se peut qu'on soit amené à jouer seul les différents rôles (celui de décideur et ceux de divers consultants). Cela nous arrive couramment dans des situations où nous ne consultons aucun spécialiste, mais faisons une place à diverses approches (par exemple, avant de décider du menu d'un repas). La négociation entre les différentes "spécialités" se fait alors dans la tête d'un seul acteur qui les considère successivement et les confronte à son projet. Le danger de ce processus solitaire est l'amalgame, c'est-à-dire un respect insuffisant des

"négociier" avec  
soi-même

apports spécifiques de spécialités variées. Mais une telle approche peut être méthodique et avoir sa rigueur propre quand on utilise une grille d'analyse qui désigne divers points de vue dont on tiendra compte.

Cependant, que l'on soit en équipe ou seul, ce qui donne un cadre et une structure à une approche interdisciplinaire, c'est le projet, et les décisions qu'il va impliquer : c'est lui qui permet de clôturer la recherche (18).

### **1.3. L'interdisciplinarité, une démarche pragmatique mais aussi théorique**

La pratique de l'interdisciplinarité conduit à refuser un dilemme fréquemment accepté par les enseignants : celui qui conduit à se croire obligé de choisir entre le pragmatique (dit "utilitaire") ou le théorique (dit "culturel"). Le travail interdisciplinaire (comme toute connaissance humaine - on le sait depuis Aristote !) est essentiellement **finalisé**. Cette finalité peut être très utilitaire, comme lorsqu'on essaie de comprendre le fonctionnement d'un outil. Mais, même alors, la démarche est aussi **théorique** dans la mesure où la elle vise à se donner une représentation conceptuelle et langagière d'une situation (un îlot de rationalité). La finalité est parfois liée à des intérêts pratiques et/ou économiques, mais peut être culturelle comme lorsqu'elle vise l'interprétation qu'on veut donner à son histoire (tel est le cas, par exemple, si l'on veut se situer face à une technique, un rituel ou l'origine des humains) (19). Le tout a aussi une dimension proprement esthétique, dans le sens où, au cours de ces démarches, l'esprit humain se découvre et se reconnaît dans sa créativité.

l'interdisciplinarité  
produit du  
théorique  
organisé par ses  
finalités

### **1.4. Repères méthodologiques pour une démarche concrète**

Dans les pages qui suivent, nous proposons des étapes pour élaborer un îlot de rationalité autour de diverses situations, que ce soit face à un outil ou une technique, ou en vue d'une alimentation permettant de garder la ligne. Il s'agit donc d'une procédure générale - un modèle - à adapter à chaque situation envisagée. Si l'on utilise le schéma dans une perspective de formation (et non dans une recherche répondant à une réelle demande) on évitera de laisser au cas un caractère trop fictif. Ainsi, avec un groupe d'enseignants en formation, on peut envisager la production d'un îlot de rationalité en vue de la rédaction d'une note pour des vendeurs de fers à repasser, mais on se gardera de faire comme si l'on était ces vendeurs. Avec des élèves, il faudra être plus prudent encore. Il faut préciser la situation des producteurs (l'équipe), et voir qui sont les destinataires de l'îlot de rationalité, de même que les situations et projets impliqués (20). Si la situation choisie est trop factice, le groupe, au moment de négocier, manquera de critères

productions  
destinataires  
situation  
projet

fermes et aura tendance à mettre en question les hypothèses de la situation fictive. Le résultat sera alors généralement frustrant.

Nous proposons des étapes, mais l'équipe doit décider du temps à consacrer à chacune d'elles, selon ses objectifs et/ou ses possibilités. Dans la pratique, d'ailleurs, on ne travaille pas d'une façon linéaire, mais on opère une série de va-et-vient : les résultats d'une étape peuvent conduire à compléter ceux d'une précédente.

du matériel  
pédagogique  
pour  
l'interdisciplinarité

Pour permettre aux enseignants d'appliquer le modèle à des cas précis (qu'ils concernent les fers à repasser, l'alimentation, ou l'origine de l'espèce humaine (21)), des "modules du maître" seraient souhaitables car chaque enseignant ne peut produire lui-même un travail aussi considérable. De tels "modules du maître" exposeraient plusieurs manières d'aborder chacune des étapes. Ils rempliraient trois fonctions principales : d'abord, aider l'enseignant à soulever, face au cas, des questions provenant de divers champs disciplinaires ; ensuite l'aider à connaître des embryons de réponses à des questions que les élèves soulèveraient ; enfin fournir des fiches-ressources donnant accès à des connaissances spécialisées utiles pour le problème à étudier.

Sans doute, dans un cours de sciences, devra-t-on rester assez superficiel par rapport à des matières ne relevant pas des programmes. Mais le simple fait d'en évoquer quelques-unes en classe pourra aider les élèves à situer l'apport des sciences dans un contexte plus large.

les "principes"  
d'une  
technologie

Enfin, si l'on veut comprendre un processus ou une technique (que ce soit un fer à repasser, l'alimentation ou l'évolution des espèces), il faut dépasser les problèmes "réduits" (c'est-à-dire simplifiés) auxquels pensent les spécialistes disciplinaires lorsqu'ils réfléchissent au "principe" de la situation (22). Ainsi, ce n'est pas parce que l'on connaît le principe physique d'un laser qu'on a compris ce qu'est cette technologie ; de même, ce n'est pas parce qu'on a compris le principe biologique de la contagion du sida qu'on en a compris le processus global. Le "principe" de quelque chose est une abstraction, généralement produite par la réduction du phénomène à la manière dont il apparaît dans le paradigme d'une discipline : il n'en explique pas la totalité. Ainsi l'étude d'un outil comme une foreuse, par exemple, soulève des questions à mille ramifications, aussi bien techniques qu'économiques, sociales et culturelles, bien au delà du "principe physique" de son fonctionnement. Cependant, dans la pratique, il faut négliger, en fonction du projet, certaines de ces ramifications, sous peine de se noyer dans trop de détails (le problème étant toujours de décider de ce qu'on négligera et de ce qu'on gardera).

Les étapes proposées ne doivent pas devenir un carcan lors de la mise en oeuvre pratique et/ou pédagogique. Sans doute est-il utile de s'astreindre à les appliquer une fois ; ensuite, on ne le fera plus avec autant de minutie, mais on ne verra jamais plus un problème de la même façon qu'auparavant.

Pour exposer le modèle proposé ici, nous présentons d'abord un cas non scolaire : un vendeur face à un fer à repasser électrique. Ensuite, nous examinerons, dans un cadre scolaire, la construction d'un îlot de rationalité autour d'une alimentation permettant de garder la ligne.

## 2. LES ÉTAPES DE L'ÉLABORATION D'UN ÎLOT DE RATIONALITÉ AUTOUR D'UN PROJET LIÉ À UNE TECHNIQUE OU À UN OUTIL

La situation proposée ici est celle d'un groupe d'enseignants en formation (producteurs) en vue d'une notice pour des vendeurs de fers à repasser, pour aider ceux-ci à mieux se situer face à l'objet vendu (destinataires, situation et projet) (23).

### 2.1. Faire un "cliché" de la technique étudiée

une première  
photo

Par *cliché*, nous entendons ici l'ensemble des représentations (correctes ou erronées) que l'équipe de recherche a de la technique. Il s'agit d'en donner une description spontanée (le point de départ de la recherche). Pour cela, l'équipe s'interrogera, dans un *brain-storming*, allant des questions les plus ouvertes à d'autres plus précises.

**Par exemple :** *Qu'est-ce que c'est ? - à quoi cela sert-il ? - Quelles pratiques cette technique a-t-elle remplacées, et pourquoi ? - Comment cela fonctionne-t-il ? - Qui utilise cette technique ? - Qui avantage-t-elle ? - En quoi nous oblige-t-elle à agir d'une certaine façon ? - Quelles sont les précautions auxquelles elle nous astreint ? - Quels sont, à première vue, ses avantages et ses inconvénients ?*

Cette recherche se fait en partant de l'expérience courante. Parfois, elle révèle de profonds préjugés. Elle reflète ce que pense un groupe, même sans formation spéciale. On peut aussi, pour l'aborder, écouter l'exposé d'un technicien (24), ou encore procéder au démontage de l'outil étudié.

les "faits"  
les hypothèses  
les valeurs

Dans cette recherche, il est intéressant de distinguer (pendant ou après la recherche) **ce qui est admis par tous** (ce qu'on appelle généralement - tant que personne ne le conteste - les "faits" (25)), **ce qui est l'objet de débat** (ce qu'on appelle les "hypothèses" ou suppositions), et **ce qui est jugement de valeur** (beaucoup ont de la peine à distinguer jugements de valeur d'une part et représentations théoriques, d'autre part).

### 2.2. Le panorama spontané

Il s'agit ici d'élargir le contexte du cliché. Pour ce faire, on utilisera comme méthode une grille de lecture permettant de soulever des questions négligées lors de l'établissement du

premier cliché. Cette étape reste encore assez spontanée, dans la mesure où l'on n'y fait pas encore appel à des spécialistes : on en reste aux ressources propres de l'équipe.

• **Liste des acteurs concernés**

qui est concerné

Par exemple : les personnes qui repassent le linge, celles qui l'utilisent, les entreprises produisant des fers à repasser, les vendeurs, les assureurs, etc.). Ces acteurs peuvent être des groupes sociaux ou des individus. Ils sont partie constitutive d'une technologie dans la mesure où celle-ci est aussi bien une structure sociale qu'un ensemble d'objets (26). C'est évidemment le projet lié à la construction de l'îlot de rationalité qui permettra de sélectionner les acteurs à retenir.

• **Recherche de normes et conditions imposées par la technique**

une technique engendre ses normes

Par exemple : réseau électrique, prudence lorsqu'on pose le fer chaud, connaissance du type de tissu qu'on repasse, normes de sécurité imposées par le législateur, réseaux commerciaux de distribution, etc.). On peut distinguer les normes imposées par certains pouvoirs (le législateur, la direction d'une entreprise, la pression de la concurrence, etc), celles qui s'imposent sans qu'on puisse savoir qui les a imposées (par exemple, une habitude culturelle refusant des fers à repasser trop lourds ou trop vilains), ou encore celles qui sont inscrites dans la réalité physique ou dans la structure de l'appareil (par exemple, un fer à repasser d'une certaine puissance imposera des fusibles et des lignes d'un certain type).

• **Listes d'enjeux et de tensions**

Quels sont les avantages et les inconvénients de cette technique ? Quelles sont les valeurs auxquelles on fait appel à propos de son usage ? Quels arguments les vendeurs font-ils valoir pour la vendre ? Quelles sont, par exemple, les variantes qui font qu'on en préfère tel ou tel type ?

• **Liste de "boîtes noires"**

des boîtes noires qu'on pourrait ouvrir

C'est-à-dire la liste des **sous-systèmes matériels et/ou conceptuels** qu'on pourrait étudier plus à fond ou, au contraire, ne pas examiner davantage. Ces "boîtes noires" désignent des sujets d'étude possibles (parmi lesquels on choisira les plus importants, ce qu'on appellera : "*ouvrir une boîte noire*"). Dans l'abstrait, la liste pourrait être infinie. On la clôture en utilisant comme critères le contexte et le projet définissant l'objet d'étude. Ainsi, pour le fer à repasser, la liste de boîtes noires pertinentes ne sera pas la même pour le vendeur, pour l'usager, ou pour l'ingénieur de l'usine de production.

**Exemples de boîtes noires pour le fer à repasser :** *le chauffage par effet Joule, la forme du fer, le temps nécessaire pour qu'il soit chaud, son "design", la façon dont il est construit, les divers accessoires, les effets de la chaleur sur les divers tissus, les questions de sécurité, les divers matériaux utilisés (et - pour chacun - ses propriétés et les raisons de son choix), les habitudes des usagers, l'image qu'il a dans la société, les relations des hommes et des femmes vis-à-vis de lui, les usages inattendus, l'effet du poids du fer sur le repassage, les risques d'incendie, la manière dont le prix de vente est décidé, les stratégies publicitaires, etc.*

• **Liste de "bifurcations"**

Une **bifurcation**, qui correspond souvent à un enjeu, désigne un moment où un acteur social - par exemple, un constructeur, un vendeur ou un utilisateur - est amené à choisir une stratégie plutôt qu'une autre. Beaucoup de ces choix sont techniques, mais certains ont une dimension éthique (voire politique) (27).

**Exemples de bifurcations :** *les différents types de fers à repasser, les choix de solidité, les classes de "design", l'importance donnée à la sécurité, à la solidité, au prix, la différence entre le fer à vapeur et le fer sec, certains choix techniques comme celui de l'alliage de la semelle du fer, de l'installation d'un fusible et/ou d'une prise de terre, etc. Ce sont chaque fois des points où le constructeur ou l'utilisateur a à choisir (et le vendeur doit choisir sur quoi il fondera surtout son argumentation).*

• **Liste de spécialistes et de spécialités concernées**

Les questions soulevées dans les étapes qui précèdent peuvent recevoir un début de réponse en partant de ce que l'on connaît déjà. Chacun a quelques idées des mesures de sécurité nécessaires pour un fer à repasser. Mais, pour dépasser ce niveau, il importe de voir ce que certaines spécialités (comme la physique) ou certains spécialistes peuvent apporter. De plus, la consultation de spécialistes peut corriger des représentations erronées.

Généralement, les spécialistes peuvent être considérés en relation avec une spécialité intellectuellement ou professionnellement reconnue (comme la physique et la profession de physicien). Cependant, les utilisateurs sont aussi des spécialistes, non nécessairement reconnus socialement comme tels : quelqu'un qui repasse couramment est un spécialiste du fer à repasser. De plus, les utilisateurs non formés sont d'excellents spécialistes d'une technologie qui se veut *fool-proof* (à l'abri des erreurs des plus "idiots" de ses utilisateurs). L'"homme de la rue", *the layperson*, ni producteur, ni connaisseur spécialisé, ni utilisateur est une sorte de "spécialiste" à écouter aussi.

les utilisateurs  
comme  
spécialistes

Il faut donc faire une liste de ceux qui, éventuellement, pourraient éclairer le problème étudié. Pour chaque îlot de rationalité, il faudra "clôturer" la liste en se servant, comme critères, des éléments de son contexte.

**Une checklist de spécialistes :** *les juristes, les économistes, les ingénieurs, les psychologues, les sociologues, les historiens, les professionnels de disciplines particulières (comme la physique, la chimie, la géologie, etc.), les éthiciens, les dessinateurs industriels, les philosophes et théologiens, les écologues, les divers utilisateurs (depuis les concepteurs à l'utilisateur, en passant, entre autres, par les ouvriers de production et les vendeurs) et les gens de la rue.*

### 2.3. Consultation de spécialistes et de spécialités

du bon usage  
des spécialistes

De la liste produite précédemment, on sélectionnera l'une ou l'autre spécialité à interroger, de même que des boîtes noires à ouvrir - en fonction du projet. La consultation de spécialistes a un double rôle. D'abord de répondre aux questions qu'on leur pose (un ingénieur chimiste expliquant, par exemple, la composition de l'alliage de la semelle d'un fer à repasser). Ensuite d'indiquer comment un spécialiste voit les choses et notamment de bénéficier de son **altérité**, c'est-à-dire de ce que sa vision peut avoir de dérangeant dans sa confrontation à la vision première sur la question (28). Cette étape est à lier à celle de l'ouverture de certaines boîtes noires (ce sont, par exemple, des spécialistes qui peuvent montrer l'intérêt de certaines études plus approfondies). Cette phase sera généralement assez longue, même si elle n'est signalée ici qu'en quelques lignes.

### 2.4. Descente sur le terrain

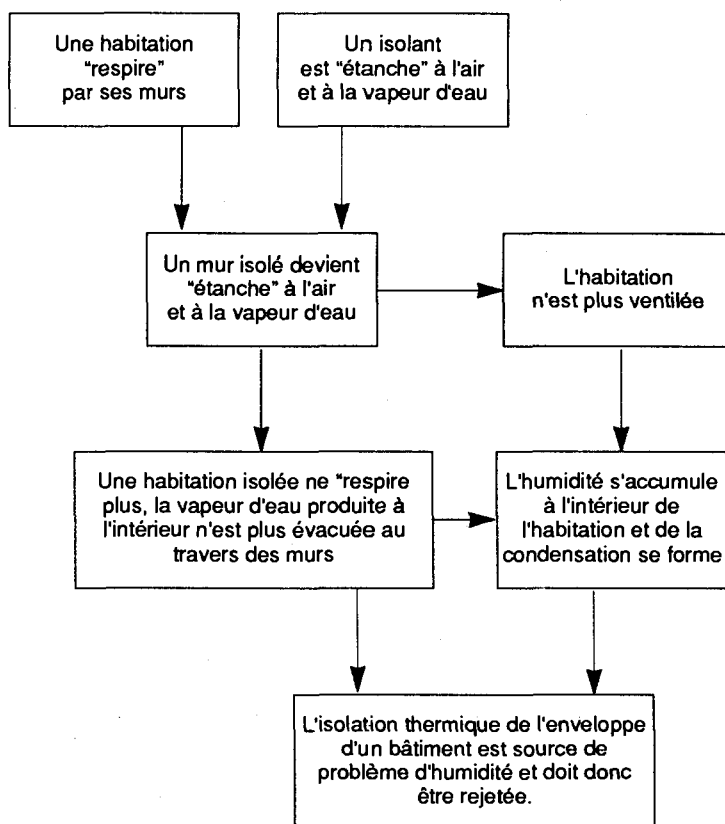
se confronter au  
terrain

Descendre sur le terrain, c'est quitter ce qu'on peut raconter abstraitement sur la technologie, pour s'y confronter plus directement. Il y a diverses manières de "descendre sur le terrain". Dans la section précédente, on a vu qu'on pouvait interroger un spécialiste. On peut aussi "démonter" la partie matérielle d'une technologie (c'est indiqué pour le fer à repasser !). Cependant la technologie n'est pas uniquement un objet, mais aussi un réseau social ou matériel, des connaissances, etc. Quand on a démonté le fer à repasser, on ne connaît encore qu'une petite partie de cette technologie ! Descendre sur le terrain peut donc consister à se rendre sur des lieux où cette technologie est utilisée ou se vend (comme interviewer une personne qui repasse beaucoup, ou un vendeur d'électro-ménager). Une autre "descente sur le terrain" peut être la lecture d'une notice explicative d'un fer à repasser, en notant tout ce qui exigerait une étude plus approfondie. Ici encore, la "descente sur le terrain" sera choisie en fonction du projet et des producteurs de l'îlot de rationalité.



### Un îlot de rationalité erroné confronté à la consultation de spécialistes

Dans son article "Une didactique des sciences fondée sur la résolution de problèmes", J.-M. Guillemeau (in *Éducation & Formation*, n° 232, sept/déc 1993, pp. 33-42) montre comment un groupe d'enseignants avait produit un îlot de rationalité inadéquat (c'est-à-dire, en termes plus courants, erroné ou faux) à propos de l'isolation d'une maison. Il indique comment la consultation des spécialistes et/ou l'ouverture des boîtes noires conduit (difficilement) à remplacer cet îlot de rationalité par un autre. La question était : "Modéliser les phénomènes physiques au niveau de l'enveloppe d'un bâtiment ; proposer et justifier des solutions techniques". Voici le modèle (inadéquat !) produit par les enseignants, appelé le modèle de l'"habitation thermos", souvent aussi mobilisé par les élèves :



**Attention :** l'îlot de rationalité schématisé ci-dessus est inadéquat dans sa conclusion ultime. On peut aussi examiner l'usage périlleux des métaphores.

## 2.5. Ouverture approfondie de l'une ou l'autre boîte noire et découverte de "principes disciplinaires" à la base d'une technologie

ouvrir des boîtes  
noires

Cette étape peut, à la manière d'une recherche plus fondamentale (29), approfondir l'un ou l'autre aspect du sujet étudié, en bénéficiant de la rigueur d'une discipline spécifique. Avec l'aide d'un spécialiste, on peut ouvrir l'une ou l'autre boîte noire, comme celle de la production de la chaleur par effet Joule. Mais les boîtes noires intéressantes ne relèvent pas toutes d'une science de la nature ; on peut aussi consulter une spécialité en lien avec une science humaine (par exemple, une étude sociologique sur le repassage ou la structure des réseaux de distribution de ces appareils). La modélisation par le biais des sciences humaines peut se faire aussi, d'une manière semblable à celle utilisée pour les sciences naturelles. Des aspects plus culturels (comme l'histoire du fer à repasser ou la critique des publicités) sont aussi des boîtes noires intéressantes à ouvrir. Chaque étude est sélectionnée en fonction du contexte, du projet, des producteurs et des destinataires de l'ilot de rationalité.

Les choix dépendent du projet entrepris, mais ici, plus qu'ailleurs, de façon souple. On ne négligera pas les intérêts spécifiques de l'équipe, ni le désir (culturel) que l'on a d'utiliser l'un ou l'autre concept technique d'une discipline. Avec des élèves, on choisira spécialement les boîtes noires qui conduisent à l'étude de notions importantes dans notre monde scientifico-technique, et donc stratégiques dans la perspective d'une alphabétisation scientifico-technique. Plus prosaïquement parfois, on choisit les boîtes noires correspondant aux points du programme à étudier - et, si celui-ci est bien fait, ces points seront des clés pour la compréhension de notre monde scientifico-technique (30).

l'apport des  
disciplines

Cette ouverture des boîtes noires pourra être l'occasion d'un exposé disciplinaire classique (parfois magistral), relatif à un principe disciplinaire de la technique étudiée. On peut ainsi étudier le "principe physique" du fer à repasser (effet Joule), ou le "principe" de psychologie sociale à la base de son "design", ou le "principe" des textes juridiques relatifs à la sécurité de l'appareil, ou l'histoire du repassage. Ces "principes", sont des modèles que se font des spécialistes disciplinaires de ce qui, dans la technologie, les intéresse. Ce sont des "explications" limitées de son fonctionnement, dans le cadre particulier d'une discipline. C'est **le moment du travail disciplinaire dans l'interdisciplinarité**. Par exemple, le physicien peut modéliser certains aspects de la technologie ; il peut aussi proposer des notions qu'il considère comme prérequis, comme : courant et circuit électrique, interrupteur, etc). Cet enseignement peut être plus ou moins élaboré, allant du cours élaboré à la présentation des dessins-modèles simples (31).

## 2.6. Schématisation globale de la technologie

Cette étape peut consister, notamment, en l'élaboration d'une **fiche dessinée** de l'objet (d'un fer à repasser, par exemple) et/ou d'un **schéma** de l'organisation sociale de la technologie : c'est une synthèse partielle et "objectivée" de l'ilot de rationalité produit.

## 2.7. Ouvrir certaines boîtes noires sans l'aide de spécialistes

Personne n'est capable de comprendre tous les mécanismes techniques sans l'aide de spécialistes. Mais, dans le concret, on est souvent amené à se construire une théorie (ou représentation) de quelque chose, sans disposer des ressources "nécessaires", ni en personnes, ni en livres. Un réflexe "scolaire" consiste alors à refuser de s'embarquer dans des constructions de savoirs trop approximatifs. Cette attitude n'est pas réaliste : dans la vie, on doit souvent agir sans disposer des connaissances qu'on trouverait désirables et adéquates... On n'a pas toujours le temps ou la possibilité de tout comprendre avant d'agir. Une idéologie de la rigueur absolue est dommageable : dans le concret, il faut agir et, pour cela, se construire, avec les "moyens du bord", des modèles les moins mauvais possible : passer d'une plus grande à une moindre ignorance. Ainsi, on ne peut disposer de tous les spécialistes rêvés avant de décider de normes de sécurité pour l'utilisation d'un fer à repasser en présence d'un enfant. De même, face à un malade qu'on craint contagieux, il faut décider des précautions à prendre, sans posséder un diagnostic certain ou une connaissance approfondie des risques impliqués.

Cette improvisation est nécessaire à tout le monde, mais c'est aussi la pratique de tous les chercheurs. Les ingénieurs ou les médecins sont formés pour répondre aux situations, comme ils le peuvent... Mais les chercheurs en sciences fondamentales doivent faire de même : dans les domaines de pointe, on avance comme on peut. Former des élèves à agir "comme des scientifiques", c'est leur enseigner à raisonner le mieux possible pour agir "rationnellement" dans des contextes précis. Il faut donc savoir procéder à l'ouverture de certaines boîtes noires "avec les moyens du bord" (c'est-à-dire, concrètement, en réunissant les informations dont on dispose dans une situation donnée). Les critères qui serviront à l'évaluation des savoirs ainsi sont encore liés à l'action (32). Par exemple, à propos du fer à repasser, on peut, dans le contexte d'un achat éventuel, créer, avec les moyens du bord, un modèle permettant une certaine optimisation entre la solidité et le prix (33).

La construction de ces modèles "avec les moyens du bord" peuvent avoir un effet éducatif important dans la mesure où l'on reproduit ainsi les situations de la vie courante où l'on doit éclairer des décisions concrètes.

sans spécialistes :  
une situation de  
tous les jours

utiliser les  
"moyens du  
bord"

## 2.8. Synthèse de l'îlot de rationalité produit

Dans cette dernière étape, on peut synthétiser soit oralement, soit dans une note écrite, l'îlot de rationalité qu'on a construit en fonction de son projet. Dans cette synthèse, on sera souvent amené à faire se "croiser" des éléments très variés. Il faut y procéder à la façon des bons journalistes qui utilisent des connaissances de provenance composite pour clôturer une émission. Dans ce contexte, deux types de questions sont particulièrement pertinentes :

En quoi ce que nous avons étudié nous aide-t-il à "négocier" avec le monde technologique envisagé ? En quoi cela nous donne-t-il une certaine autonomie dans le monde scientifico-technique et dans la société en général ?

En quoi les savoirs obtenus nous aident-ils à discuter avec plus de précision au sujet de décisions à prendre ? En quoi cela nous donne-t-il une représentation de notre monde et de notre histoire qui nous permet de mieux nous situer et une réelle possibilité de communiquer avec d'autres ?

avoir appris à  
négocier avec  
les techniques

## 3. AUTRE EXEMPLE POUR UNE CLASSE : UN ÎLOT DE RATIONALITÉ EN VUE D'UNE ALIMENTATION APPROPRIÉE À GARDER LA LIGNE

Nous allons évoquer ici, d'une façon plus succincte que lors de la section précédente, des démarches autour d'une situation moins "technique". Elle peut facilement être traitée en classe : les producteurs et les destinataires de l'îlot de rationalité sont les élèves ; le projet de "garder la ligne" est assez clair. A propos du contexte, on précisera notamment le temps disponible pour la production de cet îlot. Cet ensemble permet de clôturer la recherche (et ainsi d'éviter l'approche par thèmes).

### 3.1. Le cliché

On peut commencer par faire exprimer aux élèves la manière dont ils voient spontanément l'alimentation, sans en construire une représentation critique et rigoureuse. Pour compléter le cliché, on peut faire appel à un spécialiste de la diététique, en sachant bien que, très souvent, il donnera de l'alimentation une vision un peu unilatérale, conditionnée par sa spécialité.

c'est quoi "garder  
la ligne" ?

**Quelques questions :** Pourquoi se nourrit-on ? D'où provient la plus grosse partie de notre alimentation ? Comment vivons-nous nos repas ? Quels sont les secteurs de l'existence et de la société concernés par l'alimentation ? Pourquoi relie-t-on de plus en plus l'alimentation à la santé ? Que signifie "garder la ligne" ? Pourquoi le veut-on ? Qu'est-on prêt à faire à cet effet ? L'alimentation a-t-elle la même signification pour nous et pour les pays en développement ? Quels sont les enjeux économiques liés au secteur alimentaire ?

## SYNTHÈSE D'UNE RECHERCHE INTERDISCIPLINAIRE

### Îlot de rationalité autour du four à micro-ondes

N.B. BNPEO signifie "Boîte noire pouvant être ouverte"

Le four à micro-ondes réchauffe l'eau des matières qu'il chauffe. Il fonctionne grâce à la *production d'ondes électromagnétiques* (BNPEO) de la *même période* (BNPEO) que celle de la *vibration de la molécule d'eau* (BNPEO). Il *réchauffe aussi les métaux* (BNPEO). C'est pourquoi il vaut mieux ne jamais en mettre dans le four, bien que à *certaines conditions ce soit faisable* (BNPEO)

Il permet surtout de réchauffer des aliments sans les brûler ni les dessécher trop (BNPEO). Il permet aussi de *cuisiner un certain nombre de mets* (BNPEO), *mais pas de les rôtir* (BNPEO). Il permet de *dégeler vite des aliments surgelés* (BNPEO) (ce qui fait parfois *problème à des écologistes* (BNPEO)). La plupart peuvent être *réglés selon diverses intensités* (BNPEO) et possèdent des *minute-ries* (BNPEO). Il y en a des plus compliqués, mais dans la pratique *peu de gens utilisent toutes leurs potentialités* (BNPEO)

Cette technologie a *concurrencé l'industrie des plats tout préparés à faire cuire dans un four traditionnel* (BNPEO). On peut étudier la *manière dont les producteurs de ces produits ont réagi*. (BNPEO). Elle a *touché aussi le marché des plats*, favorisant les plats ronds et les plats sans composante métallique (BNPEO).

Certains ont émis des craintes à propos du danger possible des ondes émises. Le système de sécurité permet de maintenir ces ondes à l'intérieur du four (cage de Faraday) (BNPEO). À condition de garder quelques précautions (BNPEO), ce n'est pas un *appareil dangereux* (BNPEO). Il peut être intéressant d'étudier *les démarches à faire, dans différents pays, pour mettre un tel produit sur le marché* (BNPEO).

Comme le *temps de cuisson est proportionnel à la quantité d'aliments* (BNPEO), il privilégie plutôt les *cuisines pour une ou deux personnes* (BNPEO). La facilité avec laquelle on réchauffe un repas permet plus facilement d'arriver en retard, ce qui peut *changer la manière de vivre d'une famille* (BNPEO). C'est un bon exemple montrant qu'*une technologie engendre son organisation sociale* (BNPEO).

Le four à micro-ondes devient de plus en plus "*indispensable*", *comme beaucoup d'appareils ménagers* (BNPEO). Son prix était assez élevé il y a quelques années, *mais a fortement décliné après* (BNPEO). Comment les producteurs ont-ils réussi à *faire accepter cet appareil à notre société* (BNPEO) ? Quels en furent et sont actuellement les *stratégies de vente* (BNPEO) ?

À l'achat, un four à micro-onde, comme tout appareil électro-ménager, jouit toujours d'une *garantie obligatoire selon les lois protégeant les acheteurs* (BNPEO).

Il est apparu dans les années septante et on peut conter *l'histoire de son invention et de son triomphe sur le marché* (BNPEO). Il n'a pas pénétré simultanément dans toutes les classes sociales (BNPEO).

### 3.2. L'élaboration du panorama spontané

- **La carte des acteurs concernés**

**Par exemple :** *les consommateurs, ceux qui préparent les aliments et/ou les servent, ceux qui les achètent ou les vendent, les techniciens et les actionnaires de l'industrie alimentaire, les diététiciens, les restaurateurs, les publicistes, les affamés du tiers-monde, etc.*

- **La liste des normes**

normes  
techniques et/ou  
éthiques

On peut notamment distinguer celles qui sont imposées par un pouvoir : étiquetage des denrées, normes de qualité, de conservation, de contrôle, etc. Ensuite, celles qui s'imposent sans qu'on puisse vérifier qui les a établies : par exemple, la prédilection pour les produits écologiques. L'émergence de nouvelles valeurs dans notre société, telles l'amélioration de la qualité de la vie, la vie saine, etc..

- **La liste d'enjeux et des tensions**

"la ligne" soulève  
plus de questions  
que ce qu'on  
croyait

La tension entre les plaisirs de la table et leurs conséquences sur la santé et sur la ligne. Les intérêts des consommateurs et ceux des industriels du secteur alimentaire (et de l'agro-business), ceux des agriculteurs. Y a-t-il des tensions entre la volonté d'une politique alimentaire commune et les intérêts des industriels ?

- **La liste des boîtes noires**

**Par exemple :** *l'éducation à la santé, l'incidence du comportement alimentaire sur notre santé, les recommandations diététiques, les symboliques des comportements alimentaires, l'influence de la culture (et de l'économie) sur le type d'alimentation, l'importance donnée à l'image du corps dans notre société et sa relation avec la mise en oeuvre de régimes amaigrissants, les processus de dégradation et d'intégration des aliments dans notre organisme, la composition de nos aliments, les problèmes liés à la démographie mondiale, l'évolution de l'alimentation au cours de l'histoire, l'influence de la publicité sur nos comportements et son impact au niveau psychologique, l'opposition entre divers intérêts, etc.*

- **La liste des spécialistes et des spécialités**

A chacune des boîtes noires correspondent des spécialités et des spécialistes auxquels on pourra faire appel plus tard.

**Par exemple :** *la biologie, la diététique, la psychologie et la psychiatrie, l'esthétique, la sociologie, la médecine et certaines disciplines para-médicales, l'ethno-géographie, la religion, l'histoire, la chimie et la biochimie, la physique, les biotechnologies, l'écologie, l'économie, la politique, le droit, l'éthique. Le tout sans oublier les "spécialistes non-spécialistes" comme les consommateurs.*

• **La liste des bifurcations**

Les lieux de décisions correspondent aux enjeux. A beaucoup de ces bifurcations correspondent des décisions éthiques, voire politiques.

**Par exemple :** *le choix entre une alimentation saine et le plaisir de la table, le choix entre une orientation écologique et une production de masse, le choix entre des normes relatives au commerce alimentaire et la liberté de tout vendre, les choix en matière d'éducation à la santé et d'information des populations, les choix de programmes de recherche en cette matière, les choix de la politique agricole commune de l'Europe, les choix dans les types de contrôle des aliments, etc.*

**3.3. L'apport des spécialistes et des spécialités**

savoir choisir  
parmi les  
spécialistes

A cette étape, on choisit quels spécialistes consulter. Deux types de critères sont prépondérants : la situation et le projet sélectionnés au départ (alimentation pour garder la ligne) et les objectifs scolaires (34) (notions scientifiques importantes à maîtriser ou imposées par le programme). Cette consultation de spécialistes est à lier à l'ouverture ultérieure de l'une ou l'autre boîte noire.

**3.4. Descente sur le terrain**

**Par exemple :** *examiner les menus d'une semaine à la cafétéria et les comparer aux recommandations formulées par les diététiciens ; mettre en relation certains comportements alimentaires et des maladies assez fréquentes dans nos régions ; examiner comment, selon les classes sociales, les gens se nourrissent différemment et gèrent diversement leurs dépenses alimentaires. Décoder les messages publicitaires d'une chaîne de T.V. de même que les attitudes de défense des consommateurs à leur égard.*

examiner des  
menus

Cette descente sur le terrain peut être assez proche de l'ouverture de l'une ou l'autre boîte noire. Elle en diffère cependant en ceci que, dans cette étape, l'accent est mis sur l'expérience propre et la confrontation à des situations concrètes vécues, tandis que l'ouverture des boîtes noires sera plus centrée sur des spécialités disciplinaires vues comme un moyen pour analyser les situations concrètes.

**3.5. Ouverture par un spécialiste de l'une ou l'autre boîte noire et découverte de principes disciplinaires à leur base**

un peu de  
recherche plus  
fondamentale

Cette étape peut être comparée à une recherche plus "fondamentale" déclenchée par le projet interdisciplinaire, et destinée à l'éclairer (35). C'est aussi dans cette partie du module qu'on peut, "en passant", étudier l'un ou autre chapitre classique du programme

**Par exemple :** faire appel à un biologiste pour étudier le système digestif ; à un sociologue pour la différence entre les habitudes alimentaires des hommes et des femmes ; à un juriste pour les normes de qualité ; à un psychologue pour les attitudes boulimiques ; à un diététicien pour la manière dont cette discipline classe les aliments ; à un historien pour les attitudes en ce domaine à travers les âges ; à un philosophe ou à un éthicien pour des questions de sens à ce sujet ; à un professeur en hôtellerie pour la dimension esthétique d'un repas ; etc.

### **3.6. Schématisation globale de l'alimentation**

Après ces démarches, il est possible de se donner, dans la perspective choisie, une représentation théorique de l'alimentation : un îlot (ou des îlots) de rationalité à son sujet.

### **3.7. Ouverture de certaines boîtes noires sans l'aide de spécialistes**

Ici peut se situer l'exercice consistant à se donner un îlot de rationalité relatif à une question alors qu'aucun spécialiste n'est disponible. Par exemple, on pourrait examiner comment éclairer le comportement alimentaire de quelqu'un qui souffre d'œsophagite chronique, en n'utilisant que les connaissances disponibles dans la classe.

### **3.8. Synthèse de l'apprentissage**

négozier son  
alimentation

Ici encore, il est possible de résumer la recherche en se demandant en quoi l'étude faite permet de négocier plus rationnellement ses pratiques alimentaires et en quoi elle a fourni une représentation culturelle plus élaborée de celles-ci.

### **EN GUISE DE CONCLUSIONS...**

l'interdisciplinaire  
au service de la  
culture

On pourrait croire que l'approche interdisciplinaire proposée vise uniquement des questions "utilitaires" comme celles liées à des technologies ou à une pratique concrète comme l'alimentation. Pourtant une démarche similaire peut être adoptée pour étudier des questions plus "culturelles" comme celle de l'évolution. Là aussi, on peut commencer par s'en donner un cliché, puis un panorama plus élaboré mais encore spontané, chaque fois en adaptant la grille proposée. Ainsi, pour cette question, les acteurs concernés seront plus souvent des acteurs scientifiques ou culturels (36), les normes toucheront des manières de penser ou des principes épistémologiques, les tensions seront plus idéologiques, etc. Mais l'ensemble de la démarche reste similaire (37).

La démarche que nous proposons ici est un modèle pédagogique qui ne résout pas les difficultés pédagogiques de détail, mais donne un cadre, parmi d'autres possibles, per-



mettant d'aborder l'étude de questions pour lesquelles une démarche monodisciplinaire est trop courte. De plus, elle propose une méthode pour apprendre à penser comme le fait le courant de la pensée scientifique orienté par des projets et représenté notamment par les ingénieurs, les architectes et les médecins - et finalement nous tous, quand nous ne voulons pas réduire à une seule dimension les situations concrètes que nous rencontrons.

Gérard FOUREZ  
Philippe MATHY  
Véronique ENGLEBERT-LECOMTE  
Département "Sciences, Philosophies,  
Sociétés"  
Facultés Universitaires de Namur  
(Belgique)

## NOTES

- (1) Cela fut un des thèmes du Forum Projet 2000+ organisé par l'Unesco, en juillet 1993 sur l'alphabétisation scientifique et technologique. (Cf aussi AAAS, 1989 et Waks, 1986)
- (2) Dans son rapport : *Teacher and leadership education for scientific and technological literacy*, Forum Project 2000+, Unesco ED-1993. Conf. 016. Ref 1.4.
- (3) Notamment aux USA le *Science, Technology & Society Bulletin*, publié à la Pennsylvania State University, et en Europe, le *Courrier du Cethes (Construire une Ethique de l'Enseignement scientifique)* publié au Département Sciences, Philosophies, Sociétés, des Facultés Universitaires de Namur (Belgique). Aikenhead (1992) a publié un survey d'expériences en ce domaine.
- (4) Au contraire, l'interdisciplinarité, même si elle laisse à désirer, est essentielle au second courant de la pensée scientifique, celui qui est représenté par les médecins, les ingénieurs, les architectes et quelques autres professions (Sorensen, 1992, Fourez, 1990)
- (5) Cf les colloques de l'Unesco (1993), de Namur (1989), de Palaiseau (1991) (Cf Martinand, 1992).
- (6) Il peut en effet être utile que, avant de se lancer dans une pédagogie de l'interdisciplinarité, les enseignants apprennent à la pratiquer avec méthode (tout comme ils apprennent à résoudre des équations du second degré avant d'enseigner ce savoir mathématique).
- (7) La méthodologie proposée ici est liée au *Constructive Technology Assessment* (Évaluation des technologies en cours d'élaboration, avec participation à leur construction) (Bijker, 1993 ; Schot, 1992).
- (8) Les savoirs monodisciplinaires ne sont "applicables" que dans des situations privilégiées, comme celles d'un laboratoire ou d'un hôpital, ou dans des contextes technologiques, tous construits en fonction des normes des paradigmes disciplinaires. Ce n'est, par exemple, que dans des laboratoires que les corps tombent à peu près selon les lois de Galilée (cf Latour, 1992).
- (9) Cet point de vue - et cet article - se fonde sur les épistémologies développées par les courants constructivistes liées à la sociologie des sciences et à la socio-épistémologie, qui replacent la production des savoirs dans une dynamique historique concrète (à distinguer du constructivisme psychologisant de la pédagogie). Cf Fourez, 1992a ; Latour, 1989 ; Laroche, 1992 ; Bijker, 1993 ; Layton, 1993 ; Knor-Cetina, 1983 ; Latour, 1979 ; Stengers, 1987 ; etc. Ces approches présupposent que les savoirs prennent leur sens comme médiation (socialement stabilisée) à l'agir historique humain (même si, comme l'a souligné le physicien J.M. Lévy-Leblond, une des caractéristiques des savoirs disciplinaires est généralement l'oubli de l'origine et du lieu social des savoirs produits).

- (10) Cf G. Fourez, 1992a, pp. 109-112, ou Fourez, 1992d. Dans le contexte de cet article les termes "rationalité" et "rationnel" se réfèrent à des processus où des humains peuvent discuter de situations, avec des méthodes socialement instituées.
- (11) *"Se situer culturellement face au four à micro-ondes revient à se donner une compréhension (modèle théorique ou "îlot de rationalité") de cette technologie tenant compte de dimensions diverses (techniques, sociales, économiques, historiques, publicitaires, écologiques, juridiques, etc.) pour pouvoir participer à des échanges et des débats que l'on juge importants relatifs à cette technologie (plutôt que d'être réduit au silence devant des questions qui nous concernent). Un projet culturel implique, autant qu'un projet pratique, des décisions qui le limiteront. Par exemple, il faut décider de ce qu'on trouve intéressant que ce groupe précis connaisse des origines de l'humanité ou de la technologie du four à micro-ondes. Mais dans le cas des projets culturels, la "clôture" du projet est plus conventionnelle que dans un projet plus utilitaire."*
- (12) Ce lien des savoirs interdisciplinaires avec des situations précises, des projets et des décisions à prendre est essentiel, épistémologiquement, à la construction des savoirs.
- (13) Au point de vue didactique, il importe de présenter une situation suffisamment "fermée" pour permettre à la fois de servir de critère pour la clôture du travail et de paraître intéressante à résoudre pour les élèves. Il peut être pratique de provoquer la démarche par la confrontation à un objet dont on cherche le fonctionnement : un fer à repasser par exemple. Mais plus important est sans doute la conviction de l'enseignant quant à l'intérêt du problème ; ce sentiment est nécessaire pour que le professeur parvienne à susciter des questions valables chez les élèves.
- (14) Pour distinguer entre les termes "interdisciplinaire", "transdisciplinaire", "multidisciplinaire" "pluridisciplinaire", voir O.C.D.E., 1970.
- (15) Par exemple, un comité préposé à la politique d'une cafétéria, et représentant diverses approches : la diététique, l'hygiène, la psychologie, le droit, la sociologie, l'esthétique, l'économat de l'école, etc. Spécialistes auxquels, d'ailleurs, il serait sage d'adjoindre quelques usagers, compétents à leur façon, même si ce ne sont pas des experts d'une discipline scientifique.
- (16) Dans cette pratique, la recherche interdisciplinaire est souvent amenée à traduire d'un cadre conceptuel vers un autre. Par exemple, traduire la notion de "mal au ventre" par "hyper-acidité gastrique". L'interdisciplinarité doit conduire aussi au "bon usage" des traductions (cf Tilmans-Cabiaux, 1992). Cependant, faute de place, nous n'aborderons pas cet aspect ici.
- (17) Cf de Certeau, 1980 ; ou Fourez, 1992a : p. 49-72.
- (18) Cette clôture de la recherche est essentielle à toute démarche scientifique. Et ce, contrairement aux images qui évoquent des sciences explorant les choses à fond, sans jamais se contenter d'une approximation. Une telle attitude conduit en effet à une impasse dans la mesure où la recherche serait sans fin, dans les deux sens du mot : elle n'aurait pas de limites et elle serait sans finalité. La science commence quand on cesse de vouloir récolter des informations pour se risquer à faire confiance à un modèle, aussi imparfait soit-il. L'art consiste à ne faire confiance ni trop tôt ni trop tard. C'est ce que sait tout chercheur : pour "boucler" un article ou une thèse, il faut s'arrêter.
- (19) On peut se référer ici aux trois types d'intérêts distingués par J. Habermas : pratiques ou opératoires, interprétatoires ou herménéutiques, et émancipatoires.
- (20) On évitera de créer une situation de "jeu de rôle" pour les producteurs du travail interdisciplinaire. Si le destinataire de la production doit nécessairement être un peu imaginé (c'est le cas dans toute situation), il importe que les producteurs aient une identité ancrée dans le concret. Dans le cas d'élèves, s'il s'agit d'une question culturelle, ils seront généralement aussi les destinataires.
- (21) Chacun de ces cas devrait, s'il veut faire l'objet d'un enseignement, être complété par le contexte et le projet pour lesquels on veut construire un îlot de rationalité approprié. Ce dernier ne sera pas le même pour l'utilisateur ou pour le vendeur du fer à repasser ; la représentation de l'alimentation variera pour une infirmière gériatrique ou pour un jeune homme voulant garder sa ligne.

- (22) Une technologie, ou un processus, peut avoir autant de "principes" de base que de disciplines, ou même de sous-disciplines, qui l'examinent. Sorensen et Levold (1992 & 1993) ont montré, par exemple, comment un ingénieur, pour aborder correctement une question, adopte une démarche plus complexe que celle d'un scientifique qui se contente de la projection d'une technologie dans une de ses dimensions. La pratique de l'interdisciplinarité est plus proche de celle de "scientifiques" comme les médecins, les architectes ou les ingénieurs, que de celle des "scientifiques" des facultés des sciences.
- (23) On construirait un autre îlot de rationalité avec un groupe d'élèves (producteurs) chargé de rédiger une note pour des acheteurs et utilisateurs éventuels (destinataires, situation et projet).
- (24) En général, un technicien expose de sa technique une vision peu complexifiée qui néglige ce qui ne relève guère de sa spécialité. Ainsi, un technicien des fers à repasser risque de se trouver totalement incapable de comprendre et d'exposer certains fonctionnements sociaux de cet outil, par exemple ceux relatifs à l'image des rôles masculins et féminins qu'il véhicule.
- (25) Pour une analyse épistémologique de la notion de "fait", cf Fourez, 1992a, pp. 32-46 ou Latour, 1979.
- (26) Ainsi, la technologie du chemin de fer est-elle bien plus que les trains, les rails et les gares ; c'est aussi toute cette organisation qu'est le chemin de fer (avec ce qu'elle implique, comme la standardisation du temps à travers un continent - alors qu'auparavant, cette standardisation se limitait à la région d'où l'on pouvait voir le clocher du village ou la tour de l'hôtel de ville).
- (27) Une décision technique est un choix dont on estime qu'il ne met pas en jeu ce que nous voulons faire de notre vie, mais seulement des moyens ; un choix éthique (et aussi un choix politique), lui, implique les finalités que nous nous donnons.
- (28) Les spécialistes montreront notamment l'importance de certaines considérations que l'équipe de travail avait peut-être négligées.
- (29) On rencontre là un problème sociétal propre à une société technologique : comment éviter que l'attention nécessaire à des projets concrets ne ferme la porte à une curiosité qui peut parfois conduire à dépasser certaines "clôtures". Il y a là un équilibre à trouver, pour lequel il n'y a ni méthode ni recette.
- (30) La maîtrise de certains concepts techniques est en effet une condition d'un savoir socialisable et utilisable. La standardisation des concepts par les disciplines (la science normale de Kuhn) doit être une partie intégrante de l'enseignement scolaire (cf Latour, 1989 ; Fourez, 1992a).
- (31) Avec des élèves, c'est à l'occasion de cet appel aux spécialistes et aux spécialités qu'on peut voir, "en passant", certaines théories spécifiques d'une discipline. L'ouverture de certaines boîtes noires peut conduire à l'étude de questions souvent négligées par les approches disciplinaires ou les programmes : ce serait le cas si l'on voulait étudier comment la chaleur du fer supprime les plis d'un tissu.
- (32) Ce qui ne veut pas toujours dire l'action pratique, économique ou matérielle. Ainsi, se situer dans une culture et y communiquer avec d'autres, c'est aussi un type d'action.
- (33) Cette clôture grâce au projet garde sa valeur, mutatis mutandis, dans un projet culturel, comme celui de comprendre l'origine de l'espèce humaine ou de connaître l'histoire du fer à repasser.
- (34) Dans ce cas, on se trouve confronté à la tension évoquée par Layton (1993) à propos des technologies : sont-elles enseignées en vue de l'apprentissage des disciplines, ou estime-t-on que l'apprentissage aux technologies (ou à l'interdisciplinarité) est un objectif scolaire en soi, dans la perspective d'une alphabétisation scientifico-technique. Dans la pratique, un compromis est sans doute nécessaire.
- (35) Un dossier interdisciplinaire sur l'alimentation (rédigé par V. Englebert-Lecomte et contenant des interviews de divers spécialistes) sera disponible sous peu au Département "Sciences, Philosophies, Sociétés" des FUNDP, B5000 Namur, Belgique.

- (36) L' "objet" que constitue l'évolution est défini par le croisement d'une multitude de points de vue d'acteurs concernés par cette définition, du biologiste au philosophe ou au théologien, en passant par les paléontologues et les historiens. Comme tout concept scientifique, celui d' "évolution" est une institution sociale qui ne prend sa signification que dans un cadre culturel précis (Cf Callon 1976, Latour 1989, Stengers 1987, Fourez 1992a).
- (37) Cf Mathy, 1993 : sans utiliser la même grille que celle que nous présentons ici, l'auteur y montre comment ce sujet peut être examiné d'une façon bien plus ouverte que celle que l'on voit le plus souvent dans les manuels de biologie. Par ailleurs, la grille que nous proposons montre qu'il est possible d'ouvrir l'étude de l'évolution encore plus qu'il ne l'a fait.

## BIBLIOGRAPHIE

AAAS (AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE) : *Science for All Americans, Project 2061*, Washington DC, 1989.

AIKENHEAD G. : *L'approche STS et l'apprentissage des sciences*, n° spécial du *Courrier du Cethes*, Namur, 1992.

BENSAUDE-VINCENT B. et STENGERS I. : *Histoire de la Chimie*, Paris, La découverte, 1993.

BIJKER W. : "Life after Constructivism", in *Science, Technology & Human Values*, 1993, vol 18, n°1, pp.113-138.

BRINCKERHOFF R.F. : *Sciences, Technologies et Société au quotidien*, Bruxelles, De Boeck Univ., 1992.

CALLON M. : "L'opération de traduction comme relation symbolique" in ROQUEPLO Ph. éd., *Incidence des rapports sociaux sur le développement scientifique et technique*, Paris, Maison des Sciences de l'Homme, 1976, pp. 105-141.

DE CERTEAU M. : *L'invention du Quotidien*, Paris, coll 10/18, U.G.E., 1980 (Nlle éd. Gallimard, coll Folios-Essais, 1990).

LAROCHELLE M. & DESAUTELS J. : *Autour de l'idée de science : itinéraires cognitifs d'étudiants*, Bruxelles, De Boeck Université, 1992.

DESAUTELS J. & LAROCHELLE M. *Qu'est-ce que le savoir scientifique*, Québec, Pr. de l'univ. Laval, 1989.

FOUREZ G. & TILMANS-CABIAUX Ch. : *Les sciences doivent-elles s'enseigner par disciplines ?*, n° spécial du *Courrier du Cethes*, n°10, 1990.

FOUREZ G. : *La construction des Sciences*, Bruxelles, Ed. De Boeck Univ., 1992 (a).

FOUREZ G. : "La Formation des Jeunes par les Sciences" in *Humanités chrétiennes* XXXV, n° 4, 1992 (b), pp. 341-349.

FOUREZ G. : "Pour un enseignement technologique dans le secondaire" in *Courrier du Cethes*, n° 18, 1992 (c), pp. 24-43.

FOUREZ G. : "Alphabétisation scientifique et îlots de rationalité" in GIORDAN A., MARTINAND J.L. & RAICHVARG D., éd., *Actes JIES XIV*, Chamonix, 1992(d), pp. 45-56.

GIORDAN A. : "Culture scientifique et technologique, régulation de la démocratie et vie quotidienne" in *Enseigner les sciences en l'an 2000*, (coord. G. Fourez), Namur, Presses Universitaires, 1989.

HABERMAS J. : *La science et la technique comme idéologie*, Paris, Gallimard, 1973.

KNORR-CETINA K. & MULKAY M. : *Science Observed*, London, Sage, 1983 (traduit sous le titre *La science telle qu'elle se fait* aux éditions Pandore).

KUHN T.S. : *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1972.

LATOUR B. & al. : *Ces réseaux que la raison ignore*, Paris, L'Harmattan, 1992.

LATOUR B. : "The impact of Science Studies on Political Philosophy", in *Science, Technology & Human Values*, 1991, vol. 16, n°1, pp.3-19.

LATOUR B. & WOOLGAR S. : *Laboratory Life, the social construction of scientific facts*, Los Angeles, Sage, 1979 (trad. franç., Ed. La Découverte, Paris, 1988).

LATOUR B. : *La science en action*, Paris, Ed. La découverte, 1989.

LAYTON D. : *Technology's challenge to science education*, Buckingham, Open University Press, 1993.

MARTINAND J.L. : "Enjeux et ressources de l'éducation scientifique" in GIORDAN A., MARTINAND J.L. & RAICHVARG D., éd., *Actes JIES XIV*, Chamonix, 1992, pp. 57-65.

MATHY Ph. : "Enseigner autrement les théories de l'évolution" in *Courrier du Cethes*, n° 20, 1993, pp. 3-18.

MATHY Ph. : *Les théories de l'évolution dans les manuels scolaires*, Dépt. Sciences, Philosophies, Sociétés, FUNDP, Namur, 1992.

MAYOR F. & PORTELLA Ed. : *Entre Savoirs : l'interdisciplinarité en acte*, Toulouse, Eres, 1992.

MORGAN K. : rapport au Forum Project 2000+ : *Teacher and leadership education for scientific and technological literacy*, Paris, UNESCO ED-93. Conf. 016. Ref 1.4., 1993.

O.C.D.E., : *Séminaire sur "la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité dans les universités"*, O.C.D.E., Université de Nice, 1970,

- SCHOT J. : "Constructive T.A. & Technology Dynamics", in *Science, Technology & Human Values*, 1992, vol. 17, n°1, pp. 36-56.
- SERRES M. & al. : *Éléments d'Histoire des Sciences*, Paris, Bordas, 1988.
- SORENSEN K.H. & LEVOLD N. : "Astuce scientifique, persévérance des ingénieurs et savoir-faire" in *Courrier du Cethes*, n° 20, avril 1993, pp. 18-24.
- SORENSEN K.H. & LEVOLD N. : "Tacit Networks, Heterogeneous Engineers, Embodied Technology" in *Science, Technology & Human Values*, 17, n°1, 1992, pp. 13-35.
- STENGERS I. & al. : *D'une science à l'autre, des concepts nomades*, Paris, Seuil, 1987.
- STENGERS I. & SCHLANGER J. : *Les concepts scientifiques*, Paris, La Découverte, 1989.
- TILMANS-CABIAUX Ch. : "Modéliser le flou du quotidien : les opérations de traduction comme instruments d'élaboration de modèles interdisciplinaires" in GIORDAN A., MARTINAND J.L. & RAICHVARG D., éd., *Actes JIES XIV*, Chamonix, 1992, pp. 191-195.
- WAKS L. : "S.T.S., une nouvelle éthique de la formation scientifique et technologique aux USA", in G. FOUREZ, éd. : *Construire une éthique de l'enseignement scientifique*, Presses Univ. de Namur, Namur, 1986.
- WOOLGAR S. : "The turn to Technology in Social Studies on Science", in *Science, Technology & Human Values*, 1991, vol. 16, N°1, pp.20-50.

# UNE DÉMARCHE PÉDAGOGIQUE CENTRÉE SUR L'ANALYSE SYSTÉMIQUE DANS L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

Philippe Prévost

*Dans l'enseignement technique agricole, l'étude d'une démarche pédagogique, "l'approche globale de l'exploitation agricole", nous interroge sur les difficultés, non seulement de la transposition didactique, mais aussi de la mise en oeuvre par des enseignants ou l'appropriation par des apprenants d'un modèle systémique.*

*La prise en compte du but de l'apprentissage dans la démarche pédagogique est certainement un des facteurs essentiels de sa pertinence pour familiariser les acteurs avec un modèle systémique.*

La formation professionnelle, qui prépare les apprenants à l'exercice de leur futur métier, doit prendre en compte la diversité des situations professionnelles dans l'élaboration des situations d'apprentissage.

De nombreuses situations professionnelles se révèlent à l'analyse extrêmement complexes du fait de la mobilisation de savoirs tant déclaratifs que procéduraux. C'est le cas, en agriculture, de la prise de décision de l'agriculteur dans ses choix de gestion technico-économique au sein de son exploitation agricole.

Afin de préparer les futurs agriculteurs ou techniciens agricoles à la prise de décision, le savoir préalable est **la compréhension du fonctionnement de l'exploitation agricole**.

une démarche  
pédagogique  
construite à partir  
d'un modèle  
théorique  
systémique du  
fonctionnement  
de l'exploitation  
agricole

A partir d'un modèle théorique du fonctionnement de l'exploitation agricole élaboré par des chercheurs en agronomie, Bonneville, Jussiau et Marshall (1989) ont construit une démarche pédagogique, "**l'approche globale de l'exploitation agricole**", qui est utilisée dans des modules de formation de plusieurs référentiels de diplômes de l'enseignement technique agricole (Cf encadré). C'est le cas, en particulier, de **la formation au brevet de technicien agricole rénové (BTA)**, de niveau IV, où "l'approche globale de l'exploitation agricole" doit être mise en oeuvre dans un module de formation intitulé "le fonctionnement de l'entreprise de production" (référentiel du diplôme de BTA).

En s'appuyant sur une étude que nous avons menée auprès de 41 classes de BTA de l'enseignement technique agricole de la région Rhône-Alpes (considérée comme représentative de l'enseignement agricole en France), nous voulons mettre en lumière, dans cet article, les difficultés de mise en oeuvre de cette démarche pédagogique visant l'apprentissage d'un

modèle systémique. Auparavant, nous rappellerons les phases de la transposition didactique qui ont permis l'introduction, dans l'enseignement, de l'apprentissage sur le fonctionnement de l'exploitation agricole.

### **Le modèle de l'approche globale de l'exploitation agricole dans l'architecture du diplôme de brevet de technicien agricole rénové**

L'enseignement technique agricole français, sous tutelle du ministère de l'Agriculture, connaît une rénovation d'ensemble depuis 1985, pour répondre aux nouveaux besoins de qualification professionnelle en agriculture (Méaille, 1988). Désormais, la formation au métier de responsable d'exploitation agricole se situe à un niveau égal ou supérieur au niveau IV (équivalent au baccalauréat). En formation initiale, le diplôme correspondant est le brevet de technicien agricole (BTA), première formation à avoir été rénovée, dès 1985. La formation au BTA a été découpée en modules de formation, regroupés en trois catégories :

- Les modules de base : connaissance et pratique de la langue française, connaissance et pratique d'une langue étrangère, connaissance du corps et pratiques d'activités sportives, connaissances et pratiques sociales, l'homme et le monde contemporain : les faits et les idées, connaissances mathématiques et traitement des données numériques et graphiques.
- Les modules de secteur professionnel, orientés vers la production agricole, la transformation agro-alimentaire ou les activités tertiaires para-agricoles.
- Les modules de qualification professionnelle, permettant une spécialisation de l'élève.

Parmi les modules de formation du secteur professionnel orienté vers la production agricole, l'un d'entre eux a pour thème la compréhension du fonctionnement de l'exploitation agricole (référentiel du diplôme de brevet de technicien agricole). Ce module a pour objectif de faire comprendre aux apprenants comment fonctionne une exploitation agricole. Le contenu de formation de ce module paraît aujourd'hui particulièrement pertinent car le rôle de manager et de gestionnaire de l'agriculteur est devenu primordial dans la réussite professionnelle en agriculture. En effet, il est également utilisé dans le brevet professionnel-responsable d'exploitation agricole, un diplôme de formation professionnelle continue, réservé aux adultes. De même, il est enseigné aux futurs conseillers agricoles qui suivent un brevet de technicien supérieur agricole, option "Analyse et Conduite des Systèmes d'Exploitations". C'est au sein de ce module sur le fonctionnement de l'exploitation agricole que la démarche pédagogique de "l'approche globale de l'exploitation agricole" est mise en oeuvre, et ce, en vue de favoriser l'appropriation d'un modèle systémique.



## 1. DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE A LA DÉMARCHE PÉDAGOGIQUE

### 1.1. L'exploitation agricole vue comme un système

La science des systèmes, qui se développe sous l'impulsion de chercheurs de différentes disciplines scientifiques après une première élaboration de la *"Théorie générale des systèmes"* par Von Bertalanffy (1968), a trouvé un écho favorable en agronomie qui, par nature, est une *"science complexe"* (Sébillotte et Hénin, 1975). Le concept de système, ou tout du moins ses diverses préfigurations, a en effet une longue histoire en agriculture puisque le Comte de Gasparin (1845), dans son cours d'agriculture, abordait déjà la notion de *"système de culture"* s'appuyant sur la relation sol-climat-plante pour montrer les interactions entre les éléments édaphiques, climatiques et végétaux dans la production des cultures. Si les grandes découvertes de la chimie et de la génétique ont, pendant un siècle, privilégié la démarche analytique dans toutes les sciences, la conception systémique représente un nouveau courant théorique et méthodologique répondant à trois préoccupations essentielles : la volonté de retrouver une approche plus synthétique en réaction aux tendances ultra-analytiques, le besoin de mettre au point une méthode pour concevoir les ensembles vastes et complexes et la nécessité de promouvoir un langage unitaire face à une fragmentation et une dispersion du savoir (Walliser, 1977). Cette conception systémique est utilisée chez un certain nombre de chercheurs agronomes pour l'étude de l'activité agricole.

L'approche systémique s'est particulièrement développée en agriculture pour l'étude de la prise de décision dans l'exploitation agricole et Brossier écrivait déjà en 1973 : "Les agriculteurs, comme tous les individus, ont un comportement rationnel, c'est-à-dire qu'il y a cohérence entre les objectifs qu'ils cherchent à atteindre et les moyens mis en oeuvre pour les atteindre".

C'est Osty (1978) qui, intitulant son article *"L'exploitation vue comme un système"*, fit réapparaître la notion de système dans l'exploitation agricole :

- *"L'exploitation agricole est un tout organisé qui ne répond pas à des critères simples et uniformes d'optimisation.*
- *C'est à partir de la vision qu'ont les agriculteurs de leurs objectifs et de leurs situations qu'on peut comprendre leurs décisions et leurs besoins"*.

En 1979, Petit, en accord avec Osty et Brossier, précise que *"l'agriculteur a de bonnes raisons de faire ce qu'il fait"*.

Cette évolution, dans les recherches en agronomie, est fondamentale car elle exprime le renversement épistémologique dans la recherche que Brossier (1987) justifie en caractérisant l'approche systémique en agriculture comme suit :

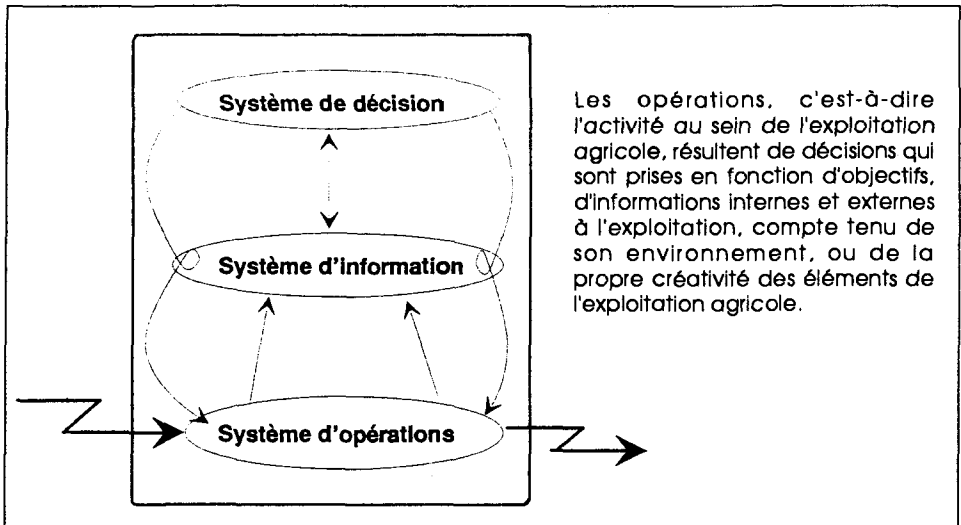
l'approche  
système s'est  
développée en  
agriculture...

- "Donner la priorité à la compréhension pour modifier les systèmes. La démarche est holistique et non normative.
- Étudier ce que font les agriculteurs plutôt que de dire ce qu'ils devraient faire.
- Démarche ascendante s'appuyant sur les pratiques des agriculteurs.
- Nécessité de l'approche pluridisciplinaire."

L'approche systémique en agriculture est devenue ainsi une méthode d'étude de l'activité agricole et de nombreux chercheurs travaillent à l'élaboration de modèles d'étude performants pour le développement en agriculture.

.. et les chercheurs en agronomie ont construit un modèle théorique du fonctionnement de l'exploitation agricole

Pour la construction de modèles théoriques sur le fonctionnement de l'exploitation agricole, les chercheurs se sont inspirés de la modélisation systémique utilisée dans d'autres sciences. En effet, le modèle systémique construit par Le Moigne (1989), formalisé à partir de nombreux travaux au sein d'entreprises de différents secteurs d'activités, a servi de référence au modèle conceptuel du fonctionnement de l'exploitation agricole. Le Moigne propose d'étudier tout système comme une organisation de trois sous-systèmes (document 1) : le sous-système de décision, le sous-système d'informations et le sous-système opérant. Les opérations, c'est-à-dire l'activité du système, résultent de décisions qui sont prises en fonction d'objectifs, d'informations internes et externes au système ou de la créativité du phénomène étudié. Dans le cas d'une exploitation agricole, l'approche systémique conduit à étudier l'organisation des facteurs de production, en liaison avec l'environnement de l'entreprise, afin de comprendre le fonctionnement de l'exploitation agricole.



**Document 1 : Le modèle systémique du fonctionnement de l'exploitation agricole**  
(adapté d'après J.-L. Le Moigne)

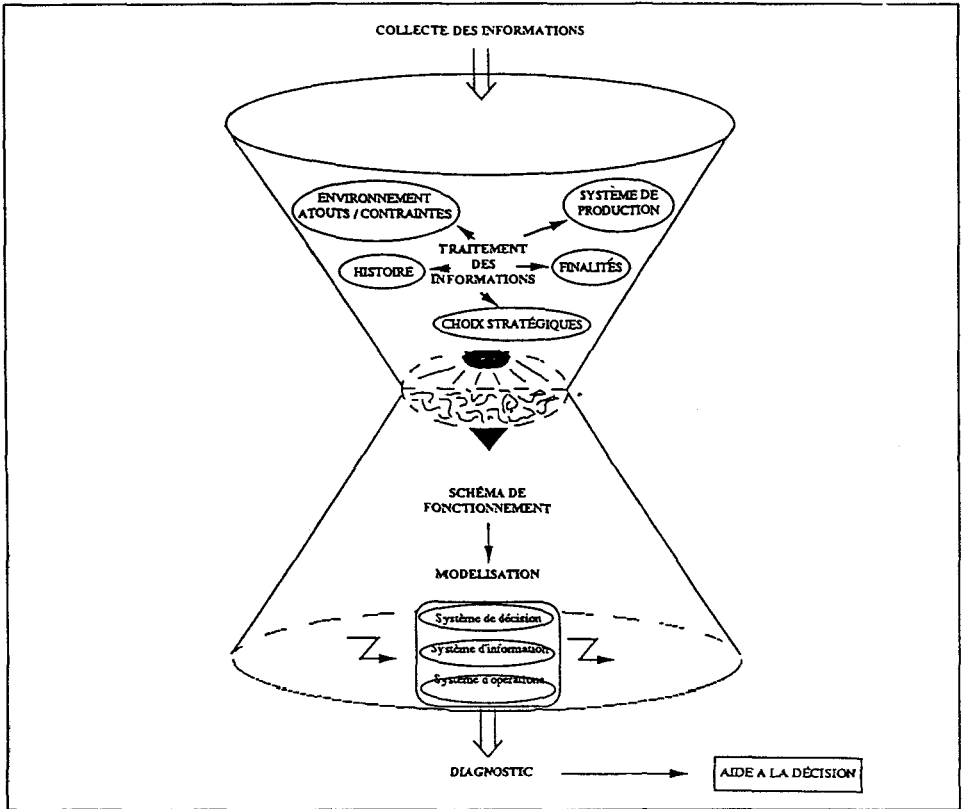
## 1.2. L'approche globale de l'exploitation agricole

Dès 1976, la recherche pédagogique menée à l'INRAP (Institut National de Recherches et d'Applications Pédagogiques de Dijon - Ministère de l'Agriculture) s'appuya sur la recherche agronomique et associa enseignants, formateurs et chercheurs pour mettre au point une démarche fondée sur une analyse technico-économique approfondie des exploitations agricoles et donner des éléments pour un apprentissage de la décision. En particulier, Marshall (1976) proposa une liaison entre la démarche de formation des futurs agriculteurs et le schéma d'analyse des décisions de l'agriculteur. Par la suite, deux expérimentations pédagogiques dans l'enseignement agricole, l'expérimentation FoCEA (Formation des Chefs d'Exploitation Agricole), de 1975 à 1978, abordant en particulier la pédagogie du stage en exploitation, et l'expérimentation MÉSPARD (Méthode d'Étude des Systèmes de Production Agricole d'une Région Donnée), de 1980 à 1984, introduisirent dans l'enseignement certains concepts de la recherche agronomique utilisant la démarche systémique.

En prenant appui sur la modélisation systémique du fonctionnement de l'exploitation agricole, Bonneville, Jussiau et Marshall (1989) proposèrent une démarche pédagogique qu'ils intitulèrent "*l'approche globale de l'exploitation agricole*". Cette démarche consiste à étudier une exploitation agricole selon une approche systémique et dans un cadre pluridisciplinaire, en vue de construire un "schéma de fonctionnement". Ce schéma de fonctionnement permettrait, selon eux, à l'apprenant de comprendre le fonctionnement de l'exploitation agricole et de retrouver les sous-systèmes de décision, d'information et d'opérations du modèle systémique théorique. La modélisation du fonctionnement de l'exploitation agricole faciliterait ensuite le diagnostic, indispensable à toute action de conseil auprès de l'agriculteur (document 2).

Avec cette initiative, on assiste à une double tentative. Tentative d'abord de construire un modèle, à des fins scientifiques, qui rende compte du fonctionnement d'une exploitation agricole. Puis, dans le même mouvement, tentative d'en tirer une méthode d'apprentissage qui présente, à certains égards, les caractéristiques d'un modèle. En effet, l'approche globale de l'exploitation agricole se caractérise, d'une part, par une approche systémique et pluridisciplinaire qui privilégie l'acquisition de savoirs procéduraux et, d'autre part, par un projet en partie constructiviste, puisque l'élève est confronté à une situation-problème où il doit élaborer son propre savoir sur le fonctionnement de l'exploitation agricole.

du modèle  
théorique  
système à la  
démarche  
pédagogique...



**Document 2 : Méthodologie de l'approche globale de l'exploitation agricole**  
(adapté d'après Bonnevialle, Jussiau, Marshall)

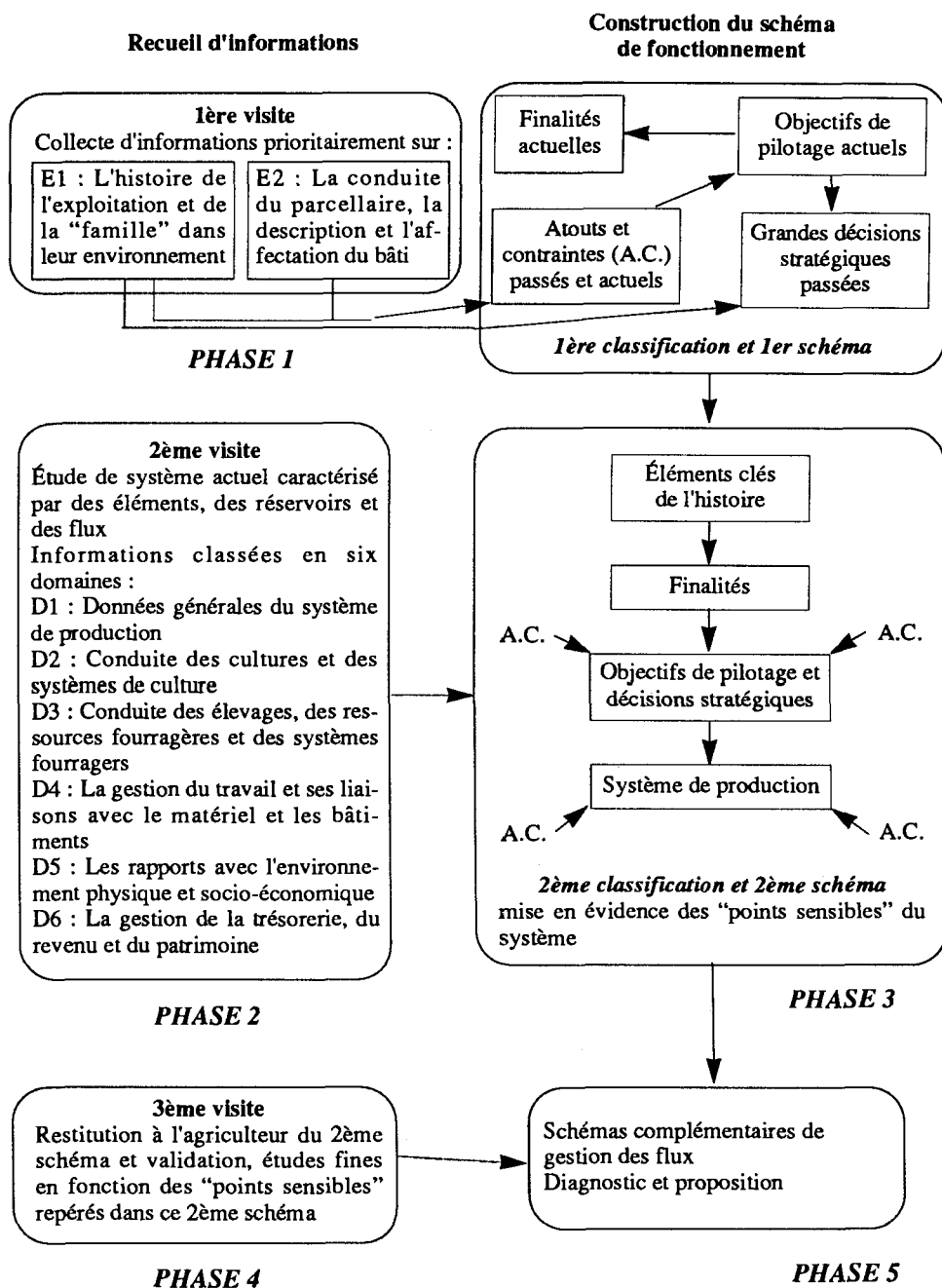
Cette double tentative s'explique par la nature même de la recherche à l'origine de cette démarche pédagogique, qui a associé les chercheurs en agronomie et les enseignants. Mais l'approche globale de l'exploitation agricole peut être considérée tout au plus comme un modèle d'apprentissage et nous préférons utiliser dans notre texte le terme de démarche, plutôt que celui de modèle, mieux adaptée à "l'approche globale de l'exploitation agricole".

La démarche pédagogique de l'approche globale de l'exploitation agricole propose un déroulement en cinq phases (document 3).

**Phase 1** : Entrée dans la connaissance de l'exploitation, d'une part, par la reconstruction de son histoire dans l'environnement, d'autre part, par la conduite du parcellaire, la description et l'affectation du bâti.

**Phase 2** : Recueil d'informations selon six domaines de l'exploitation : les données générales du système de production, la conduite des cultures et des systèmes de culture, la conduite des élevages, des ressources fourragères et des

... en cinq phases...



**Document 3 : La démarche pédagogique de l'approche globale de l'exploitation agricole (d'après Bonneville, Jussiau et Marshall, 1989)**

systèmes fourragers, la gestion du travail et ses liaisons avec le matériel et les bâtiments, les rapports avec l'environnement physique et socio-économique, la gestion de la trésorerie, du revenu et du patrimoine.

**Phase 3** : Elaboration d'un schéma de fonctionnement de l'exploitation agricole. Ce schéma doit rendre compte de la présence des diverses productions et de leur importance relative et doit mettre en évidence "les points sensibles" de l'exploitation agricole.

**Phase 4** : Approfondissement du schéma de fonctionnement auprès de l'exploitant agricole. Cette phase doit permettre la mise en relation des objectifs de l'agriculteur et de sa famille, les décisions stratégiques, les atouts et les contraintes de l'exploitation agricole et le système de production.

**Phase 5** : Diagnostic et aide à la décision. La compréhension du fonctionnement de l'exploitation doit permettre aux apprenants de réaliser un diagnostic sur la reproductibilité du système, les points de "blocage" ou de fragilité et les possibilités d'amélioration.

Cette démarche se réalise selon un ordre chronologique .

### **1.3. Introduction de l'approche globale de l'exploitation agricole dans le programme d'un module de formation du BTA**

Depuis la rénovation du brevet de technicien agricole (1985), un module de formation intitulé "**le fonctionnement de l'exploitation agricole**" (module de secteur production n°2) a pour objectif premier de "*présenter une entreprise de production comme un système organisé et finalisé pour en comprendre le fonctionnement*" (document 4).

Cet objectif, ainsi que le contenu du programme de formation correspondant, sont ceux de l'approche globale de l'exploitation agricole. En outre, le programme de formation est accompagné de recommandations pédagogiques très explicites :

*1 - Le module est fondamentalement à visée méthodologique. L'acquisition de la méthode de compréhension de fonctionnement de l'entreprise doit se faire selon une démarche systématique, en alternant les séquences de formation dans une entreprise-support et l'établissement d'enseignement.*

*2 - L'approche systématique, en tant que modèle, n'est l'apanage d'aucune discipline particulière. Il appartient à l'équipe de formateurs dans son ensemble de la mettre en œuvre, chaque discipline devant apporter les outils spécifiques qui sont nécessaires.*

*3 - Le stage et le rapport de stage doivent donner lieu à un premier réinvestissement de la méthode acquise. Il paraît donc opportun que les enseignants intervenant dans ce module participent aussi au suivi du stage et du rapport de stage.*

... jusqu'à la transposition didactique dans un module de formation du BTA

MODULE DE SECTEUR  
PRODUCTION SP2

FONCTIONNEMENT DE  
L'ENTREPRISE DE  
PRODUCTION

HORAIRE TOTAL : 125 h  
+ séquence en exploitation,  
entreprise ou milieu

**OBJECTIF GÉNÉRAL**

Comprendre le fonctionnement d'une entreprise de production dans son environnement pour raisonner des choix d'action

**DISCIPLINES ET HORAIRES :**

. Sciences économiques (dont comptabilité).....	70 h
. Techniques .....	45 h
. Mathématiques financières .....	10 h

OBJECTIFS À ATTEINDRE	CONTENUS
<p>1. PRÉSENTER UNE ENTREPRISE DE PRODUCTION COMME UN SYSTÈME ORGANISÉ ET FINALISÉ POUR EN COMPRENDRE LE FONCTIONNEMENT</p> <p>11. Rassembler, trier et hiérarchiser des informations pertinentes pour mener l'étude</p> <p>12. Mettre en évidence les objectifs, atouts et contraintes</p> <p>13. Construire une représentation synthétique de l'entreprise étudiée</p> <p>14. Formuler un diagnostic sur le fonctionnement de l'entreprise étudiée</p>	<p>Acteurs ; histoire ; événements clés ; système ; sous-systèmes ; domaines ; décisions ; flux (physiques , de travail, d'information, monétaires) ; environnement ; travail ; équipement ; résultats techniques et économiques.</p> <p>Objectifs généraux ; sous-objectifs (ou objectifs d'orientation) ; atouts et contraintes internes et externes.</p> <p>Interactions ; décisions stratégiques ; décisions tactiques ; organigramme.</p> <p>* Indicateurs globaux : Bilan ; compte de résultats ; revenu disponible ; endettement ; situation de la trésorerie ; calendrier de travail.</p> <p>* Indicateurs par activité : . Marge ; coût de revient. . Indicateurs techniques spécifiques, par exemple : bilans minéraux et humique ; bilans et calendriers fourragers ; bilan de fécondité.</p>
<p>2. ACQUÉRIR DES CONNAISSANCES JURIDIQUES NÉCESSAIRES À LA GESTION DE L'ENTREPRISE AGRICOLE</p> <p>21. Connaître les décisions juridiques d'acquisition et d'assurance des éléments constitutifs de l'entreprise agricole</p> <p>22. Connaître les conditions de l'action commune avec d'autres agriculteurs</p>	<p>* Acquisition à titre gratuit : régimes matrimoniaux, successions, donations.</p> <p>* Acquisition à titre onéreux : . terre : rôle de la SAPER ; . Bâtiment : permis de construire.</p> <p>* La DJA et autres subventions : . les emprunts ; . l'assurance.</p> <p>* GAEC . syndicat ; . Coopérative, notamment CUMA.</p>

*4 - L'évaluation terminale de ce module doit tester la capacité de l'élève à élaborer un schéma cohérent de fonctionnement de l'entreprise, à formuler un diagnostic et raisonner une décision.*

Si le programme de ce module de formation a été conçu à l'origine par les inspecteurs et certains experts de l'enseignement agricole avant la formalisation de la démarche de l'approche globale de l'exploitation agricole, il est aujourd'hui convenu par l'ensemble de la "noosphère" (Chevallard, 1985) que la démarche de l'approche globale de l'exploitation agricole doit être mise en œuvre pour atteindre le premier objectif de ce module de formation.

## **2. LE BUT DE L'APPRENTISSAGE, CONDITION D'ACQUISITION D'UN SAVOIR PROFESSIONNEL**

dans les deux  
mouvements de  
la transposition  
didactique

Cette démarche pédagogique mise en place dans l'enseignement technique agricole avec l'approche globale de l'exploitation agricole est très séduisante car elle se propose "d'apprendre à apprendre". L'école devient alors ce "lieu de cohérence et d'éveil" (Giordan, 1983), où le corpus de savoir est un outil évolutif transférable à d'autres situations que celles d'enseignement. Mais cette démarche, aussi séduisante soit-elle, est confrontée à une difficulté majeure, celle du **but de l'apprentissage dans la transposition didactique** (au sens de Chevallard, 1985).

la prise en  
compte du but  
de  
l'apprentissage  
est essentielle

Pour reprendre Vergnaud (1992), une situation d'apprentissage n'a de sens pour l'apprenant que s'il y reconnaît un problème pour lui : ni trivial, ni hors de sa portée. Le savoir enseigné n'est bien appris que si le savoir de référence a un sens pour l'apprenant. Pour cela, les deux étapes de la transposition didactique (du savoir de référence au savoir à enseigner, du savoir à enseigner au savoir enseigné/appris) doivent converger vers un même but : préparer l'insertion professionnelle des apprenants. Or, dans notre exemple, la confusion dans les finalités perturbe l'enseignement tout au long de la transposition didactique.

### **2.1. Du savoir de référence au savoir à enseigner**

Nous reprenons ici les concepts introduits par Chevallard (1985), en particulier les deux mouvements de la transposition didactique.

Comme le précise Vergnaud (1992), la transposition didactique doit prendre en compte d'autres savoirs de référence que le savoir savant, notamment les savoirs professionnels. En formation professionnelle d'agriculteurs, nous acceptons la définition des savoirs professionnels de Raisy (1992) : *"Les savoirs professionnels constituent un système complexe de savoirs pratiques, de savoirs techniques et de savoirs*



scientifiques. Ce système est orienté vers des finalités de production et des valeurs. Il s'inscrit dans un temporalité et il prend sens dans un acte professionnel qui lui-même s'intègre dans une situation professionnelle".

Dans le cas de l'approche globale de l'exploitation agricole, les savoirs professionnels ont été traduits par Bonnevalle, Jussiau et Marshall (1989) qui ont établi un référentiel de compétences relatifs à l'Approche Globale de l'Exploitation Agricole (Cf document 5), regroupant cinq "compétences générales" :

cinq  
compétences  
générales,  
à chacune  
correspond dans  
le référentiel,  
une liste de  
compétences  
opérationnelles

- "Être capable de collecter une information homogène et fiable sur l'exploitation agricole

- Être capable de traiter les informations recueillies en opérant un tri entre les informations essentielles et les informations accessoires, et d'élaborer les tableaux intermédiaires de synthèse

- Être capable de modéliser le fonctionnement de l'exploitation agricole par la construction d'un organigramme dit "schéma de fonctionnement"

- Être capable de restituer à l'agriculteur l'ensemble des documents préparatoires au diagnostic

- Être capable d'élaborer un diagnostic de fonctionnement de l'exploitation et d'en hiérarchiser les éléments avec l'agriculteur, en utilisant un référentiel adapté" (Bonnevalle et al., 1989).

Certes, ce référentiel peut être critiqué dans sa formulation. Dans l'enseignement, le terme d'objectif pédagogique est préférable à celui de compétence. Mais, surtout, la présentation des capacités à atteindre selon la chronologie de la démarche rend difficiles les choix à effectuer dans la transposition didactique. En effet, il aurait été plus judicieux de hiérarchiser les objectifs pédagogiques en fonction des savoirs professionnels requis à l'issue de l'apprentissage. Telle quelle, l'adaptation de cette démarche pédagogique à des niveaux de formation différents, concernant en particulier le volume horaire et le contenu de formation, n'est pas aisée. Cependant, elle a le mérite d'exprimer de façon claire les capacités terminales à rechercher chez les apprenants dans leur apprentissage.

Dans le programme du module de formation étudié (document 4), ces savoirs professionnels n'apparaissent plus de façon aussi claire, du fait de deux perturbations essentielles que nous avons pu mettre en évidence lors de notre étude : la confusion dans les objectifs pédagogiques et l'absence de concepts intégrateurs au profit d'un vocabulaire technico-économique trop important.

Compétences générales	Compétences opérationnelles
1. Être capable de collecter une information homogène et fiable sur l'exploitation agricole.	<p>11. Être capable de collecter des informations sur l'histoire du système famille-exploitation, puis d'ordonner ces informations en mettant en évidence les dates et les périodes charnières de l'évolution de l'exploitation.</p> <p>12. Être capable de collecter des informations sur le parcellaire et le bâti de l'exploitation rassemblant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la liste exhaustive de parcelles et leur positionnement sur un plan parcellaire</li> <li>- les caractéristiques de chaque parcelle (nom, surface, caractéristiques, utilisation l'année n et les années n-1, n-2 et n-3, problèmes particuliers)</li> <li>- les caractéristiques de chaque bâtiment (utilisation, capacité, emplacement, extensions possibles, forme et accessibilité).</li> </ul> <p>13. Être capable de collecter des informations sur les six domaines suivants :</p> <p>D1 : les données générales du système de production  D2 : la conduite des cultures et des systèmes de culture  D3 : la conduite des élevages, des ressources fourragères et des systèmes fourragers  D4 : la gestion du travail et ses liaisons avec le matériel et les bâtiments  D5 : les rapports avec l'environnement physiques et socio-économiques  D6 : la gestion de la trésorerie, du revenu, de l'équilibre financier et du patrimoine.</p>
2. Être capable de traiter les informations recueillies en opérant un tri entre les informations essentielles et les informations accessoires, et d'élaborer des tableaux intermédiaires de synthèse.	<p>21. Être capable de dégager les principales décisions stratégiques.</p> <p>22. Être capable de dégager les principaux atouts et les principales contraintes de l'exploitation.</p> <p>23. Être capable de dégager les finalités du groupe familial et les objectifs de pilotage commandant les décisions de l'agriculteur.</p> <p>24. Être capable de dégager les principales interactions au sein du système de productions.</p>
3. Être capable de modéliser le fonctionnement de l'exploitation agricole par la construction d'un organigramme dit "schéma de fonctionnement".	<p>31. Être capable de hiérarchiser les caractéristiques du système exploitation-famille, dégagées à la suite du traitement des informations.</p> <p>32. Être capable d'établir des liens logiques entre : finalités, objectifs du pilotage, décisions stratégiques, systèmes de production, atouts, contraintes, permettant de rendre compte des déterminants du choix du système de production et du fonctionnement du système d'exploitation.</p>
4. Être capable de restituer à l'agriculteur l'ensemble des documents préparatoires au diagnostic.	<p>41. Être capable de restituer à l'agriculteur les différents tableaux intermédiaires de synthèse (histoire, gestion du parcellaire, trésorerie etc.) pour les valider.</p> <p>42. Être capable de restituer à l'agriculteur un schéma de fonctionnement pour en vérifier la pertinence d'ensemble, le hiérarchiser, le compléter ou l'amender.</p>
5. Être capable d'élaborer un diagnostic de fonctionnement et d'en hiérarchiser les éléments avec l'agriculteur, en utilisant un référentiel adapté.	<p>51. Être capable, à partir des tableaux intermédiaires de synthèse de divers indicateurs et du schéma de fonctionnement de formuler un diagnostic synthétisant les forces et faiblesses du fonctionnement de l'exploitation (reproductibilité du système, facteurs de fragilité ou de souplesse, réserves d'adaptation, etc.) et de hiérarchiser avec l'agriculteur les éléments du diagnostic.</p> <p>52. Être capable de proposer à l'agriculteur quelques voies possibles d'adaptation du système de production en fonction des objectifs et des finalités de l'agriculteur et de sa famille.</p>

**Document 5 : Référentiel de compétences relatives à l'approche globale de l'exploitation agricole (d'après Bonneville et al. 1989)**

• **La confusion dans les objectifs pédagogiques**

le savoir de référence du module étudié a subi un traitement didactique par la "noosphère"...

Alors que les concepteurs de l'approche globale de l'exploitation agricole visaient l'acquisition de la méthode de compréhension du fonctionnement de l'exploitation agricole, le programme du module étudié introduit une deuxième partie concernant des connaissances juridiques. Qui, des personnalités scientifiques, des enseignants, des inspecteurs, des professionnels, etc., insista pour l'introduction de ce deuxième contenu ? Il en ressort une confusion dans les objectifs pédagogiques qui se traduit par la perturbation de l'enseignement de l'approche globale de l'exploitation agricole. En effet, l'acquisition de connaissances ne présente pas les mêmes exigences que l'acquisition de la méthode de compréhension du fonctionnement de l'exploitation agricole. Pour comprendre le fonctionnement de l'exploitation agricole, il est indispensable d'étudier une situation professionnelle réelle où l'agriculteur fait partie du sujet d'étude alors que les connaissances peuvent s'acquérir en situation réelle ou fictive, selon des méthodes pédagogiques très diverses. Le fait qu'une partie du module de formation concerne l'acquisition de connaissances oriente inmanquablement l'enseignement vers des méthodes pédagogiques traditionnelles, plus faciles à mettre en oeuvre, au détriment de l'objectif de l'approche globale de l'exploitation agricole. Outre ce premier constat, la version initiale de ce module fut tellement contestée par les enseignants d'économie, qui s'étaient appropriés ce module de formation, qu'une deuxième version (module SP2') vit le jour. Dans cette version, la deuxième partie du programme "Connaissances juridiques" fut remplacée par le "Raisonnement d'une décision de production ou d'investissement", c'est-à-dire un contenu de gestion comptable classiquement enseigné avec les anciens programmes.

...qui peut entraîner une confusion dans les objectifs pédagogiques.

L'influence du contenu du programme apparaît très nettement dans les résultats de notre étude régionale et deux éléments sont significatifs.

- Une équipe pédagogique sur quatre, seulement, conduit l'approche globale de l'exploitation agricole telle qu'elle est proposée dans le savoir de référence. A l'opposé, une classe sur cinq ne reçoit qu'un enseignement de gestion comptable dans ce module de formation. Le retour progressif à un enseignement de gestion est fréquemment une tentation à laquelle beaucoup d'enseignants ont du mal à résister.
- La méthode de travail est une capacité recherchée en priorité chez les élèves pour 18,5 % des enseignants alors que 28 % d'entre eux affirment privilégier la connaissance de la gestion.

Les résultats de l'enquête dans la région Rhône-Alpes montrent la difficulté des enseignants à concilier le savoir de référence et le savoir à enseigner, lorsque "la noosphère" (Chevallard, 1985) introduit une confusion dans le pro-

gramme de formation. Cette confusion résulte de compromis au sein de cette noosphère dans les choix effectués lors de la transposition didactique du savoir de référence en savoir à enseigner. En effet, outre la difficulté de proposer un contenu de formation pluridisciplinaire, la référence aux savoirs professionnels reste un sujet de débat permanent entre les spécialistes qui doivent concilier en particulier la concurrence entre les disciplines, l'adéquation du contenu au niveau de formation et l'intégration d'un module dans un référentiel de diplôme. Pourtant, de telles situations pourraient être évitées si le but de l'apprentissage servait de guide à la transposition didactique. Beaucoup d'enseignants soutiennent cette thèse puisqu'une de leurs premières revendications, pour améliorer l'enseignement de ce module, est de ne maintenir dans le programme que le seul contenu relatif à l'approche globale de l'exploitation agricole.

Ainsi, dans le cas du module de formation étudié, l'approche globale de l'exploitation agricole correspond à un savoir professionnel suffisamment important pour que cette démarche pédagogique constitue à elle seule un module de formation. Si la "noosphère" n'avait pris en compte que le but de l'apprentissage, qui est ici la capacité des apprenants à comprendre le fonctionnement d'une exploitation agricole, nous n'aurions pas pu mettre en évidence, au cours de notre étude, cette perturbation dans la mise en oeuvre de cette démarche pédagogique.

#### • *L'absence de concepts intégrateurs*

Le programme du module de formation étudié propose les objectifs à atteindre et les contenus de formation (document 4). Le contenu concernant l'approche globale de l'exploitation agricole (première partie du programme) présente une liste de concepts-clés à acquérir. Mais le nombre élevé de concepts, pour la plupart nouveaux pour les élèves, oriente le savoir à enseigner vers l'acquisition de connaissances plutôt que vers l'acquisition d'une méthode. Pour éviter cette dérive, la hiérarchisation des différents concepts selon leur rôle intégrateur de la connaissance, pourrait faciliter l'enseignement. En effet, Leclerc et al. (1993) ont montré l'intérêt d'introduire progressivement un nombre limité de concepts intégrateurs d'autres concepts pour faciliter l'appropriation du savoir par les apprenants. Par exemple, l'élaboration d'un modèle conceptuel dans un cours de protection des cultures permet de relier les processus d'apprentissage et les procédures impliquées dans les tâches professionnelles.

Dans la démarche pédagogique étudiée, un concept pourrait jouer un rôle intégrateur fondamental : celui de système de production. Mais ce concept, s'il est efficient pour un certain nombre de chercheurs, pose le problème de son rôle dans l'enseignement.

Le concept de système de production présente une ambiguïté reconnue par les chercheurs eux-mêmes (Brossier,

...ou qui ampute  
une partie de ce  
savoir de  
référence

le concept de système de production peut fonctionner à différents niveaux...

1987). En effet, il peut répondre à plusieurs types de définitions, correspondant à différentes échelles d'étude de la production agricole. Le système de production, défini comme la combinaison des facteurs de production et des productions, se situe souvent à l'échelle de l'exploitation agricole, soit comme un sous-système au sein de l'exploitation (système d'opérations du modèle systémique), soit comme un système caractérisant le fonctionnement de l'exploitation agricole (il télescope alors le concept de système d'exploitation, utilisé en particulier dans la formation des techniciens supérieurs pour analyser les différents types de fonctionnement des exploitations agricoles). Mais il peut aussi se situer à l'échelle régionale pour qualifier la combinaison des productions et des facteurs de productions d'un ensemble d'exploitations d'une petite région.

... il apparaît dans l'approche globale de l'exploitation agricole mais pas dans le module SP2

Les particularités de ce concept rendent son utilisation difficile dans l'enseignement. Cependant, ce concept, qui caractérise en grande partie le fonctionnement de l'exploitation agricole, est indispensable à l'approche globale de l'exploitation agricole et Bonnevielle et al. l'ont intégré dans les concepts-clés de leur démarche pédagogique (documents 2 et 3). Dans le programme du module de formation étudié, ce concept n'apparaît pas. La décision de ne pas avoir introduit ce concept dans le programme de formation du module SP2 du BTA, (alors qu'il est connu de tous les enseignants), entraîne une nouvelle perturbation. Son intérêt dans l'approche globale de l'exploitation agricole oblige ainsi les enseignants à choisir entre la non-utilisation et l'utilisation, souvent mal maîtrisée (cf paragraphe 2.2.), de ce concept. Ainsi, deux enseignants sur trois utilisent ce concept malgré son absence dans le contenu de formation. Là encore, l'absence d'un véritable but dans l'apprentissage n'a pas permis de prendre en compte le rôle important de ce concept dans la démarche pédagogique. Car l'ambiguïté du concept de système de production, plus liée à la richesse de ce concept qu'à son imprécision, qui a gêné son introduction dans le programme de formation, pouvait être levée s'il avait été défini par rapport au rôle qu'il joue dans la démarche pédagogique.

## **2.2. Le savoir à enseigner dans la pratique de la classe**

La question des finalités dans l'apprentissage se pose encore plus fortement dans la pratique de la classe et nous avons pu mettre en évidence l'importance du but de l'apprentissage dans l'analyse des pratiques pédagogiques et les représentations des enseignants et des apprenants.

Au sein des 41 classes observées, nous avons comparé les pratiques pédagogiques aux propositions du programme et des recommandations pédagogiques du module de formation. Cette comparaison a concerné la mise en oeuvre de l'approche globale de l'exploitation agricole (organisation du

module, pluridisciplinarité, approche systémique), le réinvestissement dans le stage intégré à la formation et l'évaluation du module (contrôles en cours de formation). Une analyse factorielle des correspondances multiples a permis d'identifier plusieurs types de situations de classes selon deux groupes de variables caractérisant, pour l'un, l'adéquation des pratiques pédagogiques au programme, pour l'autre, la difficulté de mise en oeuvre de "l'approche globale de l'exploitation agricole".

En fait, l'analyse a montré que les variables expliquant les écarts dans les pratiques pédagogiques étaient principalement le **type d'établissement** (lycée d'enseignement général et technologique agricole, lycée professionnel agricole, lycée agricole privé et maison familiale rurale (formation par alternance)) et la **spécialisation de la classe** (onze options : généraliste, conduite de l'entreprise agricole, machinisme, élevage équin, viticulture, arboriculture fruitière, cultures légumières, cultures florales, pépinières, jardins-espaces verts et productions forestières).

Elle exprime ainsi le besoin d'un but dans l'apprentissage. En effet, la spécialisation (les options) est la variable la plus liée aux compétences professionnelles à acquérir. Or, c'est elle qui explique le mieux les différences de pratiques. Par exemple, les spécialisations "productions forestières" et "jardins-espaces verts", à la différence des autres entreprises de production agricole, sont davantage tournées vers la vente de services et la commercialisation et elles doivent nécessairement adapter leur enseignement aux caractéristiques des entreprises. Ainsi, l'éloignement par rapport au programme peut alors répondre au besoin de finalisation de l'enseignement.

les pratiques  
pédagogiques  
peuvent  
également  
s'éloigner du  
programme et des  
recommandations  
pédagogiques...

De même, le fait que les établissements privés (lycées agricoles privés et maisons familiales rurales) soient plus en adéquation avec le programme du module de formation peut s'expliquer par leur très grande proximité avec le milieu professionnel et peut-être donc une meilleure prise en compte du but de l'apprentissage.

En dehors du besoin de finalisation de l'enseignement, l'analyse a mis en évidence la difficulté de mise en oeuvre de l'approche globale de l'exploitation agricole. Ainsi, une classe sur cinq étudie le fonctionnement de l'exploitation agricole sans support réel et, surtout, 62,5% des établissements ne réalisent pas de pluridisciplinarité dans ce module de formation où le programme spécifie cette exigence. Cette absence de pluridisciplinarité et de sorties sur le terrain est surtout liée à la difficulté de l'organisation pédagogique qui est plus influencée par la taille de l'établissement que par le type d'établissement ou la spécialisation.

En ce qui concerne l'étude des représentations du concept de système de production, nos résultats expriment la perturbation qu'elles provoquent chez les enseignants. En effet, alors qu'un enseignant sur trois préfère ne pas utiliser ce

... si le but de l'apprentissage n'est pas clairement précisé

concept du fait d'une mauvaise maîtrise, un enseignant sur quatre confond système de production et système d'exploitation. Certes, la difficulté que les enseignants éprouvent à utiliser ce concept est liée au manque de clarté dans sa définition et à son absence dans le programme du module. Mais ces raisons ne sont pas les seules car, outre le fait que ce ne sont pas obligatoirement les mêmes enseignants qui confondent les deux concepts et qui n'utilisent pas le concept de système de production, nous avons pu constater un lien entre la maîtrise du concept par les enseignants et l'importance qu'ils portent à ce module pour le stage en exploitation, intégré à la formation. De plus, l'étude statistique des conceptions des élèves apporte deux types d'informations :

- l'importance donnée au module de formation par les apprenants est d'autant plus grande que le savoir de référence est censé être réutilisé dans le stage en exploitation ;
- l'utilisation de concepts systémiques par les apprenants ("système", "interactif") est statistiquement liée à l'importance donnée au module et à son réinvestissement (phase de "rodage" du modèle pédagogique (Brien, 1990) ) pendant le stage. Ainsi, ces résultats montrent que le but de l'apprentissage, caractérisé par l'objectif pédagogique de l'enseignant et la motivation chez l'apprenant, est déterminant dans le processus d'apprentissage.

Notre étude a révélé la double difficulté, dans la construction d'une démarche pédagogique, elle-même reliée à un modèle systémique, de proposer un savoir à enseigner correspondant à une compétence professionnelle bien définie et d'assurer une utilisation efficace de cette démarche dans la classe.

le but de l'apprentissage permet d'utiliser des concepts efficaces,

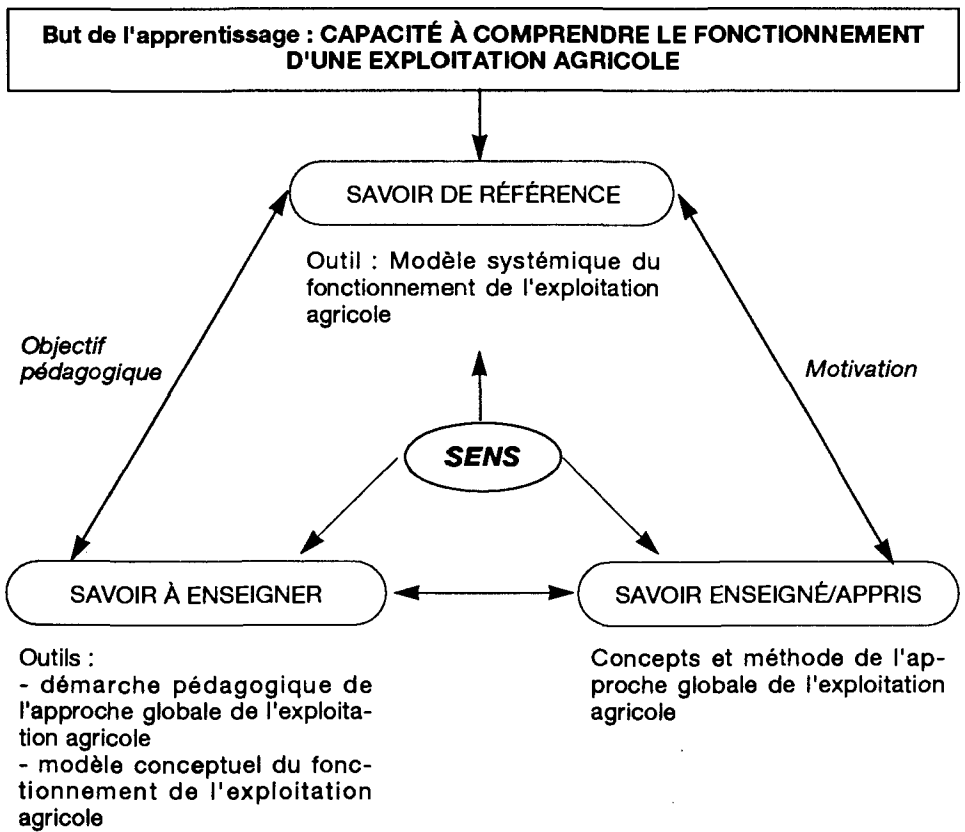
Le savoir à enseigner ne peut être conçu qu'avec des concepts efficaces. Dans cette démarche, le fait que le savoir de référence lui-même révèle des ambiguïtés conceptuelles pourrait ne pas perturber l'enseignement si les concepts étaient définis et utilisés selon une démarche téléologique. Pour cela, les différents concepts nécessaires à l'apprentissage doivent être identifiés, puis présentés aux apprenants après un traitement didactique qui tienne compte du but de l'apprentissage. Dans notre exemple, le concept de système de production n'est plus ambigu lorsqu'il est présenté comme le système d'opérations de l'exploitation agricole, c'est-à-dire correspondant à l'ensemble des actions pratiques de l'agriculteur au sein de son exploitation agricole. Son appropriation peut permettre ensuite aux apprenants de comprendre de nombreuses notions telles que les interactions, les flux, l'environnement, les objectifs, etc.

de faciliter la transposition didactique...

En outre, ce savoir à enseigner, pour être efficacement enseigné et appris, doit correspondre à une tâche professionnelle bien définie. Dans une exploitation agricole, la prise de décision est une tâche fondamentale mais son

... et de déclencher la motivation des apprenants

apprentissage ne peut être conçu que de manière systématique, compte tenu de la multiplicité des facteurs qui entrent en jeu. L'approche globale est une démarche pédagogique qui répond à cette exigence mais sa mise en oeuvre est difficile s'il n'existe pas une convergence de points de vue de l'ensemble des acteurs du système de formation. Cette convergence peut être trouvée dans le but que l'on veut donner à l'apprentissage car ce dernier est à l'origine de l'efficacité des concepts, de la facilité de la transposition didactique et de la motivation des apprenants. Ainsi, dans le cas de cette démarche pédagogique, nous pourrions concevoir un triangle didactique de la manière suivante, si l'on considère essentiellement la capacité à atteindre par les apprenants :



Document 6 : Triangle didactique de l'approche globale agricole



Le savoir de référence concerne le fonctionnement de l'exploitation agricole représenté sous forme de modèle systémique (aussi appelé modèle d'action de l'agriculteur). La démarche pédagogique de l'approche globale de l'exploitation agricole, améliorée par un traitement didactique des concepts essentiels, est l'outil qui permet de transposer dans l'enseignement le savoir de référence. Ainsi, par cette démarche, l'enseignement devrait atteindre le but de l'apprentissage, en l'occurrence la capacité de l'élève à comprendre le fonctionnement d'une exploitation agricole.

La prise en compte du but de l'apprentissage devrait être le préalable à toute didactique car il est certainement un des facteurs essentiels de la pertinence d'une démarche pédagogique, mais aussi d'un modèle pédagogique. Dans l'exemple de la démarche de l'approche globale de l'exploitation agricole, l'analyse de la transposition didactique révèle une profonde ambiguïté liée à différents éléments : la formation au brevet de technicien agricole en elle-même qui prépare au métier d'agriculteur mais aussi aux études supérieures, le référentiel du diplôme construit suite à des compromis prenant en compte des intérêts contradictoires (logiques disciplinaires, évaluation, acquisition de compétences,...) et l'insuffisance du traitement didactique du savoir de référence (quels concepts enseigner ? comment les enseigner ?). Il est clair que la mise en œuvre de cette démarche pédagogique souffre d'un manque de recherches en didactique. Celles-ci auraient mis en évidence l'importance du but de l'apprentissage et auraient recherché les moyens d'un meilleur apprentissage des concepts et de la méthode.

Dans l'enseignement professionnel, les recherches en didactique sont encore trop peu nombreuses pour répondre à tous les problèmes soulevés lors de l'apprentissage. Celles-ci doivent se développer mais elles devront s'assurer que la conception de modèles pédagogiques répond à deux exigences élémentaires : l'origine du modèle ne peut être inspirée que de la situation professionnelle et l'objectif pédagogique doit répondre à une tâche professionnelle bien définie.

Philippe PRÉVOST  
Établissement National d'Enseignement  
Supérieur Agronomique de Dijon

#### Remerciements

*L'auteur remercie Monsieur D. JACOBI, Professeur à l'Université de Bourgogne, pour sa lecture attentive et ses corrections qui devraient permettre de rendre ce texte plus accessible à des enseignants non agronomes.*

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERTALANFFY, L. VON. *General System Theory : foundation, development, applications*. G. Braziller, New-York . Traduction française : *Théorie Générale des Systèmes*. Editions Dunod. 1968.
- BONNEVIALLE, J.R., JUSSIAU, R., MARSHALL, E. *L'approche globale de l'exploitation agricole*. Editions INRAP. Dijon. 1989.
- BRIEN, R. *Sciences cognitives et formation*. Presses de l'Université du Québec. 1990.
- BROSSIER, J. "Système et système de production ; note sur ces concepts". *Cahiers des Sciences Humaines*. Vol. 23. 3-4. 1987.
- CHEVALLARD, Y. *La transposition didactique du savoir savant au savoir enseigné. La pensée sauvage*. Grenoble. 1985.
- GIORDAN, A. *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. Peter Lang. Berne. 1983.
- LECLERC, L.P., BESANCON, J., NIZET, I. "Elaboration de modèles conceptuels adaptés à l'enseignement professionnel : une application agrotechnique". *Aster* 15. 1993. pp 101-119.
- LE MOIGNE, J.L. *La modélisation des systèmes complexes*. Dunod, Collection Afcet systèmes. Paris. 1990.
- MARSHALL, E. "Qu'est-ce qu'un agriculteur ? Qu'est-ce qu'une exploitation agricole ? Un essai de réponse dans l'optique de la mise en place d'une formation initiale d'agriculteurs". *Bulletin INRAP* . 27. 1976. pp 45-62.
- MEAILLE, M. *Les besoins de qualification en agriculture*. Document INRAP. Dijon 1988.
- OSTY, P.L. "L'exploitation agricole vue comme un système". *B.T.I.* 326. 1978.
- PETIT, M. *Pour une approche globale de l'exploitation agricole*. Document INRAP. 32. Dijon. 1979.
- PRÉVOST, P. *L'approche systémique et l'enseignement technique agricole : étude de cas, réflexions et propositions*. Mémoire d'études ENSSAA-INRAP. 1992.
- RAISKY, C. *Le problème du sens des savoirs professionnels agricoles, préalable à une didactique*. Communication au symposium du R.E.F.. Université de Sherbrooke. Québec. 1992.
- SEBILLOTTE, M., HENIN, S. "Article agronomie". *Encyclopædia Universalis*. 1975.

VERGNAUD, G. "Qu'est-ce que la didactique ? En quoi peut-elle intéresser la formation des adultes peu qualifiés ?" . *Education Permanente* 111. 1992. pp 19-31.

WALLISER, B. *Systèmes et modèles ; introduction critique à l'analyse des systèmes*. Editions du Seuil. Paris. 1977.



# DES SYSTÈMES INFORMATIQUES ... AUX MONTAGES ÉLECTRIQUES SIMPLES : QUELQUES CONTENUS D'ENSEIGNEMENT POUR L'ÉCOLE ÉLÉMENTAIRE

Michel Vignes

*La prise en charge dans l'action pédagogique des domaines introduits en 1985 dans les programmes de l'école élémentaire française, objets informatiques, montages électroniques, électromécanismes passe par la mise au point de projets d'enseignement, des essais dans les classes et une évaluation de faisabilité. Pour élaborer des contenus d'enseignement, il faut prendre des décisions sur deux plans, la familiarisation pratique avec des objets et des tâches, les connaissances construites et mises en oeuvre au cours des activités. Dans le cadre d'une première initiation scientifique et technologique, les connaissances s'organisent à partir d'un problème concret à résoudre et non en référence à des synthèses disciplinaires. Pour concevoir des contenus d'enseignement il importe d'intégrer la question des capacités des enseignants et d'envisager simultanément les modalités de formation des maîtres.*

## 1. UNE PROBLÉMATIQUE D'ACTION-RECHERCHE

L'itinéraire qui a abouti en 1991 à une thèse en didactique des sciences et de la technologie (Vignes 1991) et que nous tentons de résumer dans cet article est le fruit d'une double implication personnelle, dans un ensemble d'actions pédagogiques innovantes qui débutent en 1986, et dans une lignée plus ancienne de recherches en didactique des sciences et des techniques centrées sur l'école élémentaire.

Sur le plan de l'innovation, la problématique est relativement contrainte par une réalité nouvelle. Les programmes pour l'école élémentaire, parus en 1985 présentent un certain nombre de nouveautés. L'ensemble des enseignements est organisé selon sept grands domaines fondamentaux. L'un d'entre eux, "Sciences et technologie" regroupe des sujets d'étude qui évoquent les différents champs de la biologie, de la géologie, des sciences physiques, de la technologie ou des techniques. Dans ce cadre, des objets radicalement nouveaux font leur apparition.

Les instructions ministérielles se présentent essentiellement sous la forme d'injonctions de nature idéologique, exprimées en termes de finalités. Les élèves doivent très tôt acquérir les rudiments d'une culture scientifique et technique. Les

le domaine  
"sciences et  
technologie"  
dans les  
programmes de  
l'école  
élémentaire

enseignements doivent se tourner vers la modernité afin que les enfants accèdent progressivement à la maîtrise pratique et intellectuelle du monde contemporain.

Sur le versant concret, les mêmes instructions se contentent de lister un ensemble d'objets qui doivent être introduits à l'école. Les choix sont volontaristes mais se situent essentiellement sur le plan de la familiarisation avec des objets et des méthodes. Pour les points des programmes relatifs aux nouvelles technologies, électromécanismes

- montages électroniques -, objets et systèmes informatiques, la situation en 1986 est la suivante :
- aucune référence possible à des pratiques d'enseignement existantes dans ces domaines ;
- aucun écho dans les formations générales et professionnelles antérieures de l'immense majorité des enseignants (et des formateurs!) ;
- peu ou pas d'images stables et consensuelles de contenus à enseigner.

élaborer des  
contenus  
d'enseignement

La question centrale est donc celle de la construction et du choix de contenus d'enseignement pour l'école primaire. Cette question ne peut être abordée indépendamment d'autres préoccupations concernant :

- les conditions pratiques de mise en oeuvre dans les classes ;
- les modalités de formation des enseignants.

L'innovation pédagogique consiste à élaborer un projet d'enseignement et à le mettre à l'épreuve des classes tout en assurant la formation continue des maîtres.

Sur le plan de la recherche, la didactique des sciences expérimentales à l'école élémentaire et au collège a permis de mettre au point un certain nombre d'outils et de modèles que nous avons mis à contribution pour pouvoir penser de nouveaux contenus d'enseignement. Mais les domaines technologiques ont leurs spécificités, leur enseignement pose des questions relatives à l'articulation entre "savoir" et "agir" ainsi qu'aux relations technologies - sciences.

A partir d'un exemple précis de constitution d'un projet d'enseignement, nous avons cherché à spécifier quelques-uns des questionnements de recherche possibles à propos de l'initiation scientifique et technologique à l'école élémentaire et apporter ainsi une contribution modeste à la didactique des disciplines technologiques en train de se constituer.

spécifier les  
questions

L'association entre action pédagogique et recherche en sciences de l'éducation n'est pas nouvelle. Pour la France, des équipes de chercheurs, notamment à l'INRP, ont mis au point des démarches de recherche-action. Le but de la recherche est de produire des connaissances par l'analyse de l'action afin d'assurer une régulation et l'amélioration des pratiques pédagogiques ; "l'action est à la source de la connaissance, la connaissance au service de l'action".

clarifier les  
différentes  
phases du  
processus  
d'élaboration

Dans le type de travail que nous proposons, la relation entre action pédagogique et recherche didactique s'inscrit dans le cadre d'une pensée technique. L'action est un **"produit"**, fruit d'un **"processus"**. La recherche a pour fonction de clarifier les grandes étapes de ce processus. C'est à la fois pour marquer des préoccupations communes et des différences que nous avons proposé le terme d'action-recherche pour caractériser notre travail.

## 2. L'ÉLABORATION DES CONTENUS D'ENSEIGNEMENT

Les contenus d'enseignement à construire doivent respecter la finalité d'ordre culturel des programmes de 1985 et couvrir les nouveaux domaines, électromécanismes, montages électroniques et systèmes informatiques. La première question à résoudre est celle des conditions à satisfaire pour une réelle initiation scientifique et technologique. A l'école élémentaire l'ambition est essentiellement de "sensibiliser et de préparer un terrain chez l'enfant, de le mettre en situation de découverte et d'expérimentation" (Alemanni 1986). D'autre part les réalisations techniques sont toujours complexes. Pour que les enfants en prennent la mesure, "une approche globale qui ne prétend pas résoudre toutes les difficultés" est nécessaire. Les enfants doivent manipuler, construire tout en abordant des problèmes scientifiques et technologiques (Martinand 1986 p.126-127).

une approche  
globale des  
problèmes  
scientifiques et  
techniques

Cette perspective conduit à s'affranchir des disciplines constituées. La question n'est pas de savoir comment introduire l'informatique ou l'électronique à l'école, mais de déterminer quelle prise en charge de ces nouveaux domaines sociotechniques (rôles, objets et connaissances) peut être assurée.

Les décisions à prendre se situent sur deux plans :

- celui des objets que l'on introduit en classe et des tâches des élèves à propos de ces objets ;
- celui des notions ou concepts abordés, mis en jeu au cours des activités.

### 2.1. La familiarisation pratique

Pour notre projet il nous a semblé utile de concevoir des objets d'enseignement qui ne renvoient pas exclusivement à l'un des domaines évoqués par les programmes mais qui les associent dans une même réalité complexe. Un automatisme, considéré selon ses aspects électromécanique, électronique et informatique apparaît alors comme un choix pertinent.

Depuis le plan "Informatique Pour Tous" de 1985, les ordinateurs sont présents dans les écoles. En 1986 la Direction des Écoles diffuse un système d'interfaçage adapté aux

choisir les objets  
à introduire dans  
la classe, définir  
les tâches des  
élèves

matériels Thomson. Afin de préserver une grande diversité de tâches pour les élèves, nous nous sommes fixé deux limites. Une limite financière : le matériel nécessaire à la mise en oeuvre dans les classes doit rester accessible à toute école primaire moyenne dont le budget est réduit. Une limite pédagogique : tous les éléments utilisés doivent être manipulables et étudiables par des élèves de cours moyen dans le cadre strict des programmes. On y trouve des composants électriques et électroniques simples : pile, ampoule, interrupteur, résistor, diode électroluminescente, vibreur, moteur électrique, relais électromécanique. Parmi plusieurs possibles, maquettes de feux de carrefour, de barrière automatique, etc, nous envisagerons ici l'exemple d'un mobile bidimensionnel. C'est un chariot avec deux roues indépendantes chacune entraînée par un motoréducteur. Les déplacements et les changements de direction sont obtenus selon le principe des engins chenillés. Chaque moteur est commandé en marche-avant, marche-arrière et arrêt par un ensemble de deux relais électromécaniques LRT montés en va-et-vient. Les électro-aimants des relais sont activés à partir des sorties de l'interface. Le mobile peut être équipé de voyants lumineux (D.E.L.) et d'avertisseurs sonores (vibreurs) également activés par les sorties de l'interface. Enfin des boutons poussoirs sont utilisés comme détecteurs d'obstacles et envoient des signaux électriques sur les entrées de l'interface. Le mobile est piloté par micro-ordinateur grâce à des programmes écrits en Logo.

Un tel système se prête à des types variés d'activités pour les élèves :

- l'utilisation raisonnée pour lui faire exécuter des trajets divers, à partir du clavier ;
- la programmation, avec l'écriture de l'ensemble des procédures de commande ;
- la construction de la partie mobile, assemblages mécaniques et câblages électriques ;
- l'étude des principes de fonctionnement et des phénomènes mis en jeu.

Ces différents points de vue, loin de s'exclure sont complémentaires. L'enseignement a donc ici pour but d'articuler entre elles des tâches diverses. Les apprentissages s'inscrivent dans le cadre d'un "contrat collectif de réalisation" (Martinand 1986 p. 128-130). Il est essentiellement question de faire vivre aux enfants un ensemble de situations de réalisation d'un système qui doit fonctionner. Au cours de cette initiation globale, des démarches d'investigation trouvent nécessairement leur place, dans le but de mieux maîtriser certains éléments matériels ou conceptuels utiles à la poursuite du but fixé.

Dans la classe, le maître doit gérer et organiser divers moments :

- les temps de compréhension des buts fixés (construction et utilisation d'un système piloté par ordinateur) et de familiarisation avec les matériels ;



- les temps de formulation des problèmes : comment réaliser un montage pour commander un moteur électrique en marche-avant, marche-arrière, arrêt ? Qu'est-ce qu'un relais ? A quoi sert-il ? Quelle séquence d'instructions permet de faire pivoter le chariot ?
- les temps de résolution de ces problèmes : réalisation de montages expérimentaux, étude du comportement de certains composants, essais de programmation avec rectification progressive des erreurs ;
- les temps de la réalisation technique : assemblages, câblages, écriture des programmes.

des tâches de réalisation et d'investigation pour les élèves

Se familiariser avec des objets, se poser des questions à leur propos et chercher à les résoudre, correspond à une recherche de compréhension et de maîtrise des matériels et des phénomènes. On place ainsi les élèves en situation de mener ce que l'on peut appeler une démarche d' "investigation".

A d'autres moments les activités sont totalement orientées vers la production effective d'un objet, dans ses aspects matériels (construction du mobile), et immatériels (écriture du programme de pilotage). On peut alors parler de démarche de "réalisation".

Le but est d'articuler ces deux approches investigation - réalisation de telle sorte qu'elles renvoient l'une à l'autre au sein même des activités des élèves. Les besoins de la réalisation rendent nécessaires la compréhension de certains phénomènes, la maîtrise du fonctionnement de certains éléments. Les connaissances acquises se définissent comme les résultats d'une démarche d'investigation et comme des outils utiles pour mener à bien la réalisation. L'approche de réalisation correspond à une dimension essentielle de la technologie. L'approche d'investigation présente des caractéristiques qui l'apparentent aux activités scientifiques. L'articulation entre ces deux approches doit donc permettre de maintenir un équilibre entre point de vue technologique et point de vue scientifique.

## 2.2. Vers un îlot d'intelligibilité

Sur le plan des élaborations conceptuelles notre souci n'est pas de définir des niveaux de formulation plausibles pour l'école élémentaire de concepts empruntés à telle ou telle synthèse disciplinaire. Nous avons cherché à construire autour du problème concret proposé à la classe, un îlot d'intelligibilité (Fourez 1991) qui organise les concepts rencontrés et utilisés par les élèves au cours de leurs activités.

définir et organiser les notions à partir d'un problème concret

L'organisation rigoureuse d'un tel îlot a notamment pour but de servir de cadre rationnel pour penser les interventions et les guidages assurés par le maître.

A propos d'un automatisme programmable la notion-pivot est celle de commande. Du point de vue scientifique et technique ce concept peut être revendiqué par les domaines de l'électrotechnique, de l'électronique et de l'informatique qui

constituent les différents champs disciplinaires que les experts ont tendance à projeter sur toute étude des automatismes.

La place centrale donnée à cette notion de commande se justifie sur deux plans.

Elle est au cœur de la décomposition de tout automatisme programmable en deux sous-ensembles principaux :

- le mobile proprement dit, dans ses aspects mécanique et électrique : il assure les fonctions de motorisation, il exécute les actions de déplacement ;
- le système de pilotage dans ses aspects électronique et informatique (matériel et logiciel) : il assure des fonctions de traitement des données et de transmission des décisions.

Elle représente un noeud dans l'articulation entre les différentes activités de réalisation des élèves :

au centre du  
réseau  
conceptuel, la  
notion de  
commande

- construction du mobile, notamment dans ses aspects électriques ;
- analyse des effets à obtenir, parcours à réaliser, détections d'obstacles, réactions à prévoir ...
- conception des programmes de pilotage.

Ceci nous a conduit à caractériser la notion de commande selon différents points de vue et à analyser quelques-uns des concepts technologiques ou scientifiques que les élèves sont amenés à faire fonctionner. Le critère qui guide cette analyse est celui de la pertinence des notions envisagées en regard des problèmes concrets que les élèves ont à résoudre.

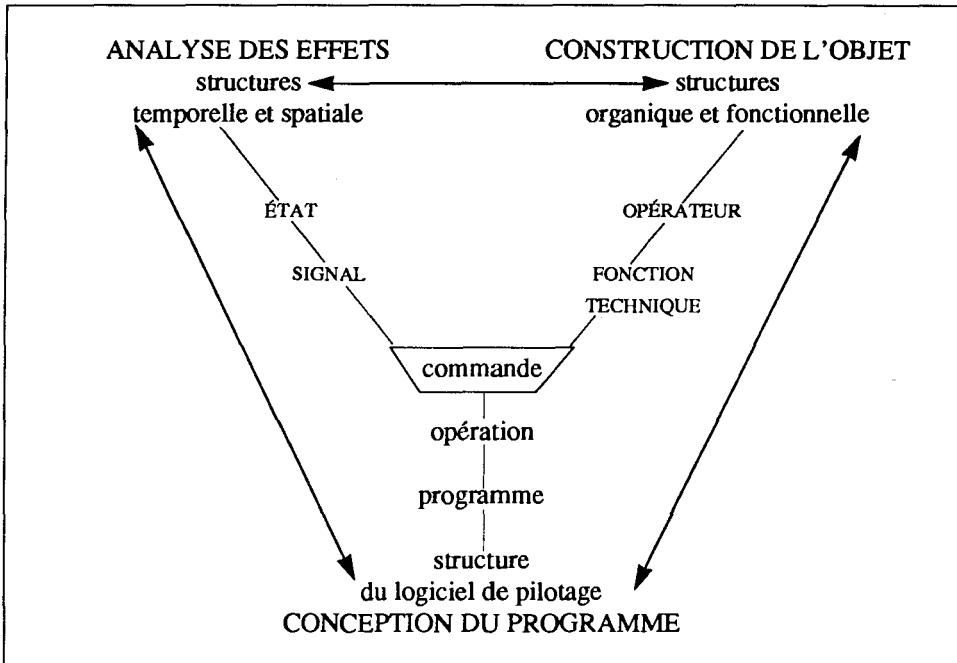
Concernant l'élaboration d'un "logiciel de pilotage" les notions d'opération et de programme sont à caractériser. Au cours de la construction et des premiers essais, les élèves sont amenés à dissocier les éléments constitutifs du système des rôles qu'ils assurent. C'est la différenciation entre organes et fonctions techniques qui est en jeu. Pour décrire les effets à obtenir, une première caractérisation élémentaire des notions de signal et d'état nous semble utile. Enfin les élèves sont amenés à réaliser des montages électriques et électroniques. Il faut envisager un cadre conceptuel nouveau pour analyser ces montages dès lors que le référent est nettement élargi par rapport au traditionnel pile-ampoule.

Le document 1 résume la structure du réseau conceptuel minimal.

### **3. DES NOTIONS PERTINENTES EN REGARD DES TÂCHES À ASSURER**

Il importe de préciser que dans la suite nous évoquons essentiellement ce que l'on peut appeler des "notions en actes" (Vergnaud 1981). Leur validité reste locale, elles ne sont ni définitivement construites ou acquises, ni nécessairement formulées de manière claire par les élèves. C'est

pourtant dans leur "mise en actes" qu'il faut s'attendre à détecter les difficultés des élèves. Difficultés qu'il faut surmonter pour aboutir à la réalisation finale. Ceci nous amène dans la présentation à ne pas dissocier ce que les élèves ont réellement à faire de l'émergence des notions.



Document 1  
Réseau conceptuel minimal

### 3.1. Construction de l'objet : notions d'opérateur et de fonction technique

Au cours de la construction du mobile les élèves sont conduits à s'interroger sur les mises en relation entre les divers éléments du système, liaisons mécaniques et liaisons électriques. Les premiers essais en commande manuelle les obligent à déterminer les fonctions de ces divers éléments et les modes de combinaisons possibles.

Nous avons choisi la structure du mobile de telle sorte qu'un ensemble d'opérateurs techniques assure un ensemble de fonctions, sans correspondance terme à terme, un organe - une fonction. Pour obtenir les différents modes de déplacement du mobile les élèves sont obligés de gérer simultanément les états des deux moteurs indépendants. Les moteurs ont trois états possibles, marche-avant, marche-arrière et arrêt, ce qui donne pour le mobile les neuf combinaisons différentes du document 2.

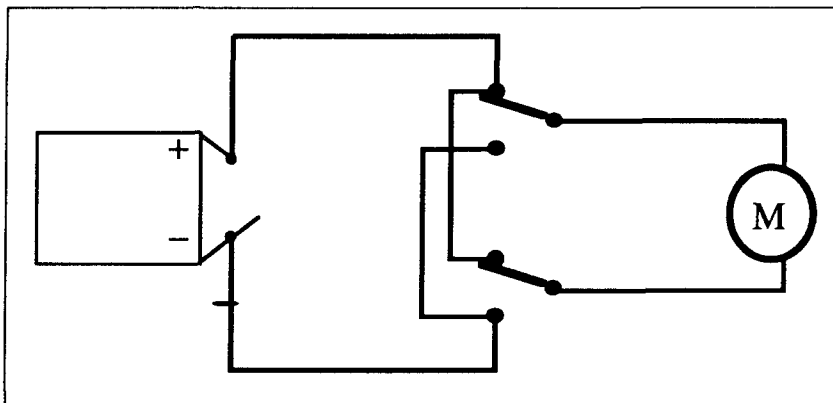
dissocier les opérateurs techniques des fonctions qu'ils assurent

		MOTEUR DROIT		
		AV	AR	ST
M O T E U R  G A U C H E	AV	roule av	pivote dr	tourne av-dr
	AR	pivote ga	roule ar	tourne ar-dr
	ST	tourne av-ga	tourne ar-ga	arrêt

*Légende : AV = marche-avant, AR = marche-arrière, ST = arrêt*

### Document 2 Différents modes de déplacement

Pour la commande d'un moteur, nous avons choisi un montage de type va-et-vient utilisant deux relais 1RT qui impose de gérer simultanément les états des deux relais pour obtenir un état déterminé du moteur. Dans le document 3 nous n'avons représenté que la partie inverseur des relais.



### Document 3 Câblage d'un moteur et de deux inverseurs

Les différentes combinaisons possibles sont fournies par le tableau du document 4.

RELAIS-0	RELAIS-1	MOTEUR-GAUCHE
0	0	ARRÊT
1	0	ROTATION-AVANT
0	1	ROTATION-ARRIÈRE
1	1	ARRÊT

**Document 4**  
Commande d'un moteur par deux relais

### 3.2. Analyse des effets : notion de signal et d'état

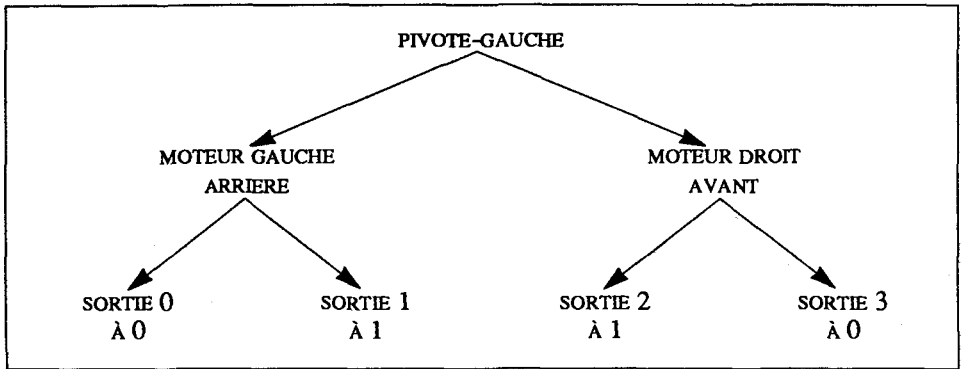
Pour obtenir un ensemble d'effets déterminés les élèves ont à gérer des successions de commandes. La question est alors de déterminer comment se caractérise la notion de commande de ce point de vue et ce que les élèves ont réellement à mettre en oeuvre.

Dans un montage électrique simple, un récepteur, par exemple un moteur, est actif ou inactif par action sur les inverseurs. La commande se présente alors comme une action déclenchant un changement d'état du système. Dans le temps, la commande est instantanée alors que l'état est permanent. Dans l'espace la commande est en général délocalisée par rapport à l'effet dont le récepteur est le siège. Il y a transmission instantanée d'un point à un autre de ce que l'on peut appeler un signal. Le signal est conçu comme un changement, une transition transmise, ici transition d'un niveau de tension à un autre. Sa transmission est la condition du changement d'état.

la transmission  
d'un signal  
comme  
condition d'un  
changement  
d'état

### 3.3. Logiciel de pilotage : notions d'opération et de programme

Pour le pilotage, la classe dispose de deux types de logiciels en Logo. L'un, indispensable, propose des instructions élémentaires qui permettent de commuter chaque sortie indépendamment des autres, de repérer l'état de chaque entrée et de gérer la temporisation entre deux actions consécutives. L'autre propose un ensemble de procédures évoluées de commande adaptées au mobile et organisées selon ses structures fonctionnelle et organique. Parmi les différents niveaux de procédures, le maître choisit celles qu'il fournit aux élèves et celles qu'ils ont à concevoir. Elles agissent aux divers niveaux de la structure (voir document 5).



### Document 5 Structure de programmation

Un programme de pilotage est une séquence d'opérations. Les notions de mémorisation des instructions tapées au clavier et de temporisation dans la succession des différentes commandes doivent être dégagées pour penser cette séquence. L'exécution du programme apparaît comme l'émission de signaux qui déterminent les changements d'état de la partie opérative du système, c'est-à-dire du mobile et donc de ses moteurs.

### 3.4. Montages électriques et premières interprétations

Les problèmes de l'enseignement de l'électricité ont donné lieu à de nombreux travaux en didactique des sciences. J.L. Closset montre comment l'expression "courant électrique" peut être source de malentendu entre enseignants et élèves (Closset 1983). A. Thiberghien dans une revue de différents travaux français et étrangers met l'accent sur les obstacles que provoque une introduction prématurée de la notion de courant. Elle montre d'autre part que les conceptions des élèves s'expriment en terme de circulation linéaire de ce que l'on peut nommer "énergie électrique", de la pile vers l'ampoule (Thiberghien 1983).

Pour envisager une première structure conceptuelle pertinente en regard des montages électriques et électroniques que les élèves ont à réaliser nous avons été amené à évacuer la notion pourtant chère aux physiciens de courant électrique, caractérisé même implicitement par son intensité. De manière similaire nous avons évité d'utiliser la notion d'information chère aux informaticiens mais qui reste à l'école élémentaire trop vague et d'interprétation trop substantialiste. Nous lui avons préféré les notions d'état stable et de transmission du signal qui conduisent à des interprétations en termes de niveaux de tension, physiquement plus

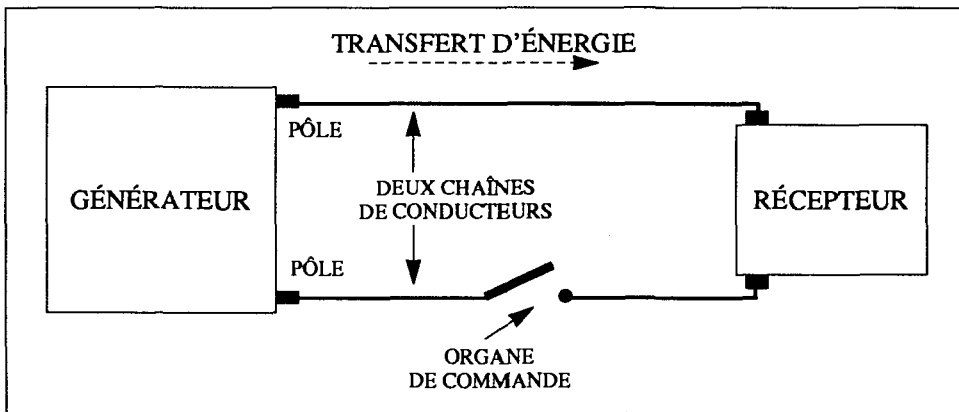
adaptées et plus opératoires pour les problèmes que les élèves rencontrent.

Dans un premier temps, une analyse fonctionnelle met en avant les problèmes de transfert et de transformation d'énergie. Les montages sont décrits selon une structure linéaire et non en boucle fermée (voir document 6).

- Une source produit ou stocke "quelque chose" qui est ensuite fourni dans le montage.
- Un récepteur consomme et transforme ce que la source lui fournit.
- Source et récepteur sont reliés par un ensemble de deux chaînes de conducteurs.

Il y a transfert de ce "quelque chose" que l'on peut nommer énergie électrique, de la source vers le récepteur. Cette représentation exprime la nécessité opératoire de deux connexions. Elle n'implique pas le concept de circuit en boucle.

les montages  
électriques,  
premières  
lectures en  
termes de  
fonction et de  
distribution



### Document 6

#### Description d'un montage électrique

une source ou générateur, un convertisseur ou récepteur  
deux chaînes de conducteurs, un organe de commande.

Dans un deuxième temps, un travail de modélisation, basé sur une approche des niveaux de tension permet une première interprétation du fonctionnement des objets électriques. L'étude de montages mettant en oeuvre des associations série et parallèle de piles, pour lesquels on compare les effets obtenus sur une ampoule permet de déterminer empiriquement la règle d'addition des tensions. La comparaison de montages présentant les associations série et parallèle de deux ou trois ampoules permet de mettre en évidence l'importance de la tension appliquée aux bornes d'un récepteur ainsi qu'une première approche qualitative de la règle de répartition des tensions dans un montage série. La mise en oeuvre de composants à fonctionnement asymétrique tels

un travail de  
modélisation vers  
la notion de  
niveaux de  
tension

que diode électroluminescente, vibreur, moteur permet de préciser la différenciation entre les deux pôles d'une pile.

La tension est alors décrite comme une différence entre deux niveaux : un niveau haut (pôle +) et un niveau bas (pôle -). Dans le cadre de cette description, la formulation suivante est accessible : "Pour être actif un récepteur doit être "pris" entre un niveau haut et un niveau bas de tension. Chaque connexion assurée par une chaîne de conducteurs a pour fonction de transmettre un niveau de tension fourni par le générateur."

Ce modèle est cohérent avec la commande décrite en termes de signal et d'état. La commande consiste à transmettre ou non un niveau de tension. Le signal émis correspond à une transition entre deux niveaux de tension, comme changement de niveau ; ce signal est instantanément transmis à l'autre bout de la chaîne de conducteurs.

Pour la réalisation des montages électriques de la partie effectrice de l'automatisme, aucun document de type fiche technique n'est fourni aux élèves. Le maître doit donc mettre en place des détours sous la forme d'activités d'investigation à partir de problèmes du type : "comment câbler un moteur électrique pour pouvoir le commander en marche-avant, marche-arrière et arrêt ?"

Pour ces activités la classe dispose d'un ensemble de fiches d'investigation. Elles se présentent sous la forme de protocoles proposant la réalisation et l'étude de montages expérimentaux mettant en oeuvre divers objets électriques ou électroniques (pile, ampoule, moteur, relais électromécanique, diode, DEL, résistance, vibreur).

La tâche des élèves consiste à lire des dessins, des schémas de montages et à les réaliser. Pour aller plus loin que le simple "ça marche !" des protocoles écrits guident les essais et les observations. Quelques questions tentent de faire dégager aux élèves des règles opératoires ou un début d'interprétation. Des moments de synthèse doivent permettre à l'enseignant de fixer au cours d'un débat dans la classe les quelques règles que l'on peut réinvestir dans la réalisation de l'automatisme.

#### **4. L'ÉPREUVE DU TERRAIN : PREMIERS ESSAIS**

L'étude des conditions de mise en oeuvre s'est déroulée au cours d'essais dans onze classes de CM1 et CM2. L'objectif était de tester la faisabilité du projet d'enseignement. Pour que cette étude ait un sens il a fallu définir des règles régissant les essais en classe et choisir des critères de faisabilité à repérer.



#### 4.1. Quelques règles

Les essais se déroulent dans des classes banales, sans intervention directe de notre part auprès des élèves, et avec des maîtres placés en situation d'innovation personnelle dans le cadre de l'application des programmes. Nous avons cherché à éviter que le processus d'évaluation de l'expérimentation n'interfère avec les conditions habituelles d'enseignement dans les onze classes qui nous ont servi d'échantillon.

le maître dispose  
d'outils  
didactiques,

Pour être en situation de piloter personnellement le projet dans leur classe, les enseignants doivent disposer de tous les éléments nécessaires, matériels et documentaires. Un ensemble d'aides didactiques leur est ainsi fourni.

- Un document complet, "**chariot : construction et pilotage**" présentant l'ensemble des données techniques et scientifiques mises en jeu dans le projet de réalisation d'un mobile piloté par ordinateur. Il permet de définir les termes du "contrat de réalisation" à passer avec les élèves et le projet technique qui est à la base de ce contrat.
- Des "**fiches d'assemblage**" pour la construction mécanique du mobile, avec la liste du matériel et divers plans d'ensemble de l'objet.
- Les "**logiciels de pilotage**" en Logo déjà évoqués.
- Les "**fiches d'investigation**" concernant les montages expérimentaux.

Cet ensemble est modulaire. Le projet n'est donc pas fourni "clefs en main". Un certain nombre de choix relève de la seule responsabilité de l'enseignant dans sa classe. Pour cela il dispose des éléments lui permettant de prendre des décisions quant aux aspects qu'il choisit d'approfondir avec les élèves et quant aux modalités d'articulation entre les diverses activités, tout en restant dans le cadre du projet global de réalisation. Il peut amener les élèves à élaborer l'ensemble des procédures de commande du mobile ou bien leur fournir les procédures évoluées qui déclenchent les divers modes de déplacement. Il peut limiter les utilisations possibles à l'automatisation simple où le mobile exécute des trajets déterminés ou bien introduire un détecteur d'obstacle qui implique l'utilisation des notions de test et de structure conditionnelle dans les programmes. Pour l'utilisation des fiches d'investigation, le maître peut privilégier les activités de modélisation à propos des montages électriques ou bien limiter les recherches des élèves au strict nécessaire pour la réalisation pratique des câblages du mobile. C'est à travers ces choix que sont déterminés la durée de l'ensemble du projet, les objectifs que l'on peut atteindre et les difficultés que les élèves ont à surmonter.

il est responsable  
des choix  
pédagogiques

les modes  
d'appropriation  
du projet par les  
maîtres sont très  
variés

## 4.2. Des critères de faisabilité

Pour valider la pertinence de nouveaux contenus d'enseignement, il faut d'une part s'assurer qu'ils sont enseignables c'est-à-dire que la majorité des enseignants sont en mesure de les prendre en charge et d'autre part définir les acquisitions que l'on est en droit d'espérer pour les élèves.

Dans les conditions de temps et de moyens de cette recherche, il n'était pas envisageable de mener une évaluation exhaustive du projet d'enseignement, nous nous sommes donc orienté vers la seule étude de faisabilité au détriment d'une étude d'impact auprès des élèves.

Deux aspects ont retenu notre attention. Du côté des élèves nous nous sommes attaché à vérifier que toutes les activités aboutissent matériellement tant sur le plan des expérimentations que sur celui de la réalisation technique. Ceci revient à s'assurer que les tâches prévues pour les élèves sont raisonnables en regard de leurs capacités. Du côté des enseignants nous avons cherché à déterminer comment ils s'approprient le projet d'enseignement en l'adaptant. Pour cela nous avons surtout analysé les différents modes de séquentialisation des activités mis en place par les maîtres. En effet, très vite il est apparu que les modalités de séquentialisation des activités peuvent être très variables d'un enseignant et d'une classe à l'autre. Elles oscillent entre deux pôles :

- une démarche de type synthétique qui consiste à faire au préalable un certain nombre d'expérimentations sur les objets et phénomènes, en allant de problèmes simples vers des problèmes plus complexes, pour aboutir à la réalisation technique du mobile ;
- une démarche de type analytique qui part du mobile pris dans sa globalité et tente de décomposer petit à petit les problèmes complexes que pose sa réalisation en problèmes de plus en plus simples, pour aboutir à une meilleure compréhension des principes mis en jeu et une meilleure maîtrise du système dans toutes ses dimensions.

## 4.3. Quelques résultats

Les données sur lesquelles nous nous appuyons proviennent de questionnaires écrits proposés aux maîtres-novateurs, de journaux de bord remplis après chaque séance par quatre d'entre eux et des productions écrites et matérielles des élèves.

Dans toutes les classes où le projet a été testé, la réalisation et le pilotage de l'objet ont été menés à leur terme et tous les élèves ont eu l'occasion de participer à l'ensemble des activités. Le croisement de différentes réponses aux questionnaires permet d'affirmer que dans tous les cas il s'agit d'une production matérielle effective des élèves, les enseignants n'intervenant que sur le plan de l'organisation du travail.

L'existence de ces productions atteste que le contrat initial de réalisation est rempli dans des conditions très satisfaisantes. L'une des finalités du projet d'enseignement, faire vivre une démarche de réalisation aux élèves, est manifestement atteinte.

les élèves  
mènent jusqu'à  
son terme la  
réalisation d'un  
automatisme

La phase de réalisation des câblages électriques et des premiers essais a présenté un certain nombre de difficultés et nécessité plusieurs séances de travail. Une fois cette étape franchie, la programmation et la compréhension de la structure des procédures de pilotage n'ont présenté que très peu de difficultés pour les élèves. Il semble bien que les difficultés résident dans les structures organique et fonctionnelle du système ; une fois celles-ci maîtrisées l'élaboration d'un programme de pilotage ne pose pas de problème particulier. La réussite des élèves est donc un indice de la compréhension de ces structures.

En ce qui concerne les fiches d'investigation, chacune d'entre elles a été utilisée au moins une fois dans une classe. Les maîtres ont repéré certaines difficultés pour les élèves mais jamais insurmontables. Au début les difficultés sont liées à la lecture des fiches. Elles sont de deux ordres, difficultés de compréhension du vocabulaire scientifique et technique, difficultés à appréhender la structure logique des protocoles écrits et à les mettre en oeuvre pas à pas. Très vite les enseignants notent dans leurs journaux de bord des progrès sensibles sur le plan de l'autonomie, de l'efficacité et de la rapidité de mise en oeuvre des fiches. Pour les élèves les difficultés ne résident plus dans la réalisation des montages mais dans l'interprétation des phénomènes constatés et dans la formulation de quelques règles de fonctionnement.

certaines  
conditions  
matérielles de  
mise en oeuvre  
doivent être  
réunies

Au bout de onze premiers essais dans des classes, on peut conclure à une bonne adéquation entre les tâches proposées aux élèves et leurs capacités. Toutefois certaines conditions matérielles de mise en oeuvre doivent être respectées. Le projet a toujours été mis en oeuvre avec des groupes classes peu chargés, 24 élèves maximum en classe entière ou bien 15 à 16 élèves en dédoublant les classes. Les maîtres ont insisté sur la nécessité que leur soit fourni l'ensemble du matériel et des documents et le fait qu'ils puissent à tout moment obtenir aide ou conseil technique auprès d'un formateur ou d'un conseiller pédagogique.

Le deuxième point sur lequel a porté l'évaluation concerne la cohérence d'ensemble du projet d'enseignement. Nos propositions visent un équilibre dans les activités de classe entre les points de vue technologique et scientifique. Nous avons donc cherché à évaluer dans quelle mesure cet équilibre est réellement atteint en étudiant l'articulation entre les approches de réalisation et les approches d'investigation. Dans l'ensemble des onze classes, le projet a duré en moyenne une quinzaine d'heures, avec des fluctuations de deux à trois heures. Dans les quatre classes pour lesquelles

nous avons dépouillé la totalité des journaux de bord, les durées sont les suivantes :

classe (1) 15 heures, classe (2) 17 heures, classe (3) 14 heures, classe (4) 12 heures.

L'analyse des activités de classe nous a conduit à répartir a posteriori les séances en quatre catégories disjointes :

- (A) séances de familiarisation avec l'idée du projet technique, avec les matériels et documents ;
- (B) séances d'expérimentation à propos des montages électroniques, des électromécanismes, de la programmation ;
- (C) séances de construction, assemblage de la maquette, câblages électriques ;
- (D) séances d'automatisation, liaison avec le micro-ordinateur, écriture des programmes de pilotage.

Les deux premières catégories (familiarisation et expérimentation) correspondent à une approche d'investigation, les deux dernières (construction et automatisation) à une approche de réalisation.

Pour les quatre classes nous avons relevé les temps consacrés à chaque catégorie d'activités. Nous reproduisons dans le document 7 les temps relatifs, exprimés en pourcentage de la durée totale du projet.

Activités	Classe (1)	Classe (2)	Classe (3)	Classe (4)
Fam (A)	15%	17%	14%	25%
Exp (B)	45%	38%	22%	14%
Const (C)	23%	18%	36%	39%
Auto (D)	17%	27%	28%	22%
	60%	55%	36%	39%
	40%	45%	64%	61%

#### Document 7

##### Répartition des activités selon les classes

Les importances relatives des démarches d'investigation et de réalisation oscillent entre 40 % et 60 %. Les deux aspects restent toujours présents et l'on peut considérer, en première analyse, que la cohérence d'ensemble du projet est dans tous les cas préservée. Toutefois, les disparités constatées d'une classe à l'autre dans les répartitions horaires ne sont pas uniquement conjoncturelles. Elles sont le signe des choix pédagogiques d'enseignants qui se sont appropriés l'ensemble du projet en l'adaptant.

Pour ces essais en classe, nous avons pris le parti de fournir aux enseignants l'ensemble des aides didactiques nécessaires, matériels, documents et logiciels ; d'animer un

groupe de "formation-expérimentation" avec des réunions mensuelles ; mais de ne jamais intervenir directement dans les classes ou dans les choix d'organisation des séances. Cette volonté de laisser la plus grande liberté possible aux enseignants dans l'organisation de la classe et dans l'exploitation du projet avait pour but de tester nos propositions dans les conditions les plus banales possibles de pratique de classe. Cette position a de toute évidence favorisé l'émergence des disparités entre les classes.

le maître a toute liberté pour gérer sa classe et exploiter le projet

Les différentes répartitions horaires recouvrent des différences plus profondes dans l'articulation entre les moments de réalisation et les moments d'investigation. Deux tendances apparaissent assez nettement.

Dans la classe (1) l'enseignant a mis en place systématiquement un ensemble d'activités d'investigation préalables portant sur le fonctionnement des composants électriques et les notions utiles pour mener à bien le projet technique. Les activités de réalisation proprement dites ne commencent qu'à la treizième séance. La démarche est essentiellement synthétique, avec une longue phase de construction progressive des connaissances suivie d'un réinvestissement des acquis.

Dans la classe (3) la première séance est d'emblée consacrée à une discussion où le contrat de réalisation est clairement présenté par le maître. Par la suite les séances de construction et d'essais du mobile alternent avec des séances d'investigation sur les montages électriques. Seules les trois dernières séances sont consacrées à la programmation. Ici c'est le projet de réalisation technique qui guide l'ensemble des activités. Les problèmes soulevés par la construction justifient les détours par des activités d'investigation qui ont alors but essentiel de fournir des solutions. La démarche est de type analytique.

des approches pédagogiques très diversifiées...

Les propositions d'enseignement de ce projet, qui se matérialisent dans les aides didactiques fournies aux maîtres sont essentiellement modulaires. Les activités de classe dépendent en grande partie des éléments matériels et conceptuels que l'on donne aux élèves ou bien que l'on construit avec eux. Ces choix déterminent pour beaucoup les situations pédagogiques et les tâches des élèves, ils relèvent de la seule responsabilité du maître qui est seul à pouvoir prendre concrètement des décisions dans sa classe. D'autre part il n'existe pas d'ordre chronologique à respecter a priori. On peut, soit chercher à résoudre l'ensemble des problèmes soulevés par la mise en oeuvre de composants électriques, électromécaniques et électroniques avant d'entamer la réalisation technique, soit commencer par la construction mécanique du mobile puis résoudre les problèmes de câblages au fur et à mesure des nécessités.

... mais l'articulation réalisation-investigation est maintenue

La souplesse des propositions d'enseignement, qui permet divers modes de traitement et d'approche est garante de l'adaptabilité du projet aux classes et surtout aux enseignants.

## 5. LA FORMATION DES MAÎTRES

Avec les montages électroniques, les matériels et les techniques informatiques c'est à un ensemble totalement nouveau d'objets, de pratiques et de notions que se trouvent confrontés les maîtres de cours moyen. Pour la grande majorité d'entre eux, cet ensemble ne rencontre aucun écho dans leurs formations antérieures, générales ou professionnelles. Cet état de fait a créé chez les enseignants concernés un malaise certain, parfois accompagné d'un phénomène de rejet de cette partie des programmes. La formation doit donc en premier lieu dédramatiser la situation.

### 5.1. Les buts de la formation

En primaire les enseignants sont généralistes, ils ne peuvent se spécialiser réellement dans des domaines pointus de la technologie et de l'informatique. Les autres domaines d'enseignement évoluent, se rénovent et nécessitent eux aussi des actions de formation. Ceci nous a conduit à concevoir des actions de formation continuée de courte durée, de l'ordre de trois semaines. Ces actions de formation ont pour but clairement énoncé, de déboucher sur la mise en oeuvre par les formés, dès leur retour dans les classes, d'activités avec les élèves dans les domaines des montages électroniques, électromécanismes et automatismes, en application des nouveaux programmes de sciences et technologie. Donc une formation professionnelle immédiatement réinvestissable sur le plan des pratiques de classe. Ceci suppose qu'un certain nombre de buts ont été atteints en cours de formation.

une formation  
professionnelle  
immédiatement  
réinvestissable

#### • *Maîtrise du matériel*

Les instituteurs doivent être capables d'assurer la gestion et la maintenance de l'ensemble des matériels et systèmes techniques qui forment l'ossature des nouveaux programmes

- composants électroniques ;
- électromécanismes, motoréducteurs, relais ;
- ordinateurs, systèmes d'interfaçage, logiciels.

C'est-à-dire :

- savoir quels matériels se procurer, où et comment se les procurer (composants divers) ;
- connaître les modes d'utilisation pratique de ces matériels (systèmes informatiques) ;
- pouvoir mettre en oeuvre quelques procédures de détection de pannes afin de localiser les dysfonctionnements et d'y remédier dans les cas simples (faux contacts électriques, "bugs" dans les programmes de pilotage, etc).

• **Maitrise des contenus**

Les instituteurs doivent acquérir l'ensemble des notions et concepts abordables au niveau d'enseignement des classes de cours moyen :

- concepts techniques de fonctions, opérateurs, programmes, etc ;
- distinction signal - état ;
- distinction transfert d'énergie, transmission de signaux ;
- modélisation en termes de niveaux de tension pour les montages électriques et électroniques.

• **Maitrise de la classe**

Les instituteurs doivent être en mesure de faire des choix argumentés à propos des démarches pédagogiques à mettre en oeuvre pour mener à bien un projet d'enseignement.

Organisation de la classe :

- travail en groupe ou individuel ;
- répartition des tâches ;
- rotation des élèves sur les différentes activités.

Organisation des activités :

- gérer l'articulation réalisation-investigation.

Modalités de guidage des élèves :

- travail autonome de chaque groupe ou consignes communes pour toute la classe ;
- aides individualisées ou apports d'informations systématiques, etc.

## 5.2. Méthode pour une formation professionnelle

Nous avons cherché à concevoir des formations qui privilégient systématiquement les savoirs et savoir-faire professionnels immédiatement réinvestissables, au détriment d'une formation plus académique et théorique, transposition vers les maîtres du primaire de disciplines universitaires, technologiques ou scientifiques.

Les actions de formation consistent en une présentation des objets, systèmes techniques et aides didactiques constitutifs du projet d'enseignement. Cette présentation est menée dans le cadre d'activités que nous qualifions d'**exploration-appropriation**. Cette exploration systématique des matériels et des aides didactiques s'inscrit initialement dans des activités pratiques et manipulatoires, elle doit ensuite déboucher sur un ensemble d'élaborations conceptuelles et sur la maîtrise des contenus d'enseignement. Dans ces domaines où la majorité des enseignants ne disposent d'aucune connaissance spécialisée préalable, et n'ont pas reçu d'enseignements qu'ils pourraient être tentés d'utiliser comme modèles, il existe un certain isomorphisme entre les situations de formation pour les maîtres et les situations d'apprentissage pour les élèves. Les maîtres doivent résoudre pour eux-mêmes les mêmes types de problèmes que ceux qu'ils auront ensuite à gérer dans leur classe.

les situations de formation pour les maîtres...

sont proches des situations d'apprentissage pour les élèves

Les aides didactiques liées au projet d'enseignement se présentent soit comme des outils pour l'élève afin de le guider dans les activités d'investigation et de construction, soit comme des outils pour le maître isolé dans sa classe afin de servir de cadre pour la gestion des activités de classe. Au cours des stages, l'ensemble de ces aides est utilisé comme dispositif de formation permettant d'acquérir les connaissances et compétences nécessaires à la pratique de classe. Il est indispensable que les enseignants parcourent l'ensemble des fiches d'investigation, et mènent à son terme une réalisation personnelle depuis la construction jusqu'au pilotage. C'est uniquement sur la base de cette pratique personnelle que l'on peut tenter avec les instituteurs, l'analyse de toutes les difficultés de construction et de compréhension que les élèves ont à surmonter.

Du point de vue des élaborations conceptuelles, il ne s'agit pas de les envisager pour les enseignants à un niveau radicalement différent de celui accessible aux élèves. La différence essentielle réside dans le fait que pour les maîtres ces élaborations doivent être systématiques. Ils doivent maîtriser l'ensemble du réseau conceptuel, ce qui n'est pas obligatoirement le cas pour les élèves. A titre d'exemple, l'étude de la plaque à relais permettant le pilotage du chariot peut se limiter dans les classes à une description organique, à la définition de sa fonction globale de commande et à l'énonciation d'un mode d'utilisation qui prend la forme d'un "discours d'action". Les enseignants quant à eux, ont à analyser le principe du montage à deux inverseurs et ses effets sur les doubles liaisons entre moteur et générateur, ainsi que la fonction du circuit de commande des relais, avec les bobines d'électro-aimant.

Cette exploration systématique des contenus passe également par l'analyse pour chaque situation, des différents niveaux de lecture et de formulation possibles :

- simple description correspondant à une structuration des éléments permettant la manipulation ;
- analyse en termes de fonctions techniques et de combinaisons de ces fonctions ;
- début d'interprétation et recherche de relations causales.

Enfin ces explorations doivent déboucher sur une réelle appropriation par l'enseignant des objets et systèmes techniques, par l'acquisition d'une maîtrise pratique suffisante de ces systèmes. Elles doivent également aboutir à l'appropriation du projet d'enseignement lui-même, à travers l'ensemble des aides didactiques. Cette appropriation passe par des transformations, des reformulations, par l'élaboration pour chacun, de modalités personnelles d'utilisation des différentes aides didactiques fournies.

Cette nécessaire adaptation est rendue possible par la structure modulable de l'ensemble des activités du projet, structure qui s'inscrit dans la modularité des aides proposées. La souplesse ainsi créée doit permettre à chaque enseignant d'intégrer les aspects novateurs des contenus et



des méthodes d'enseignement du projet dans ses propres "habitudes" pédagogiques.

### 5.3. Limites et évolutions possibles

La première limite des actions que nous proposons réside dans le manque d'une formation théorique solide, d'un niveau nettement différent pour les maîtres, de celui souhaitable pour les élèves. Une deuxième limite, plus importante, réside dans le fait que nous apportons aux enseignants un projet et un ensemble d'aides didactiques totalement préfabriqués. Les actions de formation visent à permettre à chacun de concevoir les transformations appropriatives qui lui seront nécessaires, mais celles-ci restent inévitablement limitées. Ces actions ne permettent pas de faire acquérir aux enseignants les capacités à créer de nouvelles aides didactiques pour d'autres réalisations techniques dans la classe. Au bout de deux ans nous avons conçu un stage de formation dit de "deuxième niveau". Cette action s'adresse à des enseignants ayant déjà suivi une formation sur les projets "automatismes et informatique" et ayant une pratique de classe dans ces domaines. L'objet de ce stage est d'amener les formés à concevoir de nouveaux projets techniques pour la classe et à mettre au point l'ensemble des aides didactiques nécessaires, en s'inspirant éventuellement des projets déjà existants. Mais même en envisageant de reproduire ce type de stage, on ne peut espérer toucher qu'une frange réduite des maîtres de cours moyen. Se pose alors le problème de l'adaptation des documents et de leur diffusion vers les autres classes.

amener les  
formés à  
concevoir de  
nouveaux projets

### 5.4. L'insertion dans l'institution

#### • *Le problème du matériel*

Pour les non-spécialistes, se débattre dans la jungle des nomenclatures, références et caractéristiques des composants électroniques et électromécaniques tient de l'exploit. Il est indispensable de pouvoir fournir aux maîtres des lots de composants adaptés à leurs besoins. Ces lots doivent répondre à plusieurs nécessités :

- correspondre aux choix de contenus d'enseignement ;
- permettre d'organiser pour la classe entière des manipulations par petits groupes de deux à quatre élèves ;
- rester financièrement accessibles aux écoles primaires.

#### • *Un besoin d'animation et de soutien*

Dans le cadre de notre projet d'enseignement, la mise en oeuvre de tout un ensemble technique, y compris les logiciels de pilotage, crée chez les enseignants qui n'en n'ont qu'une maîtrise partielle un fort sentiment d'insécurité : toute difficulté rencontrée dans le fonctionnement des systèmes techniques risque de faire "capoter" définitivement

l'ensemble des activités de classe. Il est donc important dans ce domaine de rompre l'isolement de l'enseignant dans sa classe et de lui offrir la possibilité d'obtenir rapidement conseils et aides techniques en cas de difficultés. Ce problème n'est pas très éloigné de ceux qui se posent dans le cadre de l'informatisation des entreprises (formation du personnel, appel à des sociétés de conseils et de maintenance).

• **Le rôle des structures locales**

les structures locales de l'institution ont un rôle d'animation à jouer

Il nous semble que seules les inspections départementales, en liaison avec les centres de formation ont un contact suffisant avec le terrain pour pouvoir organiser les actions de diffusion et d'animation. Il s'agit :

- de centraliser les achats de matériels électroniques et électromécaniques, puis d'en assurer la diffusion voire la circulation entre les écoles ;
- d'organiser par le biais d'animateurs un système de conseils et d'aides techniques auprès des instituteurs ;
- de mettre en place et d'animer des structures d'échanges entre les enseignants, en essayant de favoriser, à partir d'expériences déjà réalisées, un phénomène de "tache d'huile".

Il semble que les personnes les mieux à même de remplir ces rôles d'animation, de diffusion, d'aides techniques et pédagogiques, seraient des instituteurs, maîtres formateurs ou non, mais en partie déchargés de classe ou des conseillers pédagogiques ayant eux-mêmes participé à l'élaboration et à la mise au point des aides didactiques utiles pour les projets d'enseignement.

## 6. EN GUISE DE CONCLUSION...

Dans le cadre d'une initiation scientifique et technologique, notre travail débouche sur des propositions de reconstruction de la matière à enseigner qui évite de se limiter à un seul type de questionnement.

Le domaine des "objets électriques" se trouve totalement modifié dès lors que l'on introduit des systèmes informatiques et des montages électroniques dans le champ de familiarisation proposé aux élèves. L'analyse de ce nouveau champ empirique nous a conduit à construire un "îlot d'intelligibilité" pour lequel nous avons choisi d'évacuer la notion de courant électrique au profit de celle de tension et d'introduire les concepts d'état et de signal.

Cette reconstruction passe par la volonté d'articuler entre elles des tâches diverses : utilisation, réalisation, investigation, ceci afin de trouver un équilibre entre point de vue scientifique et point de vue technologique et de formuler des "savoirs pour l'élève", fonctionnels pour les problèmes à résoudre.

Il faut penser conjointement l'élaboration des contenus d'enseignement et la formation des maîtres

Un autre point concerne la nécessité de penser la formation des maîtres conjointement à l'élaboration de nouveaux contenus d'enseignement. Nous sommes parti des nécessités de la pratique d'enseignement pour déterminer les connaissances disciplinaires utiles aux maîtres. Nous avons tenté de permettre aux enseignants d'accéder à une bonne maîtrise des contenus à enseigner plutôt que de leur fournir un ensemble de connaissances académiques choisies a priori.

Michel VIGNES  
IUFM de Créteil  
GDSTC-LIREST

## BIBLIOGRAPHIE

- ALEMANNI, L. (1986). "Initiation technologique à l'école élémentaire". *Revue Française de Pédagogie*, n°74. (pp. 5-22). Paris : INRP.
- CLOSSET, J.L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse de 3ème cycle. Paris : LDPEs, Université Paris 7.
- FOUREZ, G. (1991). "Des finalités des cours de sciences". *Cahiers pédagogiques*, n°298. (pp. 33-36). Paris : CRAP.
- MARTINAND, J.L. (1986). *Connaître et transformer la matière. Des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. Berne : Peter Lang, (Exploration, recherches en sciences de l'éducation).
- TIBERGHIEU, A. (1983). "Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens des notions de circuits électriques pour les élèves de 8 à 20 ans". *Actes de l'atelier international d'été : recherche en didactique de la physique. Lalonde les Maures*. (pp. 91-107). Paris : CNRS.
- VERGNAUD, G. (1981) *L'enfant, la mathématique et la réalité*. Berne : Peter Lang, (Exploration, recherches en sciences de l'éducation).
- VIGNES, M. (1991). *Automatismes et informatique à l'école. Construction de contenus d'enseignement. Premiers essais dans les classes*. Thèse de doctorat. Paris : LIREST, Université Paris 7.



# DE LA REPRÉSENTATION EN TUYAUX AU CONCEPT DE MILIEU INTÉRIEUR

Marie Sauvageot-Skibine

Les résultats de recueil de représentations d'élèves sur la façon dont s'effectue la circulation de l'eau, de l'air et des aliments chez l'homme, le fœtus et la plante verte, mettent en évidence une représentation commune, celle de la communication par tuyaux, qui peut perdurer jusque chez l'adulte, si elle n'est jamais traitée de front. Le constat de la persistance de cette représentation, qui fait obstacle à la construction du concept de surface d'échange avec le milieu intérieur, nous a renvoyé à la construction historique de ce concept. L'analyse de la situation avant Claude Bernard, nous a permis de mieux comprendre l'obstacle rencontré, d'examiner comment il a été franchi au XIXe siècle, les ressemblances et les différences avec la situation actuelle, et d'élaborer une situation-problème, pour les élèves d'aujourd'hui.

Que ce soit à propos de l'absorption intestinale, de la respiration, de la nourriture du fœtus ou de la nourriture des plantes vertes, dès qu'il s'agit de faire passer de l'eau, de l'air ou des aliments, des tuyaux apparaissent sur les dessins, comme si les élèves n'envisageaient aucune autre façon de circuler à l'intérieur de l'organisme. Pourquoi ?

Ce mode de pensée est un obstacle à la notion de surface d'échange avec un milieu intérieur. C'est un "obstacle-facilité", puisqu'il apporte une explication suffisante aux élèves et empêche de ce fait de poser les problèmes.

Comment faire progresser les élèves ?

Un des préalables consiste à examiner la construction historique du concept, c'est-à-dire à analyser les représentations antérieures à Claude Bernard, à préciser quel obstacle a été franchi, et de quelle manière, pour nous aider à mieux cerner les obstacles actuels.

Une comparaison de l'état des connaissances avant Claude Bernard et de celui des élèves "plombiers", nous aidera ensuite à voir si le franchissement de l'obstacle peut s'opérer de la même façon, ou s'il n'y a que quelques points communs, ou si la situation est totalement différente. Une proposition de situation-problème terminera cette analyse.

## 1. UNE REPRÉSENTATION TRANSVERSALE À PLUSIEURS DOMAINES

La persistance de la représentation de la circulation d'éléments par des tuyaux est attestée par de nombreuses études réalisées par différents auteurs. Les façons dont elles

l'obstacle de la  
représentation en  
tuyaux de la  
circulation des  
fluides dans  
l'organisme

peuvent être exprimées dans différentes situations seront illustrées ici à travers quelques exemples brièvement rapportés, extraits de nos travaux antérieurs.

### 1.1. Tu bois de l'eau, que devient-elle ?

Pour étudier les idées sur la digestion et plus particulièrement le devenir de l'eau dans l'organisme, l'énoncé suivant a été retenu :

une question simple

*"Tu bois de l'eau. Que devient-elle ?*

*Fais un schéma.*

*Ecris un bref résumé.*

*Propose une expérience qui permet de démontrer ton idée."*

Il a donné lieu à des recueils de représentations auprès de publics variés d'enseignants et d'élèves : en début de stage de didactique de la biologie, pour aborder le concept de représentation ou avant la séquence sur la digestion en classe de sixième et troisième.

à laquelle on doit répondre de différentes façons

Nous avons choisi plusieurs langages (dessin, écrit, expérience), pour permettre à chacun d'utiliser son langage préféré, et d'autre part pour recueillir des informations variées, chacune se communiquant plus facilement par un langage : dessiner le trajet de l'eau, pour un élève de sixième est beaucoup plus facile qu'écrire un paragraphe sur la question. Pour le dessin une silhouette était donnée, seul le dessin des organes de l'appareil digestif et excréteur nous intéressait.

L'utilisation du dessin a souvent posé problème chez les adultes, parce qu'ils étaient gênés de ne pouvoir se rappeler ce qu'ils avaient appris à l'école. La rédaction d'un paragraphe n'a pas plu aux élèves, pour qui c'est un pensum d'écrire, mais imaginer une expérience a dérouté enfants et professeurs.

L'analyse des réponses (1) a montré que la solution adoptée par l'immense majorité est celle de **deux tuyaux** (voir planche 1) Ceux-ci peuvent partir de la bouche, de l'estomac ou des intestins, ils obéissent tous à la même logique : un tuyau pour les liquides et un pour les solides. Cette conception est présente chez les élèves du CP, jusque chez les enseignants non biologistes.

l'eau passe dans des tuyaux

Bon nombre de réponses montrent la présence des reins et de la vessie dans la continuité du tube digestif. Un des tuyaux va à l'anus, l'autre à l'orifice urinaire.

(1) L'analyse de cet ensemble de données, que j'ai développée dans ma thèse a également mis en évidence d'autres représentations-obstacles relatives à l'eau : en particulier les réponses ne mentionnent pas l'eau de l'air expiré ni l'eau-constituant de la matière. On peut faire l'hypothèse que l'eau est alors associée à l'état liquide, ce qui empêche de la penser à l'état gazeux. D'autres résultats vont dans le même sens.

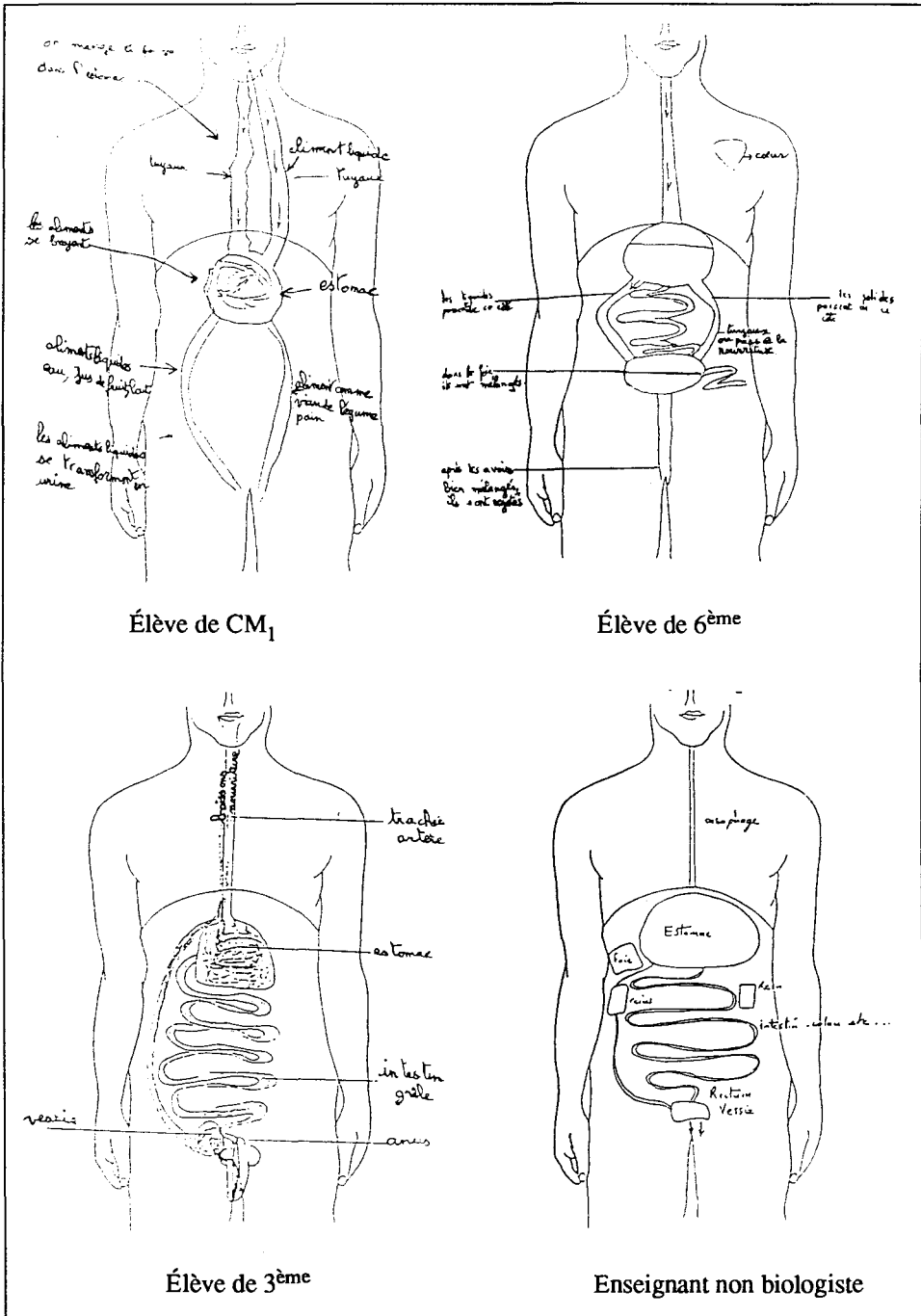


Planche 1. Devenir des aliments liquides et solides

Le dessin pose le problème suivant : comment faire communiquer un orifice d'entrée avec deux orifices de sortie ?

Il semble que les élèves ne peuvent imaginer que l'eau traverse la paroi d'un tube, ils cherchent une solution de "plombier". On peut penser, que s'ils présentent une telle réponse, c'est qu'ils ont en tête, l'image de circulation d'un fluide dans des tuyaux ou dans des poches reliées entre elles.

Cette représentation perdure également chez les adultes enseignants, instituteurs ou professeurs de collège non scientifiques (2).

### 1.2. Quel est le trajet de l'air dans ton corps ?

On relève deux grandes familles de schémas parmi les réponses d'élèves de sixième à la question : "quel est le trajet de l'air dans le corps ?" (voir planche 2) :

- le trajet de l'air est limité de l'extérieur aux poumons, puis des poumons à l'extérieur : "l'air entre par le nez, il va dans les poumons, il ressort par la bouche" ;
- le trajet de l'air n'est pas limité aux poumons, l'oxygène va dans le sang, dans les intestins, au cerveau ou aux organes. Le "comment" n'est pas explicité ; une faible minorité d'élèves envoie l'oxygène dans le sang.

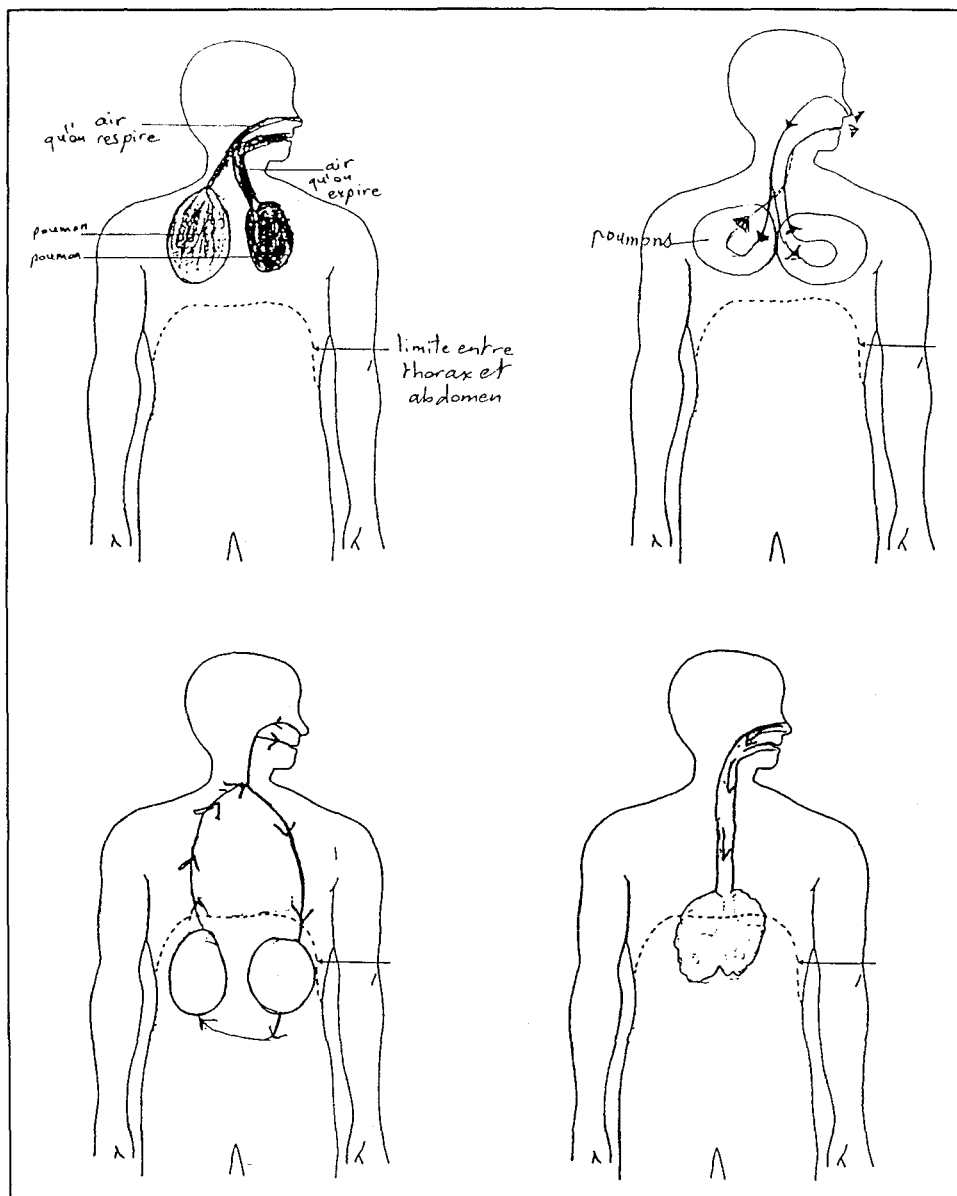
l'air circule dans  
des tuyaux et des  
poches

L'étude de ce second exemple fait apparaître comme obstacle l'impossibilité, pour l'air, de circuler dans l'organisme autrement qu'à l'intérieur de tuyaux, de sacs ou de ballons. Cet obstacle de nature épistémologique, puisqu'il rend unimaginable les échanges gazeux à travers une membrane, ressemble à celui rencontré dans le premier exemple, dans le sens où la circulation de l'air, comme celle de l'eau, s'effectue à l'intérieur de tuyaux.

---

(2) Plusieurs auteurs obtiennent des résultats tout à fait convergents aux nôtres. Citons A. Giordan et G. De Vecchi ; Pierre Clément propose une analyse détaillée qui converge avec la nôtre.





**Planche 2. Trajet de l'air dans le corps (réponses de 6<sup>ème</sup>)**

### 1.3. Comment mange le bébé ?

les aliments  
passent dans des  
tuyaux...

Les dessins d'élèves de sixième, concernant le fœtus dans l'utérus maternel (voir planche 3), montrent très souvent un tuyau qui relie la bouche du fœtus, soit à la bouche maternelle, soit au nombril de la mère.

On est là devant une incapacité à penser nutrition autrement que par l'intermédiaire de la bouche, un canal et un orifice.

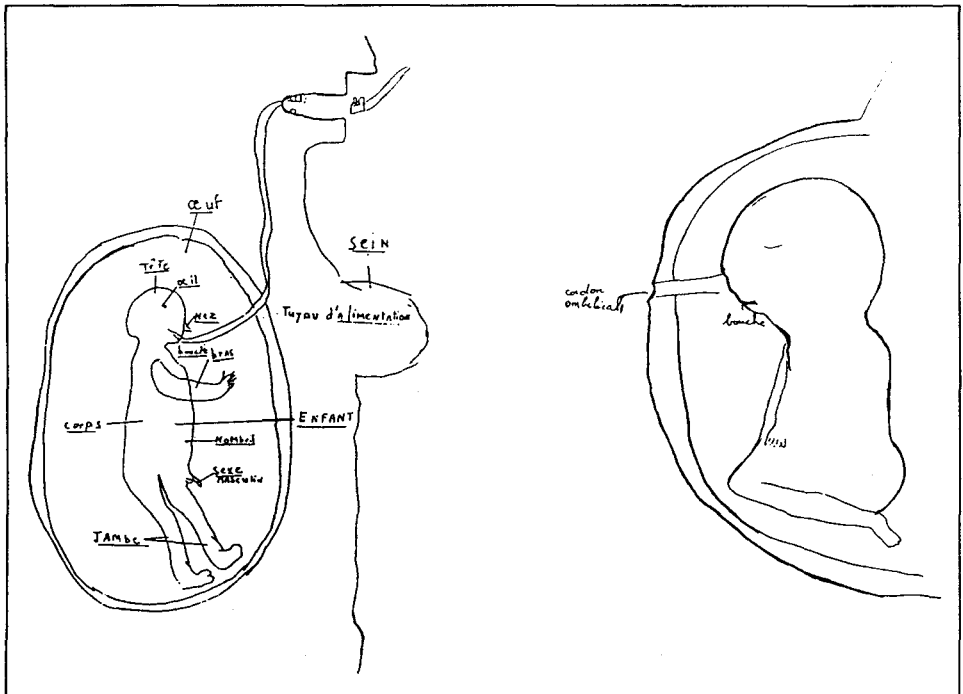


Planche 3. Alimentation du fœtus (réponses de 6<sup>ème</sup>)

### 1.4. De quoi se nourrissent les plantes ?

l'eau et les sels  
minéraux aussi

Les enfants de 10-11 ans, et souvent les plus grands, pensent que la plante se nourrit, à la manière des animaux :

*"elle mange par ses racines et cela va monter dans toute la plante par un petit tuyau et cela va faire pousser la plante."*

Dans ce contexte comme dans les précédents, on retrouve la représentation de la communication par tuyaux.

Celle-ci apparaît comme un modèle très répandu, voire unique, pour mettre en relation deux organes et faire circuler l'eau, l'air et les aliments.

## 2. ANALYSE DES REPRÉSENTATIONS-OBSTACLES

### 2.1. Quelle représentation de l'organisme ont les élèves de sixième?

Si on rassemble les différentes représentations, on peut penser que les enfants de 10-11 ans voient le corps humain comme un tout formé d'organes, plus ou moins proches les uns des autres, plus ou moins imbriqués. Les organes ne sont pas formés de cellules, en sixième. Ils sont autonomes, ont une forme, une place, un nom, une fonction : le coeur pompe et envoie le sang, le poumon respire, le muscle permet le mouvement. Certains communiquent avec l'extérieur ou entre eux par des tuyaux, comme la bouche avec les poumons par la trachée artère, ou avec l'estomac par l'oesophage. Le tube digestif, lui, traverse l'organisme, et pourtant l'intérieur du corps commence à la bouche. Pour les enfants, le milieu extérieur est constitué par l'extérieur du corps humain.

Entre les organes, il n'y a rien. C'est l'image que donne un écorché.

La représentation de l'organisme est une vision mécaniste, qui assimile les organes aux pièces d'un moteur, qui agissent les uns sur les autres grâce à la proximité, et dont certaines communiquent entre elles à l'aide de câbles ou de tuyaux. Il semble bien que le modèle de communication emprunté par les élèves soit celui de la plomberie ou de l'électricité. La circulation de l'eau et du courant permet de penser la circulation des fluides dans le corps.

Le cerveau dirige la machine, le système nerveux envoie des ordres aux organes.

### 2.2. Quel est le concept visé ? Quel est le schéma de synthèse visé par l'enseignant ?

Le précis de physiologie humaine de Vander et al. donne la définition suivante :

*"Les systèmes concourent à maintenir au sein de l'organisme un milieu dont la nature correspond aux besoins des fonctions cellulaires ; on lui donne le nom de milieu intérieur. La notion de milieu intérieur n'est pas seulement théorique. Le milieu intérieur a aussi un support anatomique : le milieu intérieur du corps est constitué par le liquide extra-cellulaire dans lequel baignent toutes les cellules" (80% de liquide intercellulaire ou interstitiel et 20% de plasma). Cette définition est illustrée par la figure qui suit.*

une vision  
mécaniste de  
l'organisme

un milieu intérieur  
liquide entre les  
organes

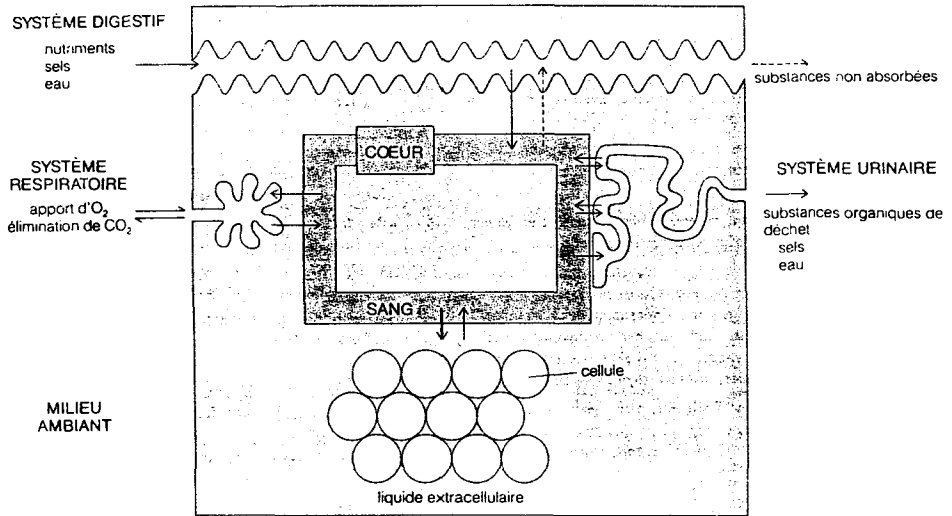


Figure 1. Échanges entre le milieu ambiant et le système circulaire par l'intermédiaire des systèmes digestif, respiratoire et urinaire.

### 2.3. Qu'empêche de comprendre le système explicatif des élèves ?

Un tuyau ayant une entrée et une sortie, cela empêche de comprendre un passage **sur une certaine distance**, puisqu'il est alors limité à deux orifices.

De plus, un canal, un tuyau évoquent une paroi d'une certaine épaisseur, tout à fait opposée à l'idée de **finesse** d'une surface d'échanges.

L'idée d'une relation directe entre organes remplace l'idée de communication entre les organes, **par l'intermédiaire** de vaisseaux sanguins, à travers leurs parois alors fines. L'image des capillaires irriguant les organes est parfaitement absente des conceptions des élèves.

Le modèle du moteur fait obstacle à la présence d'un **milieu liquide** dans lequel baigneraient les organes.

### 2.4. Quels changements doivent être opérés pour construire la notion de surface d'échanges et le concept de milieu intérieur ?

En sixième, il s'agit de passer d'une vision mécaniste de l'organisme, en termes d'organes-pièces de moteur reliées par des tubes, à une vision en termes d'organes baignant dans un liquide, et échangeant des substances véhiculées par ce liquide, substances traversant de fines parois sur une certaine longueur. Et ceci à propos des échanges gazeux respiratoires et de l'absorption intestinale.

un réseau d'obstacles

changer de représentations

En troisième, les organes sont formés de cellules. Il faut donc envisager le niveau cellulaire et poser le problème des échanges de substances à travers la membrane, et de sa participation à la survie de l'organisme, en aidant à maintenir la stabilité du milieu intérieur.

Les concepts abordés seront la respiration, l'absorption intestinale et l'excrétion.

En Terminale, les concepts de milieu intérieur et d'homéostasie sont construits à l'aide de la notion d'équilibre hydro-minéral et du concept de régulation envisagé dans le cas de la glycémie et de la sécrétion des hormones sexuelles. Le concept d'hormone entraîne la notion d'action à distance et celle d'autonomie des organes, à partir du concept de sécrétion interne.

Il faut maintenant se demander comment permettre ce changement. Pour ce faire, cherchons tout d'abord comment ce concept a émergé historiquement. Quel(s) obstacle(s) a-t-il permis de franchir, et comment ?

### 3. ANALYSE HISTORIQUE DE L'APPARITION DU CONCEPT DE MILIEU INTÉRIEUR

#### 3.1. Le milieu intérieur, présenté par Claude Bernard

Parmi les leçons sur les propriétés des tissus vivants, la deuxième datant du 19 mars 1864 s'intitule : *"Des milieux chez les êtres vivants"*. Il y définit ce qu'il appelle *milieux*, puis distingue le milieu cosmique et le milieu intérieur. *"Nous comprenons ici, sous le nom de milieux intérieurs, le sang et tous les liquides plasmatiques ou blastématiques qui en dérivent."*

*Les milieux intérieurs sont donc des produits de l'organisme ; toutes les parties constitutives du sang, azotées ou non, albumine, fibrine, sucre, graisse, etc... sont dans ce cas, sauf les globules du sang qui sont des éléments organiques."*

Au début de la seconde partie, de l'introduction à la médecine expérimentale, parue en 1865, Claude Bernard rappelle :

*"Dans l'expérimentation sur les corps bruts, il n'y a à tenir compte que d'un seul milieu, c'est le milieu cosmique extérieur : tandis que chez les êtres vivants élevés, il y a au moins deux milieux à considérer : le milieu extérieur ou extra-organique et le milieu intérieur ou intra-organique... Tous les liquides circulant, la liqueur du sang et les fluides intra-organiques constituent en réalité ce milieu intérieur."*

Dans les leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux, parues en 1878, il précise dans le paragraphe sur la *"vie constante ou libre"* :

le milieu intérieur  
selon Claude  
Bernard

sa fixité :  
condition de la  
vie libre

*"La vie constante ou libre est la troisième forme de vie : elle appartient aux animaux les plus élevés en organisation. La vie ne s'y montre suspendue dans aucune condition : elle s'écoule d'un cours constant et indifférent en apparence aux alternatives du milieu cosmique, aux changements des conditions matérielles qui entourent l'animal...Il en est ainsi parce qu'en réalité le milieu intérieur qui enveloppe les organes, les tissus, les éléments des tissus, ne change pas ; les variations atmosphériques s'arrêtent à lui, de sorte qu'il est vrai de dire que les conditions physiques du milieu sont constantes pour l'animal supérieur ; [...] La fixité du milieu intérieur est la condition de la vie libre, indépendante : le mécanisme qui la permet est celui qui assure dans le milieu intérieur le maintien de toutes les conditions nécessaires à la vie des éléments."*

Le milieu intérieur est donc un milieu intraorganique, "chez les êtres vivants élevés", milieu liquide fait de sang et des "fluides intraorganiques", produit par l'organisme, et milieu constant qui conditionne l'autonomie.

### 3.2. Le milieu intérieur contre le mécanisme

le concept  
analysé par  
Canguilhem

Quelle est la place et le rôle de ce concept au XIX<sup>e</sup> siècle ? C'est en 1857, que Claude Bernard a énoncé pour la première fois l'importance capitale du liquide extracellulaire de l'organisme. "Le concept de milieu était, au XVIII<sup>e</sup> siècle, un concept de mécanique et de physique", rappelle G. Canguilhem, dans les *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, "Son importation en biologie, au XIX<sup>e</sup> siècle, favorisait les conceptions mécanistes de la vie. Le génie de Claude Bernard, en créant le concept de milieu intérieur, opérait la dissociation en biologie des concepts de déterminisme et de mécanisme."

Comment le concept de milieu intérieur opère-t-il la dissociation en biologie des concepts de déterminisme et de mécanisme ?

Le mécanisme doit être compris ici au sens cartésien, c'est-à-dire qu'il induit une représentation de l'organisme en terme de machine, au sens strict du mot. Descartes affirme que le fonctionnement des organes obéit aux lois de la mécanique. Gabriel Gohau nous donne un aperçu de ce système explicatif :

*"Pour expliquer la contraction musculaire, Descartes imagine que les esprits animaux s'engouffrent dans le muscle comme le vent dans la voile. Borelli, lui, compare le muscle contracté à la corde, qui, gonflée par l'eau, acquiert une résistance lui permettant de soulever des poids considérables."*

Parler de mécanisme pour l'organisme, revient à admettre que le fonctionnement de la biologie se réduit aux lois de la physico-chimie. Or il n'y a pas dans la technologie humaine, de transport de message par l'intermédiaire d'un liquide. On pourrait seulement faire l'analogie avec les ondes radio, dans lesquelles on baigne, comme on baigne

dans le milieu intérieur, et quand on a son récepteur branché sur la bonne fréquence, on reçoit le message.

passer d'un  
déterminisme  
mécaniste...

La seule conception du déterminisme à l'époque, était un déterminisme de type mécanique, c'est-à-dire des objets, des pièces qui sont en relation de position avec d'autres et qui agissent à cause de leur position. Avec la découverte du milieu intérieur, la causalité n'est plus la causalité du moteur de la voiture, c'est une causalité "à distance", par l'intermédiaire d'un liquide, dans lequel se trouve le message. On pourrait conclure avec Canguilhem :

... à un  
déterminisme  
physiologique

*"Bref, Claude Bernard, même s'il a retenu de Lavoisier et de Laplace, par la médiation de Magendie, l'idée de ce qu'il devait nommer lui-même le déterminisme, ne doit qu'à lui-même ce concept biologique de milieu intérieur qui permet enfin à la physiologie d'être, au même titre que la physique, une science déterministe, sans céder à la fascination du modèle proposé par la physique."*

### 3.3. Le milieu intérieur arrive après le concept de sécrétion interne et la théorie cellulaire

Canguilhem souligne la place de ce nouveau concept, et les conditions qui ont permis son émergence :

1830  
formulation de la  
théorie cellulaire

*"Le concept de milieu intérieur ne suppose pas seulement l'élaboration par Claude Bernard du concept de sécrétion interne, mais aussi la référence à la théorie cellulaire... En effet, la théorie cellulaire permettait de comprendre la relation entre le tout et la partie, entre le composé et le simple, dans l'ordre des êtres organisés, tout autrement que selon un modèle mathématique ou mécanique."*

- **Le milieu intérieur, une réponse**

Avant la théorie cellulaire, l'organisme est conçu comme un tout indivisible. Le fait de le diviser en unités, qui sont des unités d'anatomie, des unités de fonction, et aussi de reproduction, pose le problème de la relation entre ces unités : comment entrent-elles en relation les unes avec les autres ? Pour Claude Bernard, l'une des mises en relation sera le système nerveux, l'autre étant le milieu intérieur.

- **Que permet de penser le concept de sécrétion interne ?**

1855  
le concept de  
sécrétion interne

Canguilhem rappelle sa naissance : *"On sait que, dans une de ses "Leçons de physiologie expérimentale", le 9 janvier 1855, Claude Bernard se fondant sur la découverte de la fonction glycogénique du foie (1848), prononce pour la première fois les mots de "sécrétion interne" ; qu'en 1859 et en 1867, il étend ce concept aux autres glandes vasculaires internes (rate, thyroïde, surrénales), jusqu'à considérer le sang ou milieu intérieur organique comme un produit de l'ensemble des sécrétions internes."*

A propos de la fonction glycogénique du foie Claude Bernard montre qu' il y a des produits qui sont mis en réserve dans le foie, puis relibérés dans l'organisme, au service d'autres parties. C'est la première fois que, au lieu d'ingérer des aliments qui vont directement aux endroits qui en ont besoin, il y a une mise en réserve temporaire puis une remobilisation. Ce phénomène se passe à l'intérieur pour une autre partie de l'intérieur, alors qu'avant, il y avait une dominance du milieu extérieur, c'était lui qui permettait le fonctionnement de l'intérieur.

Avec le concept de sécrétion interne, l'intérieur a une certaine autonomie. Il y a une certaine discontinuité entre les moments où on ingère et les moments où l'organisme a besoin. Il y a autonomie parce que l'organisme peut resécréter, relibérer un produit en fonction de la demande.

La fonction glycogénique du foie, permet au produit qu' est le glucose, d'aller d'une partie à une autre partie de l'organisme, par le biais de la circulation, et par celui d'un liquide intérieur. Par analogie avec la communication par fils, par messages électriques, l'idée que le système nerveux véhicule des messages est une idée relativement immédiate. Tandis que l'idée qu'un liquide véhicule des messages, est une idée sans équivalent dans la technologie humaine.

### **3.4. Quel obstacle Claude Bernard a-t-il franchi avec le concept de milieu intérieur ?**

C'est la représentation de l'organisme du début du XIX<sup>e</sup> siècle, que Claude Bernard a bouleversée. Il a permis une autre façon de penser, même si les effets ne furent pas immédiats, comme le rappelle Canguilhem : *"Pour que le concept bernardien de sécrétion interne soit appelé à jeter quelque lumière sur les fonctions de la thyroïde, il faut attendre une trentaine d'années après la formation du concept."*

Il a rendu possible, en 1884, l'expérience de Schiff, qui consiste à greffer une thyroïde dans une cavité abdominale. Pour avoir l'idée de transplanter un organe et qu'il conserve sa fonction à une autre place dans l'organisme, il faut avoir en tête ce changement de représentation, dont l'expression milieu intérieur est précisément la marque fondamentale.

## **4. AUTREFOIS ET AUJOURD'HUI**

Les représentations des élèves de sixième sont-elles identiques à celles qui précédaient la formulation du concept de milieu intérieur ?

Il semble qu'il y ait un point commun à propos de la vision mécaniste du corps humain. Mais il apparaît également une grande différence : la théorie cellulaire était formulée (1830 selon Hughes) pour les contemporains de Claude Bernard,



les programmes  
d'aujourd'hui et  
la construction  
historique

elle est au contraire parfaitement ignorée des élèves de sixième. Ce concept de cellule ne sera construit qu'en troisième d'après les programmes : *"les explications, limitées jusque là pour l'essentiel au niveau des organes, et qui gagneront progressivement au lycée celui des ultrastructures et des molécules, commencent à atteindre le niveau cellulaire."*

Quant au concept de sécrétion interne, antérieur historiquement à celui de milieu intérieur, il semble bien que ce soit en seconde avec la communication hormonale qu'on aborde le problème d'un produit déversé dans le sang par une glande et agissant sur un autre organe. Les nouveaux programmes précisent comme objectif à atteindre : *"Dans un organisme, des populations cellulaires différentes peuvent communiquer entre elles par des messages hormonaux."* Le concept de milieu intérieur n'est au programme que de terminale.

La stratégie prévue par les programmes passe par la construction du concept de cellule, puis par celui de sécrétion interne et enfin par celui de milieu intérieur. Pour les élèves de sixième, on ne peut que rester au niveau de la communication entre organes par l'intermédiaire du sang, à travers des surfaces d'échanges.

#### 4.1. Une situation-problème pour les élèves de sixième

Quelles sont les conditions de possibilité du franchissement de l'obstacle ?

- Les organes ont des **besoins** en oxygène et en nutriments d'une part et ont d'autre part des déchets à rejeter, ce qui rend indispensable la présence d'un système distributeur et collecteur.
- Les fournisseurs ne sont pas obligatoirement proches, il peut exister une **distance** entre le fournisseur et le demandeur.
- La présence d'un **liquide** entre tous les organes, liquide qui peut transporter des éléments.
- Le **passage possible à travers une paroi** nécessite de ne pas voir seulement une membrane comme une limite, un mur, mais aussi comme une frontière entre deux pays, frontière qui permet le passage à certains postes.

L'analogie avec une rivière, frontière entre deux pays, permet de penser le transport et la distribution d'objets véhiculés, à divers points de la berge, sur une certaine longueur. Chaque pays frontalier pouvant s'approvisionner au fleuve et pouvant y rejeter également ses déchets.

La présence de liquide interstitiel est liée à la présence de cellules, donc reporté à la classe de troisième.

Une situation-problème devra permettre de passer d'une vision mécaniste du corps, c'est-à-dire d'une conception

franchir l'obstacle  
à quelles  
conditions ?

“organe-pièce de moteur” et “tuyau-cable” à un organisme imprégné de liquide, dans lequel les organes puisent et rejettent.

L'élève connaît l'existence de différents organes : poumon, estomac, foie... et l'existence de liquide, le sang, dans les vaisseaux sanguins. Se pose le problème de les relier et d'envisager comment ils communiquent.

L'étude se fera à partir d'exemples concrets, qui posent une énigme à l'élève, énigme qu'il ne pourra pas résoudre avec les représentations dont il dispose, et qui l'amènera à émettre des hypothèses, qui pourront être confrontées entre elles, et confrontées à une observation ou à des résultats d'expériences.

Proposition de situation-problème :

une situation-  
problème pour  
les 6<sup>e</sup>

1. *Un accidenté de la route a subi une prise de sang. Les résultats mettent en évidence la présence d'alcool dans le sang.*
2. *D'autre part, les analyses d'une personne diabétique révèlent la présence d'une quantité anormale de sucre dans le sang qu'on lui a prélevé.*
3. *Quelqu'un étant mort parce qu'il se chauffait à l'aide d'un poêle défectueux, dans une pièce non aérée, on procède à l'analyse de son sang et on y trouve la présence de monoxyde de carbone.*  
*Comment peux-tu expliquer la présence d'alcool, de sucre et de monoxyde de carbone dans le sang de ces différents individus ?*

Au cours de la séance, en réponse aux hypothèses des élèves sur le mode de relation entre certains organes et les vaisseaux sanguins, l'apport d'autres informations pourra être fait, par l'observation d'une grande vascularisation des poumons, par exemple, de la proximité des vaisseaux sanguins et des organes, de la finesse des membranes, de la porosité d'une paroi...

## CONCLUSION

L'obstacle à la construction du concept de milieu intérieur révélé par l'explication “tuyaux” est très répandu au collège, et se retrouve même chez des adultes. Il apparaît donc nécessaire de s'y attaquer dès la sixième. La méthode qui consiste à analyser la construction historique du concept concerné, les représentations de l'époque, l'obstacle franchi et la façon dont il a été franchi, est un moyen très riche, pour bien cerner le réseau d'obstacles présents, et aider à envisager la construction verticale du concept.

Pour ce qui concerne la construction de la notion de surfaces d'échanges, en sixième, les situations d'aujourd'hui et d'autrefois diffèrent et ne permettent pas d'essayer de faire franchir l'obstacle aux élèves de sixième, de la même façon qu'au XIX<sup>e</sup> siècle les scientifiques ont pu le faire.

Marie SAUVAGEOT-SKIBINE  
IUFM et MAFPEN, Dijon  
Équipe de didactique des sciences  
expérimentales, INRP

## BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI J P., PETERFALVI B., "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", in : *"Modèles pédagogiques 1"*, Aster, 16. 1993.
- AUDIGIER F., FILLON P., *"Enseigner l'histoire des sciences et des techniques"*. Paris. INRP. 1991.
- BAZAN M., *La construction du concept de respiration chez les élèves de premier cycle de l'enseignement secondaire*. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle. Université Paris VII. 1984.
- BERNARD C., *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris. Garnier-Flammarion. 1865.
- BERNARD C., *Leçons sur les propriétés des tissus vivants*. Paris. 1866.
- BERNARD C. *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*. Paris. 1878.
- CANGUILHEM G., *Études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris . Vrin. 1968. 2<sup>ème</sup> éd. 1983.
- CANGUILHEM G., *La connaissance de la vie*. Paris. Vrin. 1985.
- CLÉMENT P., "Sur la persistance d'une conception : la tuyauterie continue digestion-excrétion", in : *"Respirer, digérer, assimilent-ils ?"*, Aster, 13. 1991.
- GIORDAN A., *Histoire de la biologie*. Tome 2. Technique et documentation. Paris. Lavoisier. 1987.
- GIORDAN A. et DE VECCHI G. *Les origines du savoir*. Neuchâtel, Paris. Delachaux et Niestlé. 1987.
- GOHAU G., *Biologie et biologistes*. Paris. Magnard. 1978.

SAUVAGEOT-SKIBINE M., *Obstacles et conditions de possibilité à la construction du concept de respiration pulmonaire chez l'homme, en classe de sixième*. Mémoire de DEA. Université Paris 7. 1988.

SAUVAGEOT-SKIBINE M., *Problèmes posés par l'enseignement des concepts d'alimentation et de nutrition au collège. Obstacles à la construction du concept de digestion au collège*. Thèse de doctorat. Université Paris 7. 1991.

VANDER A. J., SHERMAN J. H., LUCIANO D. S., GONTIER J. R., *Physiologie humaine*. Mc Graw-Hill, Editeurs. 1989.