

L'EXPÉRIMENTAL DANS LA CLASSE

Daniel Beaufils
Claudine Larcher

que recouvre
le terme
"expérimental" ?

Ce numéro interroge la place qui peut être faite à "l'expérimental" dans la classe en référence avec les pratiques des scientifiques ; il interroge aussi le terme "expérimental" lui-même, les significations qu'on lui accorde, ce qu'il recouvre et ce qu'il exclut, les liens qu'il établit avec la manipulation, la familiarisation, la théorie, la simulation, l'observation et la technique dans une démarche scientifique. C'est cet ensemble d'interrogations qui est traité ici, et qui donne un reflet de l'état de la réflexion actuelle sur l'importance à accorder dans l'enseignement à la manipulation, aux concepts, aux techniques, aux démarches.

S'appuyant sur un ensemble de travaux antérieurs, tant en France qu'à l'étranger, qui apparaissent dans leur bibliographie, les contributions à ce numéro d'*Aster* apportent des clarifications sur les enjeux, explorent de nouveaux dispositifs, en repèrent les logiques et les contraintes, discutent la spécificité des disciplines dans leur relation à l'expérimental, renouvellent les problématiques de la résolution de problème, proposent d'autres outils d'analyse engageant dans une vision critique et une pratique réflexive.

importance des
expériences
dans
l'enseignement
depuis
des décennies

Peut-être faut-il rappeler tout d'abord que l'importance des expériences pour l'enseignement des sciences a été soulignée depuis des décennies et, que si une évolution a été marquée sans aucun doute l'enseignement depuis la réforme de 1902 notamment, la problématique de la fonction et de la place de l'expérience dans l'enseignement est toujours d'actualité. L'étude des manuels scolaires, témoins des idées qui prévalent au cours du temps, est à ce titre particulièrement intéressante.

l'étude
des manuels
scolaires
en témoigne

Que ce soit en physique ou en biologie, certaines des expériences présentées dans les manuels sont pérennes. Elles se retrouvent avec une singulière régularité malgré les changements de programme ou de pratiques préconisées et même malgré l'évolution des techniques. Pourtant leur présentation, leur place dans la démarche d'enseignement, leur rôle épistémologique ont pu varier au cours des âges. C'est ce qu'a voulu montrer D. Galiana en analysant, dans les manuels de 1850 à 1996, l'enseignement proposé dans le champ du concept de photosynthèse. Son analyse du statut de ces expériences lui fait remarquer que le saut entre ce qui peut être raisonnablement déduit de l'expérience et ce qui est institutionnalisé comme connaissance est parfois fait sans grande précaution ; entre un dogmatisme affiché et un pseudo raisonnement démonstratif, peut-être

faudrait-il faire une place à la délimitation des apports d'une expérience.

des expériences
prototypiques
dans la mémoire
des futurs
professeurs
des écoles...

...qui retiennent
surtout
une démarche
empiriste

Certaines expériences sont prototypiques, incontournables en quelque sorte, dans les pratiques de classe et laissent des traces communes dans les mémoires comme le notent R. Flageul et M. Coquidé à partir des entretiens qu'ils ont menés auprès des futurs professeurs d'école. Ces expériences ou ces études d'objets restent particulièrement représentatives de l'"expérimental" sans d'ailleurs qu'aucune distinction soit faite sur la fonction qu'elles assureraient dans le contexte de leur mise en œuvre. L'activité expérimentale reste avant tout, dans les représentations que s'en font les personnes interrogées, une activité pratique. La place qu'y prennent le raisonnement et la créativité est peu reconnue ou peu citée. L'approche relève plus souvent d'un point de vue empiriste que d'un point de vue hypothético-déductif ou réfutationniste. R. Flageul et M. Coquidé proposent un tableau des représentations-obstacles partagées par ces enseignants en formation. La différenciation entre des finalités multiples des pratiques expérimentales, le repérage d'un projet de pratique par rapport à ces différentes finalités pour en assurer la cohérence, sont sans doute des aspects de la formation à prendre en charge.

le traitement de
l'expérimental
n'est pas
le même dans
les SVT et dans
les sciences
physiques

La complexité de l'expérimental, en particulier dans le domaine des sciences de la vie et de la Terre, est au cœur des préoccupations dans plusieurs contributions. Les sciences physiques cherchent à isoler les phénomènes élémentaires et peuvent produire des expériences de laboratoire où certains paramètres sont fixés de façon à réduire la phénoménologie à celle que l'on veut étudier ; ces expériences restent tout à fait pertinentes parce que les lois de la nature sont postulées invariables dans un large domaine d'échelle d'espace et de temps, et parce que les lois cherchées sont généralement indépendantes de l'histoire du système. Ainsi il est possible d'étudier la chute libre ou les chocs en reproduisant les phénomènes à l'échelle spatiale de la paille et l'échelle temporelle de la séance de travaux pratiques. En biologie et en géologie un grand nombre de questions ne peuvent conduire à des expérimentations réalisables en classe ; la complexité des systèmes qui ne peuvent se ramener à un "échantillon" de laboratoire ou à un déroulement temporel à l'échelle humaine, les contraintes liées à l'étude du vivant, introduisent une spécificité de ces disciplines.

C'est cette "résistance du réel" qui est au cœur des préoccupations de M. Coquidé, P. Bourgeois-Victor et B. Desbeaux-Salviat. Elles proposent aux élèves, dans le cadre d'une option de sciences expérimentales en Première S, une activité relevant d'un mode d'investigation empirique et analysent les difficultés qu'ils rencontrent et celles qu'ils disent avoir

difficultés
rencontrées par
les élèves de 1^{er} S
en pratique
expérimentale
de biologie

rencontrées et donc identifiées. Leur observation concernant le déficit d'esprit critique, la tendance à la généralisation hâtive converge avec celle de D. Galiana.

Cette activité novatrice par rapport aux pratiques courantes qui proposent un réel aménagé guidant vers un modèle institutionnalisé fait ressortir les contraintes du contrat didactique mais aussi l'importance de la disponibilité d'une "matrice cognitive" (M. Coquidé *et al.*) pour traiter un problème expérimental.

multiplicité des
savoirs à mettre
en œuvre

R. Rodriguez et P. Schneeberger analysent les démarches que mettent en œuvre des élèves de Première S de la région bordelaise dans une investigation scientifique portant sur les levures et la fermentation alcoolique, dans le cadre de l'option sciences expérimentales. Formulation et traitement du problème sont à la charge des élèves après visite d'un chai. Différentes stratégies ont pu être observées et caractérisées.

Cette étude montre les difficultés que rencontrent les élèves du fait de la multiplicité des savoirs à mettre en œuvre pour mener une investigation raisonnée : ressources hors champ disciplinaire (en mathématiques, en physique, en chimie), compétences techniques de laboratoire, compétences méthodologiques (anticipation, vérification de la reproductibilité des faits, retour critique, rôle du cahier d'expérience), tout doit s'articuler...

articulation
entre travaux
de laboratoire et
de terrain chez
un expert...

C'est aussi l'articulation entre travaux de laboratoire et travaux de terrain, ainsi que la notion d'expertise qui est analysée par C. Orange *et al.* Ils interrogent un chercheur en pétrologie et minéralogie qui parle de sa relation au terrain, de l'articulation entre le réel de terrain et le réel de laboratoire, du long trajet qui mène à l'expertise, de la difficulté à communiquer cette expertise.

...et chez des
élèves de 1^{er} S

Cette pratique de référence leur sert de cadre pour analyser le comportement d'élèves de Première S engagés dans une tâche d'analyse de terrain. Ils montrent que si les élèves satisfont au contrat scolaire, ce n'est pas forcément en ayant réellement traité la question qui leur était soumise. Les auteurs décalent le questionnement habituel centré sur la résolution de problème en mettant l'accent sur la construction même du problème et ce que nécessite cette construction, renouvelant ainsi la problématique de sa dévolution.

L'importance des savoirs pratiques dans la lecture des faits, la multiplicité des savoirs, la complexité de ces savoirs et de leur articulation dans cette construction les font ainsi s'interroger sur la place et le rôle des investigations empiriques dans l'enseignement de la biologie et de la géologie.

L'impact de l'évolution des moyens d'enseignement, des matériels didactiques mis à disposition des enseignants, est aussi abordé dans cet ouvrage. On sait leur importance en physique par exemple, où les dispositifs *ad hoc*

impact de l'évolution des moyens d'enseignement, en particulier de l'informatique

rapport au réel modifié

en sciences physiques au lycée, définir et distinguer les compétences de type bureautique et celles spécifiques aux sciences...

... et les évaluer

deviennent des guides invariables d'activités manipulatoires dès lors elles-mêmes invariables. On sait aussi l'importance des moyens audiovisuels utilisés dans l'enseignement de la biologie-géologie. L'évolution se poursuit avec la mise à disposition du professeur de moyens informatiques, qu'il s'agisse de logiciels d'acquisition et traitement de mesures ou de simulation, d'accès au réseau Internet ou de la possibilité de concevoir des guides d'activité et des aides interactives. Le recours à des simulations sur modèles numériques, à l'analyse de résultats expérimentaux disponibles par des banques de données vient reposer la question de la nature même des activités scientifiques. Le rapport au réel est évidemment modifié et les objectifs d'apprentissages tant manipulatoires que cognitifs sont eux-mêmes autres. Cette évolution offre un champ d'investigation encore peu exploré parce que ce type d'étude ne peut généralement se faire sans action de production.

Notons ici que l'utilisation de moyens informatisés en classe n'est ni sans fondement en terme de pratiques scientifiques de référence, ni sans enjeu sur l'évolution des objectifs d'acquisition de savoirs et de savoir-faire, et sur les processus d'apprentissage.

Deux contributions interrogent ainsi l'usage de l'informatique dans les travaux pratiques.

D. Beaufils, H. Richoux et C. Camguilhem repèrent, dans le cadre des sciences physiques au lycée, les compétences nécessaires à la conduite de la tâche en distinguant celles qui sont générales, de type bureautique, et celles qui sont plus spécifiques aux sciences, savoirs et savoir-faire, et que l'on peut considérer devoir être acquises en fin de cycle scientifique du lycée. Leur analyse des protocoles de TP proposés aux élèves de lycée montre le risque d'un appauvrissement des tâches laissées à la charge des élèves lorsque l'usage de l'outil informatique se traduit par une multitude des consignes techniques.

Cette question curriculaire de définition des compétences requises à l'entrée au lycée, à acquérir ou exigibles en fin de parcours, comporte également celle de l'évaluation : pour que leur exigence soit crédible, il faut se donner les moyens de les évaluer comme les autres compétences. Leur identification et leur différenciation peuvent permettre de répartir la prise en charge de ces apprentissages sur différentes disciplines et de clarifier les prérequis à un niveau scolaire donné. Les activités pourraient alors être mieux définies et recentrées sur la maîtrise progressive des outils de recueil et de traitement de données incluant un esprit critique sur leur choix et leurs limites.

La préoccupation de Y. Cartonnet recoupe celle de D. Beaufils *et al.* bien que sa problématique, comparative, soit assez différente.

à propos
d'un problème
de génie
mécanique
en licence,
évaluation de
la maîtrise de
l'instrument
informatique

Il évalue la maîtrise de l'utilisation d'un instrument informatique dans un problème de génie mécanique en licence ; pour cette évaluation, il distingue, avec Rabardel, dans la maîtrise instrumentale deux types de schèmes : le schème d'action instrumentée pour lequel l'instrument est un moyen de réalisation et le schème d'action qui s'inscrit dans le premier et inclut des tâches "secondes" liées à un matériel particulier.

Dans les deux cas, c'est bien l'acquisition de la maîtrise de l'instrument et de ses performances qui est en jeu, au-delà des compétences de simple usage qui s'interposent obligatoirement et qui ont tendance à masquer les objectifs cognitifs. Ce problème est d'ailleurs aussi évoqué par M. Coquidé *et al.*

pour aider
l'enseignant à
faire démarrer
des manipulations
différentes
suivant
les élèves :
un outil
multimédia

Dans l'étude de Y. Cartonnet, une autre préoccupation est prise en compte : l'usage possible des nouvelles technologies comme aide pour l'enseignant chargé de faire démarrer les manipulations différentes des différents groupes d'élèves. Chaque enseignant confronté à ce problème apprend à gérer des priorités, à organiser son parcours entre les différents groupes pour que chacun puisse commencer son recueil de données avec un minimum d'information sur le fonctionnement de l'appareil qu'il va manipuler. Il n'empêche que dans cette phase initiale les sollicitations sont nombreuses. Un outil multimédia peut en partie jouer ce rôle de présentation du dispositif à manipuler. C'est dans cette perspective que le logiciel d'Assistance MultiMedia Interactive (AMMI) a été construit et testé.

distinction
expérience
expérimentation

Deux contributions, celle de V. Koulaidis et A. Tsatsaroni et celle de M. Arca, discutent la distinction entre expérience et expérimentation.

à travers
la relation
observation-
théorie

Celle de V. Koulaidis et A. Tsatsaroni revisite différentes positions épistémologiques sur la relation entre observation et théorie. Ils tentent de situer les modèles et les simulations dans leur place respective dans le champ de la pratique et discutent la relation entre le virtuel, le réel, le valide et le non-valide, le particulier et le général. Leur point de vue épistémologique débouche sur une discussion sur les conséquences pour l'enseignement scientifique du point de vue qu'ils développent.

passage de
l'expérience à
l'expérimentation
chez des
jeunes élèves

M. Arca envisage quant à elle le passage de l'expérience à l'expérimentation en s'appuyant sur quelques exemples issus d'observation auprès de jeunes élèves.

On retrouve de nombreux aspects évoqués dans d'autres contributions : les connaissances nécessaires pour qu'une expérience ne soit pas une pseudo démonstration, la lecture imposée d'une expérience, la multiplicité des buts d'un travail expérimental proposé aux élèves, la construction progressive d'un système explicatif par accumulation d'expériences par opposition à une expérience supposée "cruciale", le lien entre observation et intervention ; elle

soulève en particulier le problème de faire comprendre comment ce qu'on provoque informe sur ce qui se produit naturellement.

deux axes forts
d'investigation

Derrière la diversité des niveaux d'enseignement et des domaines scientifiques abordés, et celle des types de contribution, se dégagent deux axes forts d'investigation. Le premier concerne la place d'un référent empirique, la diversité des savoirs impliqués dans l'interrogation du monde, le rôle du quantitatif et de l'instrumentation dans les activités scientifiques. Le second concerne la production, l'objectivation et la caractérisation des activités proposées aux élèves dans la classe.

Bien évidemment, des questions restent à retravailler.

des questions
à approfondir

La spécificité des sciences de la vie et de la Terre quant à la multiplicité et la complexité des savoirs à mettre en œuvre dans l'exploration du monde pourrait être rediscutée et précisée à partir de travaux en sciences physiques.

Sous le qualificatif "empirique" apparaissent ainsi des sens et des usages différents, parfois contradictoires. Plusieurs articles dans ce numéro peuvent servir de base à une réflexion sur l'usage de ce terme.

Enfin, plusieurs cadres théoriques sont présentés, analysés, utilisés. Au-delà de la terminologie employée, ils seraient à situer les uns par rapport aux autres pour en analyser les différences, les convergences et la productivité pour de nouvelles problématiques.

Daniel BEAUFILS
IUFM de l'académie de Versailles

Claudine LARCHER
Unité "Didactique des sciences
Expérimentales", INRP

LES PRATIQUES EXPÉRIMENTALES DANS LES MANUELS SCOLAIRES DES LYCÉES (1850-1996)

Dominique Galiana

À l'aide d'une approche historique qui repose sur l'analyse de manuels scolaires français de biologie édités entre 1850 et 1996, nous avons analysé la mise en texte de la pratique expérimentale au lycée. Nous avons dégagé la notion d'expérience prototypique, référent empirique partagé par les élèves et les enseignants. Nous avons montré comment les fonctions des expériences ont évolué et se sont enrichies tout au long de notre période d'étude, notamment suite à la réforme des lycées de 1992. Nous avons enfin mis en évidence l'unique type de démarche logique mis en jeu dans les manuels scolaires (la suppression de la cause entraîne la disparition de l'effet) et montré que certains raisonnements utilisés dans les manuels scolaires étaient illégitimes.

perspective
historique pour
analyser
l'expérimental
dans la classe

Dans un travail consacré à l'expérimental dans les classes de biologie au lycée, nous avons choisi une approche historique de la pratique expérimentale basée sur l'étude des manuels scolaires. Pourquoi adopter une telle approche ? Parce que cela donne de la perspective à une analyse qui concerne l'expérimental dans les classes d'aujourd'hui et permet de situer les pratiques du présent par rapport à celles du passé. On peut alors saisir des évolutions et des permanences, des continuités et des ruptures à propos du statut et des fonctions des expériences sur le plan didactique. S'il n'est aucunement certain que les expériences décrites dans les manuels aient été exécutées en classe, celles-ci n'en constituent pas moins une référence à laquelle se sont reportés de nombreux enseignants et des générations d'élèves.

dépouillement
des manuels
portant sur le
concept de
photosynthèse...

Sur la période retenue, 1850 début de la mise en place d'un enseignement scientifique à 1996 date de la dernière réforme des lycées, il n'était pas possible de dépouiller les manuels scolaires dans leur intégralité. Nous avons retenu le concept de photosynthèse. Dans chaque manuel, nous avons analysé sur le plan de l'expérimental tous les chapitres se rapportant à ce sujet. Les raisons de ce choix sont simples :

- l'assimilation chlorophyllienne (ou photosynthèse, la dénomination varie avec les époques) est enseignée au lycée depuis 1850 sans interruption ;
- c'est un concept qui se prête bien à une approche expérimentale même si celle-ci est réductionniste.

... pour établir
des comparaisons
sur la pratique
expérimentale

Notre interrogation à l'origine de ce travail était la suivante : que s'est-il fait par le passé sur le plan expérimental en classe? Si pour des périodes récentes, il existe de nombreuses manières de récolter des données afin de répondre à la question précédente, il n'en est pas de même pour des périodes anciennes. L'une des voies possibles, celle que nous avons choisie, est de se pencher sur les manuels scolaires et d'établir des comparaisons. En effet, les manuels permettent de voir comment s'est effectuée la "mise en texte" de la pratique expérimentale. Après avoir défini notre méthodologie d'étude et caractérisé notre corpus, nous avons analysé :

- les expériences les plus fréquemment citées ;
- l'évolution historique du statut des expériences ;
- les démarches, la logique et les relations causales qui sont à l'œuvre.

1. MÉTHODOLOGIE DU RECUEIL DES DONNÉES

grille d'analyse
en sept champs

Le dépouillement des manuels scolaires a été réalisé à l'aide d'une grille d'analyse (voir en annexe) portant aussi bien sur le fond que sur la forme. Cette grille comportait plusieurs champs. Les trois premiers étaient destinés à identifier le manuel (date de parution, auteurs...), à qualifier la présentation graphique (type de photographie, de schéma...) et à analyser la structure des chapitres (présence ou non de documents, de résumé, à quelle place dans le chapitre...). Le quatrième visait à préciser le statut des expériences (monstratives, démonstratives...) ainsi que leur caractère (qualitatif ou quantitatif). Le cinquième champ devait permettre de situer la manière dont l'expérience était relatée dans le manuel (évoquée, présentée dans le détail...) et le niveau d'organisation choisi (plante entière, organe...). Le sixième champ devait permettre de définir les fonctions de l'expérience tant sur le plan scientifique que sur le plan pédagogique (mise en évidence de problème, initier un questionnement...).

Le dernier champ, enfin, était destiné à identifier les types de raisonnements, de causalités et le niveau conceptuel retenu dans la présentation du concept d'assimilation chlorophyllienne ou de photosynthèse.

Chaque manuel scolaire a été analysé à l'aide de cette grille. C'est à partir de cet outil et de la liste des expériences citées dans chaque manuel, que des comparaisons ont été effectuées et qu'une analyse a été réalisée. Nous ne présenterons ici que les résultats ayant trait au statut des expériences et aux modes de raisonnements mis en jeu dans le cadre de la démarche expérimentale.

2. DESCRIPTION DU CORPUS

Notre corpus est constitué de 88 manuels scolaires de biologie (liste en annexe) destinés aux élèves de 15 à 18 ans. Sur les 88 ouvrages analysés, 68 (71 %) présentent de manière plus ou moins explicite des expériences à propos de la photosynthèse. Parmi les 68 manuels qui relatent des expériences :

expériences sur
la photosynthèse
présentées dans
71 % des manuels
analysés

- 18 (27 %) en présentent 1 à 4 ;
- 24 (35 %) en présentent 5 à 10 ;
- 26 (38 %) en présentent plus de 10.

Ainsi, 73 % des 68 manuels relatent plus de 4 expériences à propos du concept de photosynthèse.

Pour tenter de mettre en évidence des évolutions temporelles, nous avons analysé le pourcentage de manuels présentant des expériences pour une période donnée. Ainsi de 1850 à 1900, 59 % des manuels présentent des expériences (10 sur 17). Sur la période 1901 à 1996, 80 % des manuels en présentent (57 sur 71). Ceci est à mettre en relation avec le fait qu'à partir de 1902, les travaux pratiques effectués par les élèves entrent officiellement dans les programmes d'enseignement. Une analyse plus fine montre que l'approche conceptuelle choisie et définie dans les programmes scolaires conditionne aussi la pratique expérimentale.

3. EXPÉRIENCES PROTOTYPIQUES ET RÉFÉRENT EMPIRIQUE

En dépouillant les manuels scolaires, nous avons eu l'impression que certaines expériences revenaient plus fréquemment que d'autres. Nous avons décidé d'examiner cet aspect afin de dégager le palmarès des expériences citées à propos du concept de photosynthèse.

3.1. Résultats

L'expérience la plus citée (présente dans 90 % des manuels scolaires de notre corpus) est dérivée d'une manipulation de Bonnet (1720-1793). Celui-ci plaça les feuilles d'un rameau de vigne dans de l'eau au soleil. Il constata l'apparition de bulles de gaz à la surface des feuilles. Il remarqua aussi que le même dispositif placé à l'obscurité ne produisait pas de gaz.

l'expérience la
plus citée, issue
des travaux de
Bonnet, met en
évidence le
dégagement
de dioxygène

Dans les manuels scolaires, l'expérience est généralement présentée ainsi : dans un cristalliseur rempli d'eau enrichie en dioxyde de carbone, on place des fragments végétaux sous un entonnoir recouvert d'un tube à dégagement gazeux ; on place le tout à la lumière ; à la fin de l'expérience,

le gaz accumulé dans le tube à dégagement est caractérisé par différentes méthodes (action sur le pyrogallate, action sur un point incandescent...). La conclusion invariablement tirée de cette expérience est qu'il y a eu, à la lumière, dégagement de dioxygène.

Dans les manuels scolaires postérieurs à la réforme des lycées de 1992, nous trouvons une variante de cette expérience réalisée grâce à la méthode EXAO (EXpérimentation Assistée par Ordinateur). Dans ce cas, à l'aide d'une sonde oxymétrique, on mesure la quantité de dioxygène dégagé en temps réel.

variation du
dégagement
d'O₂ en fonction
de l'éclairement

La seconde expérience, par la fréquence avec laquelle elle est citée (80 %), dérive de la première. Le dispositif expérimental est identique, la problématique est différente. Il s'agit de mettre en évidence des variations. Dans ce cas, on mesure l'intensité du dégagement gazeux en fonction de l'éclairement reçu par le végétal. Là aussi, une manipulation de type EXAO est possible.

séparation
des pigments
végétaux

La troisième expérience par ordre de citation (71 %) est relative à la séparation des pigments végétaux (chlorophylles, caroténoïdes, xanthophylle...). Le principe de cette manipulation remonte au XIX^e siècle. Un végétal chlorophyllien est broyé en présence d'éthanol ou d'acétone. On obtient après filtration une solution qui contient les divers pigments végétaux. Pour les séparer, on ajoute à cette solution du benzène (d'autres solvants sont aujourd'hui utilisés compte tenu de la toxicité du benzène). On obtient alors deux phases. La phase benzénique contient les chlorophylles *a* et *b*, l'autre contient la xanthophylle, les caroténoïdes... On peut ensuite obtenir la séparation des pigments par chromatographie sur papier ou sur couche mince.

spectre de la
chlorophylle

La quatrième expérience (64 %) concerne le spectre de la chlorophylle. On fait traverser une solution alcoolique fraîche de chlorophylle par un faisceau de lumière blanche. Le faisceau émergent est décomposé par un prisme ou un réseau. On peut alors déterminer sur un écran les bandes correspondant à l'absorption par la solution de chlorophylle.

production
d'amidon

La cinquième et dernière expérience que nous citerons (60 %) consiste en la mise en évidence de la production d'amidon par les feuilles exposées à la lumière. Cette caractérisation est réalisée grâce à l'eau iodée soit sur une feuille entière, c'est la méthode la plus classique, soit sur une préparation microscopique (entre lame et lamelle).

3.2. Discussion

sur presque
150 ans,
permanence de
la présentation
de certaines
expériences...

Au-delà de la simple constatation, la permanence avec laquelle certaines expériences sont présentées dans les manuels scolaires sur une période de presque 150 ans est étonnante. En effet, malgré de nombreux bouleversements de programmes, malgré des évolutions et des révolutions

pédagogiques ou conceptuelles liées à de nouvelles découvertes à propos du concept de photosynthèse, ce sont les mêmes expériences qui sont citées tout au long de notre période d'étude! Quelles sont les raisons et les conséquences de tels choix?

... simples à réaliser, limpides à interpréter

Pour ce qui concerne les raisons, plusieurs explications sont possibles. À propos des expériences qui dérivent de l'expérience de Bonnet et de celles concernant la séparation des pigments végétaux, nous faisons l'hypothèse que le facteur primordial est la simplicité. Ces manipulations sont à la fois simples à réaliser en classe (elles ne nécessitent que peu de matériel) et limpides quant à leur interprétation supposée (du gaz se dégage et il s'agit de dioxygène). Nous sommes, sur le plan de l'interprétation, dans le domaine de l'évidence. La conclusion est indiscutable.

ce n'est pas le cas de la synthèse d'amidon

Pour ce qui concerne la mise en évidence de la synthèse de l'amidon par les feuilles à la lumière le jour, il n'en est pas de même. Ce qui la rend quasiment incontournable, c'est qu'elle permet de montrer la synthèse d'un produit secondaire de la photosynthèse (amidon). C'est sur le plan conceptuel que cette expérience est utilisée. Elle permet de matérialiser l'existence d'une synthèse par un test coloré.

3.3. Conclusion

faits indiscutables, conclusions quelquefois abusives

Ce qui fait le succès de ces expériences dans les manuels scolaires, c'est qu'elles donnent à voir des faits indiscutables. On peut en tirer des conclusions elles aussi indiscutables mais quelquefois abusives. Ainsi, l'expérience de Bonnet permet de mettre en évidence un dégagement gazeux à la surface des feuilles d'un végétal chlorophyllien soumis à l'action de la lumière. On peut montrer uniquement que le gaz dégagé contient de l'O₂.

vision expérimentale rituelle et stéréotypée

Les expériences choisies par les auteurs de manuels scolaires ne sont pas indifférentes. Elles induisent auprès des enseignants et des élèves une vision de ce qu'est le travail du biologiste, de ce qu'est un végétal, mais aussi de ce qui fait preuve. En privilégiant ce qui donne à voir, on privilégie l'*experientia*, l'observation de sens commun, au détriment de l'*experimentum*, l'expérience construite et réfléchie élaborée dans le cadre d'un programme scientifique de recherche (cette distinction est héritée d'Aristote : Licoppe, 1996). Enfin, la répétition des mêmes expériences citées de la même manière pendant des générations façonne une vision expérimentale rituelle et stéréotypée. Pour démontrer ceci ou cela, il faut procéder toujours de la même manière et certaines expériences sont incontournables. Il y a construction d'un référent empirique ("*l'ensemble des objets, phénomènes et procédés pris en compte - par expérience directe ou par évocation - et des premières connaissances d'ordre pratique qui leur sont associées*" : Martinand, 1995) partagé par les élèves et les enseignants. Dans ce contexte

d'évidences et d'habitudes, il est impossible de prendre du recul. Devant ce qui paraît évident, comment soupçonner ce qui est construit, ce qui est scientifique ?

4. ÉVOLUTION DU STATUT DE L'EXPÉRIENCE DANS LES MANUELS SCOLAIRES

Si nous avons mis en évidence des grands classiques de l'expérimental, il nous faut aller plus loin pour percevoir quel est le statut scientifique et didactique des expériences. Il faut entrer dans le détail du cours présenté dans chaque manuel scolaire ;

Nous avons distingué quatre grandes périodes dans notre analyse des manuels, en nous basant sur le statut des expériences :

- 1850-1950 : l'expérience est illustrative, elle a un statut de preuve ;
- 1951-1980 : introduction des méthodes dites de redécouvertes, l'expérience précède la théorie ;
- 1981-1992 : l'introduction d'une approche résolument écologique de la photosynthèse induit une approche plus théorique, l'expérience toujours première perd de son importance ;
- 1992-1996 : mise en place de la nouvelle réforme des lycées et introduction de la méthode EXAO (acquisition de données grâce à l'outil informatique).

Pour illustrer les principales caractéristiques de chaque période, nous avons choisi de présenter en exemple un manuel.

4.1. Première période (1850-1950)

L'analyse porte sur 35 manuels scolaires dont 29 (78 %) comportent des descriptions d'expériences.

• Langlebert (1884)

Les manuels de cet auteur ont été publiés pendant de nombreuses années (plus de 30 ans) sans grandes retouches.

- Présentation

Ce manuel présente peu de schémas et ceux-ci sont de type figuratif.

- Structure des chapitres

Il s'agit d'un cours qui se termine par un résumé ou une synthèse. L'auteur y présente des expériences dans le corps du discours. La variabilité (spécifique, individuelle ou temporelle) des organismes vivants n'est pas prise en compte.

quatre
grandes
périodes
concernant
le statut des
expériences

expériences
démonstratives
ou monstratives

– Les expériences sont le plus souvent évoquées, elles sont démonstratives ou monstratives, elles sont essentiellement qualitatives. Il y a peu d'accumulation.

Les deux expériences citées dans le texte de Langlebert à propos de l'assimilation chlorophyllienne ont pour fonction la mise en évidence pour renforcer un discours théorique. Elles ont aussi pour fonction la mise en évidence de relations entre différents facteurs.

évidente facilité
de la vérification

– Dans un paragraphe intitulé "*Respiration des végétaux. Fonction chlorophyllienne ; son influence sur l'air ambiant*" ; Langlebert écrit : "*Rien de plus facile que de démontrer expérimentalement le dégagement d'oxygène par les parties vertes des plantes sous l'action de la lumière solaire. Il suffit pour cela de placer des feuilles vivantes sous une cloche exactement remplie d'eau (fig. 42 bis) et de les exposer ensuite au soleil. On voit bientôt des bulles de gaz se détacher de leur surface et se réunir à la partie supérieure de la cloche.*" La démarche est du type "*on fait... on voit*". Comme de nombreux auteurs à l'époque, Langlebert insiste sur l'évidente facilité de la vérification. Des termes comme "*il suffit*", "*on voit bientôt*", "*rien de plus facile*" sont évocateurs à ce sujet.

• Discussion

Les grandes caractéristiques de cette époque sont les suivantes.

grande uniformité
des ouvrages

– Sur le plan de la présentation tout d'abord, il existe une grande uniformité. Tous les ouvrages de cette période se présentent sous forme d'un discours théorique illustré d'expériences en nombre plus ou moins important. Surtout au début de notre période, nous constatons ce que Licoppe appelle des accumulations. Il s'agit, pour rendre crédible une affirmation, de citer plusieurs expériences qui confortent les affirmations produites.

expériences
pour mettre
en évidence

– Pour ce qui concerne le statut des expériences, celles-ci ont pour objet principal la mise en évidence. Quelques expériences ont pour objet la mise en évidence de relations ou l'apprentissage de la comparaison. Globalement, il est toujours facile de mettre en évidence et il est évident de voir ce qui doit se passer.

expérience
comme preuve

Le discours est donc un discours généraliste qui concerne des principes applicables de la même manière à tous les végétaux chlorophylliens. L'expérience émaille le discours de preuves dont l'évidence est soulignée (approche empirique). L'expérience est conçue comme preuve.

4.2. Seconde période (1951-1980)

Notre corpus pour cette période comprend 21 manuels scolaires dont 20 (96 %) relatent une ou plusieurs expériences.

apparition de la "méthode de redécouverte" promue par Brunold

Le fait marquant de cette période est l'apparition des méthodes dites de redécouverte. Celles-ci ont été promues par Brunold, Inspecteur Général de l'Instruction Publique. Dénonçant le mythe de certaines méthodes actives pratiquées parce que censées être moins dogmatiques, Brunold propose la sienne "... *si l'histoire des sciences ne peut constituer le fond de notre enseignement, elle peut inspirer la méthode de celui-ci, en lui proposant de faire parcourir rapidement aux élèves, dans l'étude d'une question donnée, le chemin que les savants de toutes les époques ont suivi dans la même étude. En bref, la pédagogie scientifique doit être une pédagogie de la 'redécouverte'*" (Brunold, 1948).

aberration sur le plan de la logique

Partant de l'expérience, dans cette approche, on demande aux élèves de redécouvrir la théorie qui a servi de cadre conceptuel pour l'élaboration de celle-ci. Il s'agit, sur le plan de la logique, d'une aberration. Gohau (1987) signale combien cette méthode est au moins aussi dogmatique que les précédentes : il s'agit en fait de fonder la théorie sur la pratique expérimentale conçue comme indiscutable.

• **Camefort et Gama (1953)**

– **Présentation**

Ce manuel présente de nombreuses photographies ainsi que de grands schémas pour illustrer les montages expérimentaux ou pour présenter des protocoles d'expériences. Le cours est articulé autour des expériences.

– **Structure des chapitres**

expériences démonstratives, introductives ou monstratives

Les chapitres débutent par une introduction présentant le problème. La suite est structurée en sous-éléments. Les expériences sont le plus souvent évoquées, elles sont souvent présentées avant le discours théorique. Celui-ci est le fruit de celles-là. Les expériences sont démonstratives, introductives ou monstratives. Il y a des accumulations notamment à propos du rôle de la chlorophylle (pp. 434-435).

encore surtout fonction de mise en évidence

– Les expériences citées dans le texte de Camefort & Gama à propos de l'assimilation chlorophyllienne ont pour fonction la mise en évidence d'un phénomène, la mise en évidence de relations, la mise en évidence d'un problème ou sa résolution et enfin l'apprentissage de la comparaison. Les auteurs insistent sur la fonction de mise en évidence ou de démonstration de l'expérience. Celle-ci "... *montre la présence de l'amidon...*" (p. 421) ou encore "*Le dégagement d'oxygène par les végétaux chlorophylliens exposés à la lumière peut également être démontré...*" (p. 424). De temps à autre, nous retrouvons encore des tournures du type "... *il est facile de vérifier...*" (p. 426), mais cela devient rare. Plus important, nous trouvons, dans ce manuel, des critiques des méthodes expérimentales. Ainsi, page 427, nous trouvons une critique de la méthode des bulles et, page 428, une critique de la méthode consistant à employer des anesthésiques pour mesurer l'intensité des seuls échanges respiratoires.

des critiques de méthodes expérimentales apparaissent

• Discussion

plus grande
importance des
expériences en
terme de surface

statuts plus variés

Nous constatons bien le changement fondamental lié aux méthodes de redécouverte : le cours est construit autour des expériences et non l'inverse. En conséquence, l'aspect des manuels scolaires de cette période est largement modifié : les expériences acquièrent une plus grande importance en terme de surface. Les dessins deviennent de plus en plus grands et de moins en moins figuratifs. Les descriptions expérimentales sont de plus en plus précises. Le parti pris semble être ici (conformément aux prescriptions de Brunold) que les élèves doivent pouvoir réaliser eux-mêmes les expériences décrites dans les ouvrages scolaires. Globalement, les expériences présentées dans ce manuel scolaire ont des statuts plus variés que précédemment : mise en évidence d'un problème ou d'un phénomène (c'est classique), mais aussi mise en évidence de relations ou apprentissage de la comparaison (de situations expérimentales).

4.3. Troisième période (1981-1992)

Notre analyse des manuels scolaires portera sur un ensemble de 23 manuels, dont 11 (47 %) décrivent plus ou moins explicitement des expériences.

• Cloarec et al. (1985)

- Présentation

Ce manuel présente des photographies et de grands schémas pour illustrer les montages expérimentaux ou des protocoles d'expériences.

- Structure des chapitres

nombreux
documents

essai de
problématisation

expériences de
mise en évidence
très rapidement
évoquées

Les chapitres consistent en un cours qui est illustré de nombreux documents (tableaux de données, cartes, dispositifs expérimentaux...). Le chapitre intitulé "*La production primaire*" débute par un paragraphe faisant le point des apports des connaissances, et comprend deux photographies dont la légende est "*L'agriculteur sème au printemps 30 kg de grains de maïs à l'hectare. Il récolte à l'automne environ 8 à 12 tonnes de grains sur la même superficie. Si l'on ajoute les 6 à 8 tonnes de paille et racines laissées dans le champ, cela représente une importante quantité de matière végétale produite pendant la période de végétation du maïs : c'est la production primaire*" (page 166). Il s'agit d'un essai de problématisation. Les expériences sont le plus souvent évoquées, elles sont souvent présentées avant le discours théorique. Les expériences sont démonstratives, introductives ou monstratives, elles sont qualitatives pour la plupart.

- Les expériences citées dans le texte de Cloarec et al. à propos de la photosynthèse ont pour fonction la mise en évidence d'un phénomène ou d'un problème. Elles sont très rapidement évoquées, ainsi page 171, nous pouvons lire :

“L’utilisation de feuilles qui ne sont pas uniformément vertes (fig. 12) montre que la formation d’amidon n’a lieu que dans les parties chlorophylliennes...”

• Discussion

raréfaction de
la référence
à l’expérimental

Le trait majeur de cette période est un changement d’orientation assez sensible pour ce qui concerne l’approche conceptuelle de la photosynthèse. Ces modifications impliquent bien entendu des conséquences sur les méthodes pédagogiques et notamment la pratique expérimentale en classe. On constate la raréfaction de la référence à l’expérimental dans les manuels scolaires. Au point que bien souvent, il n’est plus fait référence à nos “grands classiques” (les expériences prototypiques) définis comme référents empiriques.

4.4. Quatrième période (1992-1996)

Cette analyse concerne 7 manuels scolaires issus de la réforme de 1992 (*Bulletin Officiel de l’Éducation Nationale*, tomes 1 et 2, 1992) qui présentent tous des expériences.

• Le Bellegard et al. (1993)

– Présentation

Ce manuel présente de nombreuses photographies ainsi que des schémas.

– Structure des chapitres

préliminaires
conséquents
en début
de chapitre

Les chapitres débutent par des préliminaires. Par exemple, page 54, nous avons : “S’interroger sur les aliments essentiels au développement des végétaux” (p. 53). À la suite de quoi, trois documents sont proposés qui permettent de poser un certain nombre de questions (“Comment expliquez-vous le développement des végétaux dans la grotte de Lascaux (doc. 3) ?”). Le tout est suivi d’une page intitulée “Se remettre en mémoire la définition d’un végétal chlorophyllien” qui se termine par un paragraphe intitulé “En bref”. Celui-ci récapitule l’essentiel de ce qui a été dit auparavant et comprend les objectifs du cours qui va suivre (“Mettre en évidence les matières prélevées par le végétal chlorophyllien dans le monde extérieur pour assurer son autotrophie, Découvrir les substances rejetées par le végétal chlorophyllien dans son environnement, Comprendre les transformations effectuées par le végétal chlorophyllien pour élaborer sa propre matière”). Suivent alors de nombreux documents (les activités) qui comportent toujours un guide d’exploitation sous forme de questions portant sur l’analyse des résultats, les hypothèses envisageables, leur vérification, mais aussi la conception d’une expérimentation ou l’élaboration d’une synthèse à partir de plusieurs informations. Enfin, nous trouvons à la suite de cela un bilan des activités pratiques et la synthèse du chapitre (“L’essentiel à retenir”). Les expé-

les expériences
seulement
évoquées...

riences sont monstratives ou démonstratives, elles sont évoquées. En effet les protocoles sont rarement cités avec précision.

... ont des
fonctions de mise
en évidence
ou initient un
questionnement,
un apprentissage
technique...

– Les expériences citées dans le texte à propos de la photosynthèse ont pour fonction la mise en évidence d'un phénomène ou d'un problème, la mise en évidence de relations, l'apprentissage de la comparaison, d'initier un questionnement mais aussi d'initier un apprentissage technique, de permettre la résolution d'un problème, de faire émerger des représentations. Il s'agit, aussi souvent que possible d'EXAO. Pour initier l'apprentissage technique, les auteurs demandent aux élèves de critiquer un protocole expérimental, de proposer un montage expérimental, etc.

• Discussion

réelle évolution
des manuels

L'analyse des manuels de cette période montre une réelle évolution de ceux-ci. Sur le fond, notons une très grande uniformité dans la présentation des manuels. Cela est peut-être dû au fait que : *“Pour s'assurer que les manuels constitueront une bonne courroie de transmission [des nouveaux programmes], la Direction des lycées et collèges a provoqué plusieurs réunions entre les GTD [Groupes Techniques Disciplinaires] et les équipes de rédaction des éditions scolaires”* (Sciences & Vie, 1992).

application
des instructions
officielles

Nous pouvons constater que les auteurs de manuels scolaires ont appliqué avec zèle les instructions officielles (*Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale*, tomes 1 et 2, 1992) concernant l'articulation expérience-cours. Il s'agit bien, selon une conception de type empiriste (conforme aux méthodes de redécouverte), de partir de l'observable, du fait d'expérience pour bâtir des connaissances scientifiques.

vers un
développement
de l'esprit critique
des élèves

C'est durant cette période que les expériences ont les fonctions les plus variées. Mais, il apparaît des éléments radicalement nouveaux : l'accent est en effet mis sur la critique de protocoles, sur l'explication de telle ou telle réalisation (témoin...), sur l'apprentissage d'une démarche ou d'une méthode. Cela va dans le sens du développement de l'esprit critique des élèves.

5. DÉMARCHE, LOGIQUE ET CAUSALITÉ EN MILIEU SCOLAIRE

concernant la
démarche...

Si l'expérience est un élément important de la pratique expérimentale, la démarche mise en œuvre, la logique et les relations causales évoquées ont aussi un intérêt primordial. Il est nécessaire pour les élèves de lycée d'apprendre à intégrer l'expérience au sein de cet ensemble qui lui donne sa cohérence et sa rigueur. Afin de voir comment peut se faire cet apprentissage de la démarche expérimentale, nous avons

passé en revue les manuels scolaires français à propos du concept de photosynthèse en examinant cet aspect. Celui-ci avait été pris en compte dans notre grille d'analyse des manuels scolaires dans un champ spécifique (le dernier). Pour mener à bien cette analyse, nous nous sommes inspiré des périodes définies pour l'analyse des manuels sur le plan de l'expérimental. Il nous est alors apparu que sur le plan de la démarche, nous pouvions ne distinguer que deux grandes périodes :

... deux
grandes
périodes

- 1850-1950, l'expérience vient confirmer la théorie dont elle est une déduction ;
- 1951-1996, l'expérience est première et permet de déduire la théorie suivant une logique inductive.

5.1. Première période, 1850-1950

• Logique expérimentale

logique
essentiellement
déductive

Dans les manuels de cette période, la logique est essentiellement déductive. Selon un plan stéréotypé, le cours se présente sous forme d'un discours théorique dont on déduit un certain nombre de faits expérimentaux qui ont valeur de preuve.

Chez Crie (1887 ?), on peut lire par exemple : "**Les animaux ne peuvent se suffire et ont besoin des végétaux.** - C'est la chlorophylle qui assure l'harmonie et maintient la pureté de l'atmosphère, et cette matière est répartie de telle sorte, dans les deux règnes, que les animaux ne peuvent se suffire et ont besoin des végétaux." (page 98).

des arguments :
les "observations
vulgaires"
chez Crie...

Voilà pour la théorie. À l'appui de celle-ci, viennent des arguments intitulés "observations vulgaires" : "Des observations vulgaires mettent en évidence l'action purifiante du végétal sur le milieu. On sait que certains milieux confinés, tels que les bassins, les aquariums, etc., ne restent propres à entretenir la vie des animaux qu'autant qu'ils contiennent en même temps des végétaux. Ainsi, on voit tous les jours des abreuvoirs alimentés par la même cause se comporter différemment lorsque les parois sont recouvertes d'un revêtement végétal verdâtre, ou qu'au contraire, le revêtement fait défaut" (page 98). Les connaissances sont ancrées sur le concret, l'*experientia*. Les observations vulgaires constituent bien un élément argumentatif.

... des expériences
fondamentales
chez Pizon

Si chez Crie, les preuves sont appelées "observations vulgaires", chez Pizon (1927), il s'agit d'expériences fondamentales : "Des plantes aquatiques vertes sont mises dans une éprouvette remplie d'eau et exposée à la lumière : 1° des bulles d'oxygène se dégagent de la surface des feuilles et s'accumulent au sommet de l'éprouvette : une allumette n'ayant plus qu'un point rouge se rallume dans ce gaz ; 2° l'analyse chimique des gaz dissous dans l'eau, montre que celle-ci a perdu une partie du CO^2 qu'elle renfermait.

En faisant l'expérience en mettant l'éprouvette à l'obscurité, il n'y a plus de dégagement d'O² ni d'absorption de CO²; la plante n'a fait que respirer en absorbant O² et en dégageant du CO² qui s'est dissous dans l'eau." (page 130).

un exemple
d'analyse
abusive

Sur le plan de la logique mise en œuvre lors de l'interprétation des résultats expérimentaux, il apparaît souvent ce que nous appellerons l'analyse abusive. Obré (1946) nous en fournit un exemple. Dans le chapitre "Assimilation chlorophyllienne" et à propos des mêmes expériences, les conclusions suivantes sont proposées : "Donc, une plante verte exposée à la lumière absorbe le gaz carbonique de l'air, rejette de l'oxygène et fait un gain de carbone." (page 502). Or, ce dernier élément n'est pas le fruit de l'expérience. Le seul argument invoqué à ce propos est le suivant : "l'air de la cloche [il s'agit ici de la culture sous cloche, donc en atmosphère confinée, d'un végétal vert] s'est appauvri en gaz carbonique et enrichi en oxygène. Bien plus, la plante dans ces conditions s'est enrichie d'un poids de carbone précisément égal à celui contenu dans le gaz carbonique disparu." (page 502). Il n'est pas démontré expérimentalement que "la plante... s'est enrichie d'un poids de carbone précisément égal à celui contenu dans le gaz carbonique disparu".

• Causalité

sans la cause,
l'effet cesse...

Sur le plan de la causalité, nous sommes dans l'application classique du schéma issu de Galien *sublata causa, tollitur effectus*. Sans la cause, par exemple la lumière, l'effet (dégagement gazeux) cesse. La contre-expérience en absence de lumière est censée démontrer que la lumière est cause nécessaire et suffisante de la photosynthèse (Pizon, 1930, p. 454). Cela n'est vrai que dans des conditions où aucun autre facteur n'est limitant et seulement dans ce cas, ce qui n'est pas signalé. Si par exemple, il y avait eu absence de CO₂ dans l'eau, le dégagement gazeux ne se serait pas produit, même en présence de lumière.

... si aucun
autre facteur
n'est limitant

• Discussion

Concernant la logique et son apprentissage grâce à la pratique expérimentale, constatons que privilégier un type d'approche (déductive pour cette période), c'est donner une fausse image de la pratique scientifique. Il n'est pas possible lors de la construction de concepts ou de modèles, de n'avoir recours qu'à la logique déductive.

la construction
des concepts
scientifiques
ne se limite pas
à la logique
déductive

Toujours sur le plan de la logique, s'il faut que les élèves fassent l'apprentissage de la déduction, encore faut-il être rigoureux dans les exemples qui leur sont présentés et veiller à ne pas aboutir à des conclusions illégitimes. Peut-être est-ce là une maladresse due à l'empressement des auteurs à apporter des connaissances nouvelles sous couvert d'expériences ? Quitte à ce que certaines de ces connaissances ne découlent pas logiquement des expériences citées.

Enfin, sur le plan de la causalité, le raisonnement est du type "si l'on supprime la cause, l'effet cesse". Il n'est pas fait de distinction entre une condition nécessaire au déroulement d'un phénomène et une condition nécessaire et suffisante.

5.2. Seconde période, 1950-1996

• *Logique expérimentale*

logique
essentiellement
inductive

Dans les manuels scolaires de cette période, la logique est essentiellement inductive. Suite à l'introduction des méthodes de redécouverte, il s'agit de partir de l'expérience et par généralisation, d'aboutir à la théorie. On passe donc du particulier lié à une ou plusieurs expériences à sa généralisation par induction. Or l'induction n'est pas une opération valide sur le plan de la logique (ce qui ne veut pas dire que l'induction n'est pas une opération utile à la construction des connaissances). Il y a donc là un problème en terme d'apprentissage.

un exemple
dans le manuel
de Théron (1964)

Le manuel de Théron (1964) permet d'avoir un exemple de la logique mise en œuvre durant cette période. À propos de l'origine du carbone (et de la fonction chlorophyllienne, p. 165), l'auteur situe le cadre théorique et pose une question : "*Comment le gaz carbonique est-il absorbé par la plante et que devient-il ?*" (p. 165). Suit alors un paragraphe intitulé "*Mise en évidence du phénomène*". Trois expériences sont alors présentées. La première concerne la mise en évidence de la synthèse d'amidon dans des feuilles panachées exposées à la lumière avec ou sans cache. La conclusion à laquelle aboutit l'auteur est la suivante : "*Les végétaux chlorophylliens sont capables à la lumière, d'effectuer la synthèse des glucides : c'est ce que l'on appelle la photosynthèse.*" (p. 168). Nous sommes bien dans le cadre d'une induction. Le même procédé est utilisé avec les deux expériences citées à la suite de celle-ci et ainsi de suite tout au long du chapitre.

utilisation de
l'induction
encore plus
radicale
après 1992

Dans les manuels issus de la réforme des lycées de 1992, l'utilisation de l'induction est encore plus radicale. Ainsi dans le manuel de Le Bellegard *et al.* (1993), un chapitre débute par des activités (le plus souvent possible expérimentales). Celles-ci sont accompagnées d'un questionnaire portant sur le protocole expérimental, les hypothèses, les résultats obtenus. Vient ensuite un bilan des activités qui est en fait une généralisation des résultats obtenus par l'intermédiaire des expériences présentées dans les activités. Enfin vient une synthèse ("*L'essentiel à retenir*").

l'usage des
indicateurs
colorés...

Sur le plan de la logique expérimentale mise en œuvre lors de l'interprétation des résultats expérimentaux, un autre problème apparaît durant cette période, consécutif à l'utilisation de plus en plus fréquente d'indicateurs colorés. Les indicateurs colorés permettent de matérialiser les phéno-

mêmes mis en jeu par le biais d'un changement de couleur. Jusqu'à présent, par exemple, le dégagement de dioxygène lors de la photosynthèse était caractérisé par des tests simples (fixation par un composé chimique ou combustion ravivée à partir du point incandescent d'une allumette). Voici comment Théron (1964) présente maintenant ces expériences :

"Plaçons un fragment de plante verte aquatique dans un tube à essais contenant une solution de bleu de méthylène. Celui-ci est ensuite décoloré par un réducteur comme l'hydrosulfite de sodium. Une petite couche d'huile le met à l'abri de l'oxygène de l'air. Le tube est ensuite porté à la lumière. La plante émet alors un gaz qui fait réapparaître la couleur bleue. Ce gaz est donc bien de l'oxygène." (page 176).

... peut conduire à des interprétations abusives

Dans l'expérience citée, il n'a pas été démontré que le gaz était de l'oxygène. Il a été montré (sans témoin, ce qui rend cette démonstration incomplète) qu'un composé oxydé le bleu de méthylène réduit et provoqué sa recoloration. Rien ne permet d'inférer la nature de ce composé oxydant. Dire qu'il s'agit de l'oxygène ne peut être que formuler une hypothèse (qu'il faudrait vérifier) et non un résultat.

Nous retrouvons les mêmes erreurs dans d'autres manuels scolaires tout au long de cette période, soit à propos de l'expérience au bleu de méthylène (par exemple Cloarec *et al.*, 1985), soit à propos d'autres expériences (avec du rouge de crésol, par exemple Decerier *et al.*, 1988).

• Causalité

toujours le principe de Galien

Sur ce plan, cette période ne présente pas d'avancée significative. Nous sommes toujours dans le registre de l'unicité de la cause et de l'effet. La causalité s'articule toujours autour du principe de Galien, la suppression de la cause entraîne celle de l'effet. Pas plus que pour la période précédente il n'y a distinction entre condition nécessaire et condition nécessaire et suffisante.

• Discussion

l'exclusivité de la logique inductive pose problème

Comme nous l'avons déjà souligné, le fait que les auteurs de manuels utilisent une logique inductive n'est pas en soi un problème. C'est l'exclusivité de cette utilisation qui pose problème. En ne recourant qu'à l'induction, il est impossible de rendre compte du travail scientifique dans toute sa richesse.

le "voir" s'oppose au "construire"

Sur le plan de la logique expérimentale, la propension des auteurs à utiliser des tests colorés pour la mise en évidence des phénomènes pose de nouveaux problèmes didactiques. Comment en effet passer de la variation de couleur d'un indicateur à l'interprétation d'un phénomène biologique ? Comment conclure sans tomber dans l'analyse illégitime ? Dans ce contexte, le "voir" s'oppose au "construire" qui caractérise l'acquisition d'un véritable esprit scientifique.

encore l'influence
des méthodes
de redécouverte

Concernant l'apprentissage de la causalité, il n'y a guère d'évolution par rapport à la période précédente.

Autre constat, les méthodes de redécouverte imprègnent toujours notre culture pédagogique. Nous serions tentés de dire avec Gohau (1987) : "... Il s'agit de tirer sans indulgence la leçon d'un échec dont la pédagogie française n'est pas encore parvenue à sortir." Ce texte ayant été écrit en 1987, constatons que 12 ans après, et malgré une réforme importante, les errements sont toujours les mêmes !

CONCLUSION

L'analyse que nous avons conduite concerne 88 manuels scolaires de 1850 à 1996 à propos du concept de photosynthèse. Cette analyse nous a amené à souligner les points suivants.

les expériences
prototypiques :
réfèrent
empirique des
enseignants
et des élèves

Le premier concerne les expériences prototypiques. Ces expériences sont devenues par habitude des passages obligés. Il n'est guère possible aujourd'hui encore de parler de photosynthèse sans les évoquer. Nous les avons qualifiées de prototypiques en ce sens qu'elles définissent, malgré des bouleversements conceptuels et pédagogiques, le référent empirique des enseignants et des élèves à propos du concept de photosynthèse. Il peut sembler, dans les manuels récents, que ces expériences quittent un peu le devant de la scène au profit d'autres plus "modernes" (EXAO). En réalité, un examen minutieux permet de distinguer, sous le vernis de la modernité, la similarité des expériences décrites.

fonctions des
expériences
plus diversifiées
après 1992

Sur le plan des fonctions dévolues aux expériences, les évolutions se font surtout sentir en France après la réforme de 1992. C'est durant cette période que les fonctions des expériences sont les plus diversifiées. C'est aussi durant cette période qu'apparaissent des pratiques nouvelles en matière de questionnement. À partir des documents et des protocoles expérimentaux, les questions posées aux élèves visent plus à faire s'exercer l'esprit critique de ceux-ci tant vis-à-vis des protocoles que des résultats obtenus ou des hypothèses retenues.

des améliorations
à apporter sur le
plan de la logique
expérimentale

Sur le plan de la logique expérimentale, nous avons souligné les erreurs rencontrées dans les manuels (interprétations abusives, imposition dogmatique du savoir sous couvert de l'expérience...). Nous avons montré que l'unique démarche logique utilisée relevait de Galien (la suppression de la cause entraîne la suppression de l'effet) et qu'il n'y avait pas apprentissage de la distinction entre une condition nécessaire et une condition nécessaire et suffisante.

Enfin, nous avons dénoncé l'utilisation trop exclusive d'une logique qui est soit presque uniquement déductive, soit, à l'occa-

l'expérimentation
scientifique :
un processus
pour construire
de nouvelles
connaissances

sion de l'introduction des méthodes de redécouverte, presque uniquement inductive. Nous avons pu constater combien les méthodes de redécouvertes imprègnent encore notre culture pédagogique. Ceci même après la réforme de 1992 !

Pour terminer tout à fait, nous citerons Billard (1994) en affirmant : "*L'expérimentation scientifique n'est pas une simple vérification empirique. Elle n'est pas non plus une observation.*" Plus qu'un simple exercice de logique, l'expérimentation scientifique est une manière de résoudre certains problèmes scientifiques par la mise en place d'une expérimentation (lorsque cela est possible) ou par une observation déterminée. Plus qu'une démarche, c'est un processus qui permet d'aboutir à la construction de connaissances nouvelles. C'est à ce titre de processus dynamique et producteur de savoir qu'elle doit être appréhendée par les élèves. L'enjeu est de taille : redonner aux jeunes le goût de faire de la science. C'est l'objectif prioritaire, rappelons-le, de la réforme de 1992 !

Dominique GALIANA
GDSTC/LIREST, ENS Cachan

BIBLIOGRAPHIE

BILLARD, J. (1994). *Le pourquoi des choses. Pour une pédagogie de la causalité.* Paris : Nathan.

BRUNOLD, C. (1948). *Esquisse d'une pédagogie de la redécouverte dans l'enseignement.* Paris : Masson.

GOHAU, G. (1987). Difficultés d'une pédagogie de la découverte dans l'enseignement des sciences. *Aster*, 5, 49-69. Paris : INRP.

LICOPPE, C. (1996). *La formation de la pratique scientifique.* Paris : La Découverte.

MARTINAND, J.-L. (1995). La référence et l'obstacle. *perspectives documentaires en éducation*, 34. Paris : INRP.

Ministère de l'Éducation Nationale. *Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, Nouveaux programmes des classes de seconde, première et terminale des lycées*, Tome 1 : programmes de la classe de seconde générale et technologique. Numéro hors série du 24/09/92.

Ministère de l'Éducation Nationale. *Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, Nouveaux programmes des classes de seconde, première et terminale des lycées*, Tome 2 : programmes des disciplines des classes de première des séries ES, L et S et de technologie industrielle des classes de première et de terminale de la série S. Numéro hors série du 24/09/92.

Science & Vie, Sciences à l'école : les raisons d'un malaise, n° 180, hors série ; septembre 1992.

ANNEXES

LISTE DES MANUELS SCOLAIRES

1850-1950

DE JUSSIEU, A. (1857). *Botanique*, 7^e édition. Paris : Masson.

YSABEAU, A. (1861). *Leçons élémentaires d'agriculture* (à l'usage des écoles normales, des écoles primaires supérieures et des écoles professionnelles). Paris.

DE MONTMAHOU, M.-C. (1875). *Cours d'histoire naturelle à l'usage des élèves de la classe de philosophie*. Paris : Delagrave.

LANGLEBERT, J. (1875). *Cours d'études scientifiques. Rédigé d'après les programmes officiels des lycées prescrits pour les examens du baccalauréat. Manuel d'histoire naturelle*, 27^e édition. Paris : Delalain et fils.

LANGLEBERT, J. (1881). *Manuel d'histoire naturelle*, 39^e édition. Paris : Delalain et fils.

LANGLEBERT, J. (1884). *Histoire naturelle*. Paris : Delalain et frères.

BAILLON, H. (1882). *Anatomie et physiologie végétales*. Paris : Hachette.

FOCILLON, A.-D. (1883). *Cours élémentaire d'histoire naturelle*. Paris : Delagrave.

GOSSELET, J. (1885). *Cours élémentaire de botanique à l'usage de l'enseignement secondaire classique et de l'enseignement secondaire spécial*. Paris : Belin.

CRIE, L. (1887?). *Anatomie et physiologie végétales* (pour les candidats au baccalauréat ès lettres et au baccalauréat de l'enseignement spécial et les élèves des écoles normales). Paris : Doin.

LANGLEBERT, J. (1887). *Manuel d'histoire naturelle*, 51^e édition. Paris : Delalain et fils.

Anonyme (1896). *Éléments d'histoire naturelle*. Paris : André-Guédon.

Anonyme (1897). *Leçons d'agriculture par les frères des écoles chrétiennes*. Tours : Mame et fils ; Paris : Poussielgue.

BONNIER, G. (1898). *Cours complet d'histoire naturelle*. Paris : Dupont.

CAUSTIER, E. (1898). *Histoire naturelle* (manuel du baccalauréat de l'enseignement secondaire). Paris : Nony.

DAGUILLON, A. (1898). *Anatomie et physiologie végétales*. Paris : Belin.

CAUSTIER, E. (1905). *Anatomie et physiologie animales et végétales* (Philosophie A et B, Mathématiques A et B, écoles normales, etc.). Paris : Vuibert & Nony.

LANGLEBERT, J. (1905). *Histoire naturelle*, 63^e édition. Paris : Delalain.

AUBERT, E. (1907). *Le monde organisé. Zoologie et hygiène. Paléontologie, botanique*. Paris : André.

- LAMOURETTE, B. & WATEL, E. (1908). *Cours de sciences naturelles*. Alger : Carbonel.
- LANGLEBERT, J. (1908). *Histoire naturelle*, 69^e édition. Paris : Delalain.
- CAUSTIER, E. (1914). *Sciences naturelles à l'usage des classes de philosophie et de mathématiques*, 20^e édition. Paris : Vuibert.
- JOXE, A. (1914). *Cours d'histoire naturelle ; Anatomie et physiologie animales et végétales, géologie, hygiène*. Paris : Belin.
- MARTIN, B. & COUPIN, H. (1921). *Cours de sciences naturelles, enseignement secondaire de Jeunes Filles*. Paris : Nathan.
- PIZON, A. (1923). *Précis d'histoire naturelle* (à l'usage des candidats aux différents baccalauréats). Paris : Doin.
- JOXE, A. (1927). *Cours d'histoire naturelle*, 3^e édition. Paris : Belin.
- PIZON, A. (1927). *Aide-mémoire d'Histoire Naturelle contenant l'exposé succinct des matières exigées au baccalauréat de Philosophie et de Mathématiques*. Paris : Doin.
- DEMOUSSEAU, A. (1928). *Précis de sciences naturelles*. Paris : Masson.
- COLOMB, G. & HOUBERT, C. (1930). *Nouveau cours de sciences naturelles*. Paris : Colin.
- PIZON, A. (1930). *Précis d'Histoire Naturelle* (à l'usage des candidats au baccalauréat de philosophie et de Mathématiques). Paris : Doin.
- REY, P. (1930). *Anatomie et physiologie animales et végétales (2^e partie)*. Paris : Vuibert.
- BOULET, V. & OBRÉ, A. (1932). *Anatomie et physiologie animales et végétales*. Paris : Hachette.
- PIZON, A. (1933). *Précis d'histoire naturelle*. Paris : Doin.
- REY, P. (1935). *Anatomie et physiologie animales et végétales (2^e partie)*. Paris : Vuibert.
- CAUSTIER, E. (1945). *Sciences naturelles*. Paris : Vuibert.
- OBRÉ, A. (1946). *Anatomie et physiologie animales et végétales* (classes de philosophie, sciences expérimentales et mathématiques). Paris : Hachette.
- ROUX, H. (1949). *Sciences naturelles du baccalauréat, seconde partie*, 1^{re} édition. Paris : Bordas.

1951-1980

- ORIA, M. & RAFFIN, J. (1952). *Biologie, anatomie, physiologie humaines et végétales*. Paris : Hatier.
- ROUX, H. (1952). *Sciences naturelles du baccalauréat, seconde partie*, 2^e édition. Paris : Bordas.
- CAMEFORT, H. & GAMA, A. (1953). *Sciences naturelles* (baccalauréat, seconde partie), *Tome II, Botanique et biologie générale*. Paris : Hachette.

- PLANTEFOL, L. (1955). *Biologie cellulaire et végétale*. Paris : Belin.
- CHADEFAUD, M. & RÉGNIER, M. (1958). *Sciences naturelles, Classe de seconde C' et M'*. Paris : Delagrave.
- CAMEFORT, H. & GAMA, A. (1959). *Sciences naturelles, classe de philosophie, mathématiques et sciences expérimentales*. Paris : Hachette.
- VINCENT, P. (1959). *Sciences naturelles* (classes de sciences expérimentales, philosophie et mathématiques). Paris : Vuibert.
- BLOT, J. (1963). *Le monde végétal, sciences naturelles, classe de seconde M'*, 3^e édition. Paris : Éditions de l'École.
- CAZALAS, R. & DELATTRE, M. (1964). *Sciences naturelles, classe de seconde M'*. Paris : Hachette.
- THÉRON, A. (1964). *Botanique (classe de seconde M')*. Paris : Bordas.
- VINCENT, P. (1964). *Sciences naturelles, classe de seconde M'*. Paris : Vuibert.
- JEAN-PROST, P. & MICHEL, J. (1966). *La botanique et ses applications agricoles, tome II : Physiologie de la nutrition et physiologie de la croissance*. Paris : Baillière et fils.
- AUBOUIN, F., AUBOUIN, J., BLAIZOT, M., BOUÉ, H., CAZALAS, R., DELATTRE, M., LASCOMBES, G., SOYER, B. et VALLÉE, L. (1967). *Biologie géologie (classe de 1^e D)*. Paris : Hachette.
- BLAIZOT, M., BOUÉ, H., GAMA, A., GENEVÈS, L., LASCOMBES, G. (1967). *Biologie, terminale C*. Paris : Hachette.
- PICHARD, P., LEROY, C., MERCIER, R., LÉTOLLE, R., MERCIER, J. (1967). *Travaux pratiques de sciences naturelles, première D*. Paris : Colin.
- VINCENT, P. (1967). *Sciences naturelles, classe de première D*. Paris : Vuibert.
- BENARD, J., GALETTI, S., GOHAU, G., GORENFLOT, R., GRIBENSKI, A., ORIA, M. et RAFFIN, J. (1970). *Géologie-Biologie*. Paris : Hatier.
- DÉSIRÉ, C., LAISNÉ, G., MOULIN, J., ROUX, H., VALLIN, J., VILLENEUVE, F. (1972). *Sciences naturelles (terminale C)*. Paris : Bordas.
- THÉRON, A. & VALLIN, J. (1972). *Sciences naturelles, première D, tome I : écologie*. Paris : Bordas.
- GRAND, L., MARTIN, J., NOARS, P., TEYSSIER, F., THOMAS, R. (1980). *Biologie, terminale C*. Paris : Nathan.
- JEAN-PROST, P., MEDORI, P. et MOULIN, J. (1980). *La botanique et ses applications agricoles et horticoles, tome II (classe de première et terminale BTA, BTAO et bac D')*. Paris : Baillière.

1981-1992

- BOURNÉRIAS, M., CHASSIN, A., DEMOUNEM, R., LEROY, C., PICHARD, D., SCHNEIDER, C. (1982). *Sciences naturelles 1^e S*. Paris : Hachette.

BRUN-COLTAN, F., DEBRUNE, M.-P., DEBRUNE, M. (1982). *Sciences naturelles seconde*. Paris : Belin.

DECERIER, A., ESCALIER, J., GIRARD, L., MARTIN, J., NOARS, P., TEYSSIER, F., THOMAS, R. (1982). *Biologie-géologie 1^e S*. Paris : Nathan.

BODEN, J. et J.-P., BOUET, M., DUPUY, M. et Y., MOULIN, J., NOUGIER, P., TREILHOU, C. (1983). *Biologie terminale C*. Paris : Colin.

CLOAREC, J.-N., DARCHIS, A., GAUDIN, B., GRIBENSKI, J., LAMARQUE, J., LAMARQUE, P., LIZEAUX, C., PÉRILLEUX, É., TAVERNIER, R., VIDEAUD, A. (1983). *Biologie terminale D*. Paris : Bordas.

DION, M., ESCALIER, J., FONTANEL, M., GIRARD, L., MARTIN, J., NOARS, P., NOARS, R., TEYSSIER, F., THOMAS, R. (1983). *Biologie Terminale D*. Paris : Nathan.

ESCALIER, J., FONTANEL, M., GIRARD, L., MARTIN, J., NOARS, P., NOARS, R., TEYSSIER, F., THOMAS, R. (1983). *Biologie terminale C*. Paris : Nathan.

ESCALIER, J., FONTANEL, M., GIRARD, L., MARTIN, J., NOARS, P., NOARS, R., TEYSSIER, F., THOMAS, R. (1983). *Biologie Terminale D*. Paris : Nathan.

CLOAREC, J.-N., FAURIE, C., GAUDIN, B., LAMARQUE, J., LIZEAUX, C., PÉRILLEUX, É., TAVERNIER, R., VIDEAUD, A. (1985). *Biologie seconde*. Paris : Bordas.

HERVÉ, J.-C., BILLARD, C., GENERMONT, J., PANELATTI, C., SERRE, C. (1985). *Sciences naturelles seconde*. Paris : Hatier.

MORÈRE, J.-L., GRELON, J., HÉLION, R., LAIZE, D., MARTIN, M.-H., MIQUEL, G., MOREAU, T., MSIHID, B. (1985). *Sciences naturelles seconde, les êtres vivants dans leur milieu*. Paris : Hachette.

DECERIER, A., DION, M., ESCALIER, J., FERRADOUX, J., FONTANEL, M., GIRARD, L., MARTIN, J., MONGEREAU, N., NOARS, R., PATTÉE, E., THOMAS, R. (1987). *Biologie-géologie Seconde, sciences et techniques biologiques et géologiques*. Paris : Nathan.

GODET, G., KERN, B., CHABOT, J.-C., GENSAC, G., LE VOT, B., SEBBAH, M. (1987). *La vie et la Terre classe de seconde*. Paris : Istra.

HERVÉ, J.-C., BILLARD, C., GENERMONT, J., PANELATTI, S., LAMEYNE, S., MAROLLE, E., PARLET, C., SERRE, C., THERRIE, B. (1987). *Sciences et techniques biologiques et géologiques seconde*. Paris : Hatier.

MORÈRE, J.-L., HÉLION, C., HÉLION, R., LAIZE, D., MIQUEL, G., MOREAU, T., MSIHID, B. (1987). *Sciences et techniques biologiques et géologiques seconde*. Paris : Hachette.

BODEN, J.-P., CLOAREC, J.-N., FLOC'H, J.-P., GAUDIN, B., TAVERNIER, R., LAMARQUE, P., LIZEAUX, C., VIDEAUD, A. (1988). *Biologie-géologie 1^e S*. Paris : Bordas.

DECERIER, A., DION, M., ESCALIER, J., GIRARD, L., MARTIN, J., NOARS, P., NOARS, R., NOUGIER, P., THOMAS, R., VERNET, E. (1988). *Biologie-géologie 1^e S.* Paris : Nathan.

BEAUX, J.-F., COLLEC, Y., DEMOUNEM, R., GOURLAOUEN, J., LE GALL, F., LEPOUCHARD, J.-M., MAMECIER, A., MENANT, G., MENANT, F., PÉRILLEUX, É., PIAT, B., PICHARD, D. (1989). *Biologie Terminale C.* Paris : Nathan.

BODEN, J.-P., CLOAREC, J.-N., GAUDIN, B., TAVERNIER, R., LAMARQUE, P., LAMARQUE, J., LIZEAUX, C., VAREILLE, A., VAREILLE, M., VIDEAUD, A. (1989). *Biologie Terminale D.* Paris : Bordas.

COLLEC, Y., DEMOUNEM, R., GOURLAOUEN, J., LE GALL, F., LEPOUCHARD, J.-M., MENANT, G., PÉRILLEUX, É., PIAT, B., PICHARD, D. (1989). *Biologie Terminale D.* Paris : Nathan.

DION, M., ESCALIER, J., FERRADOUX, J., GIRARD, L., MARTIN, J., NOARS, R., NOUGIER, P., TEYSSIER, F., THOMAS, R., VERNET, E. (1989). *Biologie Terminale D.* Paris : Nathan.

BEAUX, J.-F., COLLEC, Y., DEMOUNEM, R., GOURLAOUEN, J., LEPOUCHARD, J.-M., MAMECIER, A., MENANT, F., MENANT, G., PÉRILLEUX, É., PIAT, B. (1990). *Biologie géologie seconde.* Paris : Nathan.

DARMEDRU, D., ESCALIER, J., KIMMEL, P., MARTIN, J., NOUGIER, P., RENARD, M., SÉJOURNÉ, C., VADUNTHUN, D., VERNET, E. (1990). *Biologie-géologie seconde.* Paris : Hachette.

1993-1997

BEAUX, J.-F. et al. (1993). *Sciences de la vie et de la terre 1^e S.* Paris : Nathan.

CALAMAND, C., ARRIGHI, J., BENICHOU, L., DODEMAN, M., FAURE, Y. & B., GAUTHIER, A., GORENFLOT, O., MONIER, C., MOREAU, T., MSIHID, B., PABA, J.-F., PILOT, A., QUENARDEL, M., ROSSI, S., VEUILLE, D. (1993). *Biologie Géologie Seconde Sciences de la vie et de la terre.* Paris : Hachette.

CALAMAND, C. et al. (1993). *Biologie géologie 1^e S, Sciences de la Vie et de la Terre.* Paris : Hachette.

FAURE, C., BALAVOINE, H., BLAZY, C., BOUCAUT, B., CECCALDI, C., ROBERT, M., ROUCH, H. (1993). *Sciences de la Vie et de la Terre Seconde.* Paris : Belin.

FAURIE, C., LAMARQUE, J., LAMARQUE, P., LIZEAUX, C., TAVERNIER, R., VAREILLE, A. (1993). *Sciences de la Vie et de la Terre Seconde.* Paris : Bordas.

LE BELLEGARD, M., KERFYSER, J.-P., BILLARD, C., BLOCH, M.C., BURBAN, L., COSTE, M., DAGORNE, C., DESCLOS, S., GLOAGUEN, D., LAINÉ, A., MAISONHAUTE, M., ROSETTO, A.-M., SAINT-GEORGES CHAUMET, F. (1993). *Sciences de la Vie et de la Terre Seconde.* Paris : Hatier.

TAVERNIER, R. & LIZEAUX, C. (1993). *Sciences de la Vie et de la Terre, Première S.* Paris : Bordas.

GRILLE D'ANALYSE DES MANUELS SCOLAIRES

Programme BO :

Année parution :

Référence manuel :

Auteurs :

Chapitre :

pp :

Remarques sur la présentation	
Type de schématisation :	
photographies :	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
graphiques ou courbes :	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non

Structure du chapitre					
	oui	non	début	milieu	fin (du chapitre)
Documents :	<input type="checkbox"/>				
Cours :	<input type="checkbox"/>				
Synthèse ou résumé :	<input type="checkbox"/>				
Problématique :	<input type="checkbox"/>				
Expériences :	<input type="checkbox"/>				
Données chiffrées :	<input type="checkbox"/>				
Variabilité espèce :	<input type="checkbox"/>				
Variabilité individu :	<input type="checkbox"/>				
Variabilité temporelle :	<input type="checkbox"/>				
Approche systémique :	<input type="checkbox"/>				
Remarques :					

Statut des expériences	
monstrative :	<input type="checkbox"/>
démonstrative :	<input type="checkbox"/>
introductive :	<input type="checkbox"/>
sens commun :	<input type="checkbox"/>
qualitative :	<input type="checkbox"/>
quantitative :	<input type="checkbox"/>
Accumulation :	<input type="checkbox"/>
Autres :	

Types d'expériences				
	oui	non		
Évocatives :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
présentées en intégralité :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Niveau d'organisation :				
Plante entière :	<input type="checkbox"/>			
Organe ou fragment :	<input type="checkbox"/>			
Niveau cellulaire ou infra :	<input type="checkbox"/>			
Description des expériences				
	toujours	souvent	quelquefois	jamais
présence d'un témoin :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
contre-exemple :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Remarques :				

CONCEPTIONS D'ÉTUDIANTS PROFESSEURS DES ÉCOLES SUR L'EXPÉRIMENTATION ET OBSTACLES CORRÉLATIFS À SA MISE EN ŒUVRE À L'ÉCOLE ÉLÉMENTAIRE

Roland Flageul
Maryline Coquidé

Pour contribuer à préciser les conceptions de futurs professeurs des écoles sur les fonctions de l'expérimental, nous avons proposé un questionnaire à 200 étudiants et stagiaires des IUFM de Rouen et de Chartres.

Les souvenirs des pratiques expérimentales, vécues au cours de la scolarité, évoquent plusieurs objets d'étude et activités qui peuvent apparaître comme des paradigmes de l'enseignement de la biologie. Les activités citées, cependant, se rapportent plus à des observations ou à des manipulations qu'à des expérimentations. On constate aussi parfois une confusion des champs disciplinaires. Dans les conceptions sur l'expérimentation, l'approche empiriste est valorisée et les propositions relatives au raisonnement ou à la mise à l'épreuve d'idées sont peu présentes. Si on considère le cadre épistémique de ces sujets, ces conceptions empiristes nous semblent représenter un obstacle important dans la compréhension de ce qu'est une expérimentation. Nous proposons, à titre exploratoire, un tableau précisant les représentations-obstacles relatives au concept d'expérimentation, et une action de remédiation mise en œuvre dans la formation.

connaître les
connaissances
et les concep-
tions des futurs
enseignants
sur la démarche
scientifique

Les professeurs des écoles se doivent d' "initier les élèves à certains aspects de la démarche scientifique". Si nous souhaitons voir s'instaurer de véritables attitudes scientifiques dans les écoles élémentaires, comme les instructions officielles y invitent, il faut connaître les connaissances et les conceptions des futurs enseignants concernant la démarche scientifique. En particulier, quelles sont leurs conceptions relatives au rôle et aux fonctions des pratiques expérimentales? Quels sont leurs référents? Quelles stratégies de formation peut-on mettre en œuvre?

Les futurs enseignants professeurs des écoles (PE) n'ont pas vécu une pratique scientifique de chercheurs (sauf cas exceptionnels). Pour ceux qui ont une formation scientifique, celle-ci est le plus souvent essentiellement théorique, avec des travaux pratiques qui représentent l'apprentissage de techniques de laboratoire ou la réalisation de manipulations illustrant les cours. Si résoudre des problèmes semble être l'activité fondamentale des scientifiques (Darley, 1996), peut-on proposer, dans la formation des enseignants, des activités de résolution de problème(s)? Quels sont les obstacles à surmonter, les objectifs-obstacles que les formateurs peuvent se fixer dans une stratégie de changement conceptuel relatif à la notion d'expérimentation?

1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

“Expérimenter” représente, dans le discours des instituteurs et des professeurs des écoles, une activité primordiale des sciences à l'école primaire (Cantor, 1996). Cependant, sous la même dénomination “expérimenter” est fréquemment regroupé un ensemble très disparate d'actions, et plusieurs auteurs ont déjà étudié le déficit de formation épistémologique des étudiants ou des enseignants (Désautels et Larochelle, 1993 ; Lakin et Wellington, 1994 ; Robardet, 1995 ; Cantor, 1995 ; Gustafson et Rowell, 1995 ; Darley, 1996).

1.1. L'expérimental dans la construction d'un savoir scientifique

Les relations entre les concepts, les théories, les modèles scientifiques et l'expérimental sont complexes. Deux pôles sont à prendre en considération :

- le monde du réel, qui constitue le “milieu” dans lequel nous vivons et dont une partie seulement est accessible à l'observation directe ou indirecte ;
- le monde des connaissances, des théories, des modèles construit collectivement par la communauté scientifique.

La construction d'une nouvelle connaissance nécessite de multiples interactions entre ces deux pôles et l'histoire des sciences rend compte de la nécessité de construction en synergie d'une problématique, d'une théorie, de tâches et d'outils (Clarke et Fujimura, 1992).

Si les activités expérimentales sont abordées comme constituant pour l'élève un élément de référence pour la construction de ses savoirs, un important problème d'épistémologie scolaire est de déterminer l'importance relative et l'articulation de ces deux pôles. Le schéma sur la modélisation de Martinand (1998) se propose de représenter, sous forme de “cellules élémentaires”, les mises en relation possibles entre les registres empiriques et théoriques pour l'enseignement d'un concept.

1.2. L'expérimental, les situations-problèmes et les modes didactiques

Les pratiques expérimentales, en particulier dans l'enseignement secondaire, restent le plus souvent du domaine de la monstration (Johsua, 1989). Par ailleurs, l'échec de l'apprentissage par la redécouverte a conduit, par une lente évolution, à un modèle d'enseignement par problème scientifique et à l'idée de “*l'activité des savants comme source d'inspiration pour orienter l'apprentissage des élèves*” (Gil-Perez, 1993).

L'enseignement par problèmes scientifiques vise essentiellement des activités dans lesquelles les élèves auront à réinvestir des concepts en cours de construction. La

articulation
nécessaire
d'un registre
empirique et
d'un registre
théorique

apprendre
en posant et
en résolvant
des problèmes
scientifiques

notion de situation-problème s'applique, quant à elle, aux situations visant un changement conceptuel de l'élève, c'est-à-dire qu'elles ont pour objectif le passage d'une conception A à une conception B, plus proche du savoir scientifique. Mais, dans une stratégie de changement conceptuel, deux aspects sont à prendre en compte : les connaissances et les méthodes construites. L'intérêt de la situation-problème est de centrer les apprentissages au niveau des connaissances et aussi au niveau des procédures d'élaboration des connaissances, qui sont trop rarement explicitées.

La question de l'émergence et du positionnement d'un problème scientifique reste néanmoins posée (Orange, 1998). De plus, les pratiques expérimentales peuvent correspondre à différentes finalités, nécessitant des choix pédagogiques alternatifs, et qui restent, cependant, le plus souvent confondus ou amalgamés (Coquidé, 1998). Aussi, pour aider à clarifier ces choix, proposons-nous par ailleurs, de distinguer différents modes didactiques pour l'entrée dans les pratiques expérimentales : un mode de familiarisation pratique, un mode d'investigation empirique et un mode d'élaboration théorique.

1.3. Objectiver des pratiques expérimentales en classe

Dans le cadre d'une recherche coopérative (1), un de nos objectifs était d'objectiver la pratique expérimentale dans la classe. L'enquête présentée ci-après tente d'appréhender, par un questionnaire ouvert, les référents empiriques et les conceptions des enseignants ou des futurs enseignants concernant les pratiques expérimentales en biologie, ainsi que leur degré de familiarisation avec la démarche scientifique.

2. SOUVENIRS ET CONCEPTIONS SUR LA PRATIQUE EXPÉRIMENTALE EN BIOLOGIE (ÉTUDIANTS P.E. ET INSTITUTEURS)

Pour contribuer à connaître les conceptions des instituteurs et des étudiants professeurs des écoles, il nous a semblé intéressant :

- de connaître leurs souvenirs relatifs aux pratiques expérimentales "vécues" au cours de leur scolarité en biologie ;
- à partir de ce qu'ils évoquent, d'appréhender ce qu'ils conçoivent dans "pratiques expérimentales" en classe ;

une enquête
menée auprès
d'étudiants et
de stagiaires
professeurs
des écoles

(1) Recherche coopérative IUFM Rouen/INRP "L'expérimental dans la classe" coordonnée par Claudine Larcher.

- d'analyser leurs conceptions sur les pratiques expérimentales des scientifiques biologistes ;
- de préciser leurs conceptions sur les fonctions de l'expérimentation.

Si on considère que le cadre épistémique de ces étudiants ou stagiaires influence la mise en œuvre de leurs pratiques expérimentales, nous proposons, à titre exploratoire, une analyse des obstacles possibles dans la compréhension de ce qu'est une expérimentation.

2.1. Le questionnaire

Le questionnaire a été proposé au début d'une action de formation consacrée aux pratiques expérimentales (2). Le questionnaire de Chartres est une duplication d'un travail effectué à l'IUFM de Rouen, avec l'ajout de deux autres questions (Q3 et Q4).

Le questionnaire

Q1 - Quels souvenirs de pratique expérimentale en biologie, en tant qu'élève, avez-vous ? Si possible en décrire au moins une.

Q2 - Connaissez-vous un ou plusieurs scientifiques qui ont réalisé des recherches expérimentales en biologie ? Si oui, nommez les et décrivez une ou plusieurs de ces expériences.

Q3 - Pour vous, qu'est-ce qu'une expérience ?

Q4 - Quel est le rôle de l'expérience dans l'activité des scientifiques ?

Personnel ayant répondu au questionnaire (3)

Stagiaires \ IUFM	Chartres	Rouen
PE1	48	34
PE2	41	49
Instituteurs en stage	29	0

2.2. La pratique expérimentale vécue

L'objectif de la première question était de recenser les souvenirs de pratiques expérimentales "vécues" en biologie.

-
- (2) Remarquons *a priori* l'hétérogénéité du public : étudiants ayant ou non bénéficié d'une formation dans un autre module de sciences et techniques, étudiants ayant ou non suivi des études supérieures scientifiques, enseignants en formation continue...
- (3) Les PE1 sont des étudiants qui choisissent l'option biologie pour présenter le concours de professeurs des écoles. Les PE2 sont des stagiaires qui ont été reçus en ayant présenté une option autre que la biologie-géologie (physique-technologie ou histoire-géographie).

concernant
les réponses à
la première
question...

	Chartres	Rouen	Total
EFFECTIFS	118	83	201
Personnes n'évoquant aucun "souvenir"	18	7	25
Personnes évoquant des "souvenirs"	100	76	176
NOMBRE TOTAL DE RÉPONSES (réponse = "souvenir" évoqué)	204	217	421
Réponses sans expérience	160	141	301
Réponses avec expérience(s)	44	76	120
POURCENTAGE			
% des réponses sans expérience	78	65	71
% des réponses avec expérience(s)	22	35	29

... différences
significatives
entre
les stagiaires
des deux IUFM

Nous pouvons remarquer qu'il existe une différence de 13 % entre les stagiaires des deux IUFM. Cette différence est significative, comme le montre le test du χ^2 effectué, les causes envisageables apparaissent multiples.

- Le moment de passation dans le processus de formation est-il identique ?
- Le dépouillement des réponses est-il homogène ?
- Le recrutement de chaque centre est-il le même ?
- La présence de questions supplémentaires (IUFM de Chartres) est-elle sans effet sur le nombre de réponses fournies ?

À ces différentes questions, nous sommes tentés de répondre par la négative. C'est pourquoi notre étude se restreint à une analyse de tendances plutôt qu'à une précision statistique. Nous nous efforcerons de présenter les points de convergences sur les parties communes aux deux questionnaires.

En premier lieu, l'analyse des réponses montre que, pour 25 des personnes interrogées, il ne reste aucun souvenir d'une pratique expérimentale en biologie. Pour cette catégorie, les référents scolaires concernant l'expérimental en biologie semblent inexistantes. Possèdent-ils des référents expérimentaux dans d'autres domaines ? Notre questionnaire ne permet pas de répondre.

Les 421 réponses, fournies par les 176 autres personnes, peuvent se regrouper en deux grandes catégories : celles qui présentent des expériences (120) et celles qui n'en présentent pas (301). Nous constatons qu'une grande majorité des réponses (71 %), situées en dehors du champ de nos investigations par rapport à l'expérimental, appartient aux pratiques expérimentales dans les conceptions des futurs enseignants. Remarquons que certains objets

des objets
d'étude
"paradigmes" de
l'expérimental
dans le souvenir
de la scolarité
de la biologie

d'étude sont très souvent cités. Ils pourraient représenter des paradigmes de l'"expérimental" dans le souvenir de l'enseignement de la biologie : les graines à l'école primaire, les aliments (à analyser) et les pelotes de rejection (à disséquer) au collège, les végétaux verts (pour la photosynthèse) et la grenouille (décérébrée) au lycée. Notons également que l'œil de bœuf est cité à toutes les étapes du curriculum !

• **Analyse des réponses portant sur des expériences**

Des activités expérimentales ou de type expérimental sont citées 120 fois. Elles portent sur :

- l'utilisation de réactifs pour des mises en évidence de produits (31),
- l'activité réflexe ou l'excitation du nerf sciatique de la grenouille (24),
- les germinations (19),
- la digestion (18),
- la nutrition des plantes (9).

Les autres citations sont plus ponctuelles et concernent diverses fonctions biologiques (respiration, circulation...) ou sont situées en dehors du champ de la biologie comme la porosité des roches (3).

importance
de la "mise
en évidence"

La pratique expérimentale destinée à "mettre en évidence" est très présente. Il s'agit essentiellement de montrer par des réactifs la nature d'un produit, d'identifier un objet ou un phénomène. Mais, comme les scientifiques du début du XIX^e qui appelaient "expérience" l'utilisation de colorant vital pour faciliter les observations, nous pouvons déterminer ici un début d'expérimentation car l'observateur devient actif, il modifie les conditions naturelles de l'observation pour rechercher, pour mettre en évidence d'autres choses non identifiables par nos sens. C'est ici une aide à la perception.

La seconde activité expérimentale décrite porte sur la grenouille, animal de laboratoire par excellence au lycée jusque dans les années quatre-vingts. Deux types d'expériences sont exposés : sur le fonctionnement du système nerveux, avec l'activité réflexe de la grenouille décérébrée, et sur l'excitation ou la vitesse de conduction du nerf sciatique. Nous relevons, dans les commentaires des étudiants, le fréquent rejet de l'expérimentation animale. Ils estiment qu'une "bonne vidéo" éviterait la décérébration et le sacrifice de ces grenouilles (voir aussi N'Diaye, 1990). Nous avons, là encore, des expériences de mise en évidence soit de l'activité réflexe, soit de la conduction nerveuse.

Avec les germinations, nous pouvons retrouver soit des expérimentations (rarement décrites) avec l'étude des facteurs influençant la germination, soit, plus fréquemment, des observations de croissance et de développement de jeunes plantes à partir de semis.

• Analyse des réponses ne portant pas sur des expériences

une confusion entre "activité pratique" et "pratique expérimentale"

L'analyse de cette catégorie montre une confusion entre activités pratiques et pratique expérimentale. En effet, pour une très grande majorité d'étudiants ou de stagiaires, la pratique expérimentale vécue est associée à :

- une dissection (166),
- une observation (25) ou l'utilisation d'outils pour observer (12),
- une culture (22),
- une sortie (20),
- un élevage (19).

L'observation au sens large semble donc être privilégiée. Les actions, les manipulations sur les êtres vivants sont aussi des idées très présentes, il faut aller voir, disséquer. Peut-être retrouvons-nous là l'idée de mise en évidence, la dissection, l'ouverture d'un animal portant à notre connaissance son organisation interne.

• Comparaison IUFM Rouen et IUFM Chartres

Globalement, les tendances obtenues sont semblables pour les deux sites et nous notons peu de différences entre les PE1 et les PE2. Les divergences entre les deux lieux concernent une fréquence relative plus importante à Rouen qu'à Chartres, de citations concernant l'utilisation des réactifs et de références à des sorties ou à des cultures.

2.3. La connaissance de biologistes expérimentateurs

Le but de la deuxième question était d'évaluer la connaissance des stagiaires d'expériences "fondatrices" en biologie. Pasteur arrive très largement en tête (85) mais les expériences ne sont jamais décrites, au mieux nous avons un titre (vaccin contre la rage).

Pavlov vient ensuite (40), avec parfois la référence à ses travaux sur les réflexes conditionnés, en particulier par les étudiants ayant suivi des études de psychologie.

Bernard arrive en troisième position (22) et ses activités expérimentales sont parfois connues.

Darwin et Mendel viennent ensuite (21 et 14). Les activités expérimentales de Mendel (expériences de croisement génétique) sont parfois, par confusion, attribuées à Darwin. Le fait que Darwin soit assez fréquemment cité comme biologiste expérimentateur est sans doute en relation avec une simple notoriété (4).

Pierre et Marie Curie sont assez souvent nommés (12), bien que physiciens.

une méconnaissance historique et une confusion dans les champs disciplinaires

(4) Car pratiques expérimentales "marginales" et relatives à la pollinisation.

Les autres citations concernent des auteurs disparates (scientifiques et pédagogues) (5).

Si les noms de quelques scientifiques sont mis en avant, leurs travaux restent le plus souvent peu connus. On constate que la culture dans le domaine de l'histoire des sciences reste très restreinte et on relève une fréquente confusion dans les champs disciplinaires.

2.4. Vision de la pratique expérimentale et vision de la science

conceptions
sur l'expérience
et ses fonctions

Les deux dernières questions (Q3 : *Pour vous, qu'est-ce qu'une expérience ?* ; Q4 : *Quel est le rôle de l'expérience dans l'activité des scientifiques ?* IUFM de Chartres seulement), ont pour rôle d'aborder les conceptions des PE sur l'expérience et ses fonctions.

Un premier traitement des réponses montre une très grande similarité dans le vocabulaire employé, c'est pourquoi nous présentons ici un tableau synthétique des réponses aux deux questions.

Classement des mots en relation avec le mot "expérience"

	Hypothèse	Tester Vérifier	Prouver Démontrer	Pratique	Comprendre Expliquer	Chercher	Théorie Loi	Collecter Info	Infirmer Réfuter	Méthode	Montrer	Raisonner	Observer	Total
Q3	79	58	27	66	17	42	17	25	11	11	18	1	5	380
Q4	65	52	46	0	48	12	25	9	20	20	5	12	0	314
Total	144	110	73	66	65	54	42	34	31	31	23	13	5	694
(Q3-Q4)/ max (Q3Q4)	18 %	10 %	-41 %	100 %	-65 %	71 %	-32 %	64 %	-45 %	-45 %	72 %	-92 %	100 %	
Fréquence par rapport aux mots sélectionnés														
% Q3	20,8	15,3	7,1	17,4	4,5	11,1	4,5	6,6	2,9	2,9	4,7	0,3	1,3	100
% Q4	20,7	16,6	14,6	0,0	15,3	3,8	8,0	2,9	6,4	6,4	1,6	3,8	0,0	100
% Total	20,7	15,9	10,5	9,5	9,4	7,8	6,1	4,9	4,5	4,5	3,3	1,9	0,7	100

Dans ce tableau les colonnes sont rangées par ordre décroissant sur le total des deux questions.

L'indice correspondant à la ligne (Q3 - Q4) / max (Q3Q4), qui figure dans le tableau, sert à mettre en évidence les différences entre les réponses aux deux questions. Un indice proche de 0 % indique des réponses similaires ; proche de 100 %, il signale une grande divergence, le signe négatif

(5) Montagnier (7), Fleming (6), Lorenz (4), Cabrol (4) à égalité avec Tavernier (4) (auteur de manuels scolaires) précèdent une longue liste dans laquelle nous trouvons des expérimentateurs (Crick et Watson, Rostand, Van Helmont...), des médecins (Barnard, Calmette, Laennec, Koch...) mais aussi des personnes plus médiatiques (Tazieff, Reeves, Bombard, Cousteau...).

indique que l'effectif de Q4 est supérieur à celui de Q3. Cet indice permet de classer les réponses en trois catégories.

Indices négatifs	
Raisonner	-92 %
Comprendre Expliquer	-65 %
Infirmier Réfuter	-45 %
Méthode	-45 %
Prouver Démontrer	-41 %
Théorie Loi	-32%

Indices semblables	
Tester Vérifier	10 %
Hypothèse	18 %

Indices positifs	
Collecter des informations	64 %
Chercher	71 %
Montrer	72 %
Pratique	100 %
Observer	100 %

un classement
des mots associés

- Les mots classés dans la colonne "indices semblables" sont aussi ceux qui sont le plus fréquemment cités dans les réponses. Ces mots, très liés entre eux car souvent associés dans les phrases, arrivent en tête dans les deux questionnaires avec une fréquence identique représentant au total près de 37 % des réponses.

1. *Hypothèse* (144), ce substantif est très intimement associé à l'idée d'expérience. En effet l'hypothèse doit être soumise au contrôle de l'expérience (cf. la définition non mathématique de l'hypothèse).

2. *Tester-vérifier* (110), ces deux verbes, associés ici, devraient faire l'objet d'une analyse disjointe (cela a été fait pour la question 3 où l'idée de vérifier devance très largement celle de tester). Vérifier présente l'idée d'un parti pris alors que tester semble plus neutre.

Ces mots apparaissent donc très étroitement liés à l'idée d'expérience dans la démarche scientifique.

- Si nous étudions la colonne des indices positifs (Q3 > Q4), nous notons deux fois l'indice 100 (réponses présentes uniquement dans Q3) pour "pratique" et "observer".

3. *Pratique* (66/0) arrive au quatrième rang par rapport au total des deux questions. Cela rejoint et renforce les résultats de la première question.

4. *Observer* (5/0), avec le même indice, apparaît avec un faible effectif. L'observation, en elle-même, ne semble plus avoir un grand intérêt.

5. *Chercher* (42/12), *collecter des informations* (25/9), et *montrer* (18/5) complètent les indices positifs (Q3 > Q4).

une conception
très concrète
de l'expérience

Nous relevons là une conception très concrète de l'expérience : il s'agit de faire pour chercher des résultats, pour collecter des données, ou pour montrer. L'observation n'a plus d'importance car elle est attendue, anticipée. Il semble que cette vision de l'expérience correspond bien au statut de l'expérience au lycée et au collège, et que nous sommes effectivement dans le vécu expérimental des professeurs des écoles.

• L'examen des indices négatifs ($Q3 < Q4$), montre un aspect tout différent de l'expérience, il s'agit de :

6. *Prouver-démontrer* (27/46), nous décelons là l'idée de faits "positifs", c'est-à-dire que les résultats de l'expérience permettent de vérifier l'exactitude d'une théorie, d'une loi, d'une hypothèse.

7. *Comprendre-expliquer* (17/48), le verbe expliquer est ambigu car il est possible de l'employer dans le sens de s'expliquer le monde, ou bien, d'expliquer le monde à quelqu'un. Dans les deux cas, nous sommes dans le rapport du scientifique (ou de l'homme) au monde et à sa connaissance, pour lui ou pour la transmettre aux autres.

8. *Infirmer-réfuter* (11/20). Nous avons ici une vision plus "popperienne" du rôle de l'expérience. Il reste des traces d'une initiation à la démarche scientifique. Une analyse plus fine serait souhaitable pour croiser ce type de réponse avec le vécu expérimental.

9. *Méthode* (11/20), nous retrouvons là l'idée d'une démarche intellectuelle par laquelle l'esprit est capable de démontrer certaines propositions.

10. *Raisonner* (1/12), cette idée, peu présente mais très importante, ne se trouve pratiquement associée qu'aux activités des scientifiques.

Nous avons dans ce cas une vision d'un travail intellectuel où le raisonnement, la méthode, la logique servent à étayer par la preuve ou la réfutation une certaine compréhension du monde environnant.

Cette étude met en évidence un noyau central commun comprenant plus du tiers des réponses et deux pôles opposés : celui qui concerne le raisonnement, la construction intellectuelle (les indices négatifs) et celui qui relève du concret, du réel (les indices positifs). Cette bipolarisation reflète :

- les confrontations entre induction/déduction, empirique/rationnel, concret/abstrait, d'une part ;

- la formulation des deux questions $Q3$ et $Q4$, d'autre part.

La question $Q3$, en effet, se situe au niveau de la description, de l'observation, du vécu, alors que dans la question $Q4$, nous sommes au niveau du rôle, des fonctions de l'expérience telles qu'elles peuvent être conçues par les stagiaires dans l'activité des scientifiques ou telles qu'elles peuvent être présentées par les médias.

Une comparaison des réponses aux questions $Q1$, $Q3$ et $Q4$ permet différents constats.

Tout d'abord, une convergence sur l'idée de pratique ($Q1$ et $Q3$) : cela montre l'importance que les stagiaires accordent à la réalisation effective de l'expérience. Paradoxalement, cet aspect n'était pas envisagé dans la question $Q2$ relative à la connaissance des biologistes expérimentateurs, alors que ceux-ci doivent fréquemment choisir leur modèle d'étude et inventer un protocole (Canguilhem, 1965).

le travail
intellectuel dans
l'expérience

le questionnaire
montre
une bipolarisation
entre le registre
empirique et
le registre
théorique

une importance
accordée à
la réalisation
effective...

Ensuite, l'observation, autre idée forte de Q1 disparaît dans Q3 et Q4, alors que l'expérience repose sur une observation provoquée et contrôlée.

Enfin la formulation d'hypothèse, les idées de tester ou de vérifier, de prouver, de démontrer, de réfuter sont très présentes dans Q3 et Q4 alors qu'elles ne sont jamais évoquées dans le souvenir des pratiques expérimentales vécues Q1 (6).

Remarquons également l'absence de réponse concernant l'aspect "social" du travail scientifique expérimental (convaincre, argumenter, communiquer...).

... et à la
pratique...

L'aspect "pratique" qui apparaît toujours majoritaire dans les réponses nous semble un obstacle important dans la conception de ce que peut être une expérimentation. Cela masque en effet les rôles du raisonnement, de la créativité dans l'émission d'hypothèses et dans la conception de protocoles, essentiels dans l'activité scientifique.

2.5. Les représentations-obstacles

Si nous considérons la matrice cognitive (Martinand, 1998) de ces sujets, c'est-à-dire les instruments théoriques et les éléments épistémiques indispensables à la mise en œuvre concrète de procédures expérimentales, nous pouvons constater que la notion d'expérimentation est peu maîtrisée. Les conceptions sur l'expérience, analysées ci-dessus, peuvent être des obstacles à l'évolution de cette matrice cognitive.

... qui peut
représenter
des obstacles
au concept
d'expérimentation

En reprenant et adaptant le réseau dynamique sur les représentations-obstacles, présenté par Astolfi et Peterfalvi (1993) dans un autre contexte puisqu'il s'agissait des obstacles à la construction de concepts scientifiques, nous proposons ci-après, à titre exploratoire, un tableau des représentations-obstacles relatives au concept d'expérimentation (7).

Dans une formation professionnelle d'enseignant, ce tableau pourrait servir d'outil à l'analyse du cadre épistémique du sujet. Des actions de remédiation pour dépasser ces obstacles sont suggérées mais elles n'ont pas été toutes testées.

(6) Avec plusieurs hypothèses possibles dont la mise en cause de la formulation de la question Q1.

(7) D'autres éléments pourraient compléter ce tableau, en particulier ceux relatifs à l'importance de l'argumentation et des débats scientifiques (Gingras & Godin, 1997).

Les représentations-obstacles

Représentation-obstacle	Réseau d'idées associées qui expliquent la résistance à l'obstacle	Ce que l'obstacle empêche de comprendre
<p>Observer c'est expérimenter.</p> <p>Ce qui relève de l'observation est une expérience.</p>	<p>L'observation du réel m'apporte une connaissance.</p> <p>Les phénomènes naturels ne doivent pas être perturbés pour pouvoir les comprendre.</p>	<p>Expérimenter, c'est créer des conditions artificielles pour comparer des observations, des résultats.</p> <p>L'expérience est une observation provoquée.</p> <p>Expérimenter c'est intervenir de façon consciente dans le déroulement d'un phénomène en vue de provoquer une modification observable.</p>
<p>Manipuler, c'est expérimenter.</p> <p>Expérimenter, c'est manipuler.</p>	<p>Les scientifiques utilisent des outils souvent sophistiqués d'un maniement complexe.</p> <p>Exécuter une "manip.", des Travaux Pratiques.</p>	<p>Expérimenter c'est imaginer des hypothèses plausibles, des protocoles expérimentaux, c'est un travail intellectuel.</p> <p>Le matériel est utile pour la réalisation effective de l'expérience, pour aider les sens de l'homme, pour stocker l'information, ou pour simuler.</p>
<p>Chercher, c'est expérimenter.</p> <p>Expérimenter, c'est chercher.</p>	<p>Les chercheurs font des expériences à partir de leurs connaissances antérieures.</p> <p>On fait des expériences pour chercher, trouver les réponses à une question, à un problème.</p>	<p>Expérimenter c'est avoir un cadre de référence et une solution (explication) plausible.</p> <p>Chercher n'implique pas une maîtrise de tous les paramètres.</p>
<p>Collecter des informations, c'est expérimenter.</p> <p>Expérimenter c'est recueillir des informations.</p>	<p>Recueillir des données c'est expérimenter.</p> <p>Les scientifiques recueillent énormément d'informations.</p>	<p>Expérimenter, c'est contrôler tous les (le plus possible de) paramètres, en maîtrisant les valeurs de la variable mise en jeu pour tester le modèle ou recueillir des données.</p>
<p>Prouver, démontrer c'est expérimenter. Expérimenter c'est prouver, démontrer.</p>	<p>Le raisonnement, la logique peuvent prouver, démontrer (en mathématiques).</p> <p>Idee de preuve expérimentale.</p>	<p>Expérimenter, c'est confronter au "réel" une solution provisoire pour la réfuter ou la conforter.</p>

relatives à expérimentation

Objectif-obstacle	Conditions de possibilité de franchissement de l'obstacle	Concept visé
C'est en imaginant et en créant artificiellement une situation nouvelle que l'expérimentateur peut connaître.	Il est possible d'observer sans expérimenter. Il est possible d'observer les résultats d'une expérience involontaire.	Expérimenter c'est créer un phénomène et les conditions nécessaires au déroulement contrôlé ou non. L'observation est nécessaire pour collecter les résultats d'une expérience.
C'est l'activité intellectuelle qui est nécessaire pour imaginer un environnement artificiel favorable à l'observation et la simulation.	Il est possible de concevoir des expériences sans les réaliser immédiatement. Observation de phénomènes rapides, lents. Utilisation de substituts artificiels à des produits ou des phénomènes naturels.	C'est l'activité intellectuelle qui permet de créer l'environnement matériel qui est nécessaire pour réaliser, collecter et stocker les résultats de l'expérience.
Le cadre de référence est antérieur à l'expérimentation.	Comparaison d'expériences à valeur heuristique avec des expérimentations.	Lors d'une expérimentation, on met à l'épreuve une hypothèse ou un modèle.
La maîtrise de "tous" les paramètres d'un dispositif est nécessaire pour pouvoir expérimenter	Les résultats de 2 situations qui diffèrent par une seule variable peuvent être comparés et nous informer. L'expérience témoin est le gage de la maîtrise de tous les paramètres.	C'est la comparaison entre les résultats (ceux prévus et ceux observés) qui nous informe.
L'expérience ne prouve pas mais elle peut réfuter	Les résultats différents de ceux attendus sont souvent très intéressants dans une recherche.	C'est par la réfutation expérimentale, la mise en débat et la conviction des pairs que se fait le "travail de la preuve".

3. UNE PROPOSITION DE REMÉDIATION EN FORMATION DE PROFESSEURS DES ÉCOLES

Lors de travaux pratiques, les élèves exécutent le plus souvent des manipulations qu'ils n'ont pas conçues. En France, actuellement, il n'y a qu'à l'école élémentaire et dans le cadre de l'option sciences expérimentales de la classe de Première S des lycées, qu'il est possible de réserver le temps nécessaire à une mise en œuvre effective d'un mode d'investigation empirique. Il semble que les référents empiriques concernant l'expérimentation manquent cruellement aux étudiants et aux stagiaires.

plusieurs dispositifs pour remédier au déficit de formation épistémologique des étudiants et des stagiaires

Pour remédier à ce déficit de formation épistémologique et de pratiques de recherche, plusieurs dispositifs peuvent être utiles, dont des dispositifs associant une pratique expérimentale effective et une réflexion sur cette pratique (Antheaume, 1993), et des dispositifs ayant recours à l'histoire des sciences (Cantor, 1995). Comme ce déficit concerne tous les étudiants, y compris ceux ayant suivi un cursus scientifique, la question de la formation épistémologique des étudiants scientifiques peut être remise en avant (Ryder & Leach, 1998).

Dans le cadre de la formation des professeurs des écoles, nous incluons toujours des activités et une réflexion sur la démarche scientifique et expérimentale (9 h à 12 h). Cependant, l'investigation empirique du vivant n'est pas simple. Elle n'est possible, à l'école élémentaire, que sur quelques sujets d'étude, en particulier la biologie végétale (la germination, l'eau et les plantes...) et le comportement des animaux.

3.1. Une situation-problème organisée autour du franchissement d'un obstacle

Parmi les conceptions relevées chez les stagiaires, c'est l'importance accordée au rôle des manipulations et à l'aspect pratique, en opposition à la faible place faite au raisonnement, qui a tout d'abord retenu notre attention. Nous avons, en premier lieu, sélectionné la seconde représentation-obstacle du tableau : "manipuler c'est expérimenter" ou "expérimenter c'est manipuler". Nous avons donc choisi de travailler la conception d'une expérimentation, afin de pouvoir analyser ensemble l'importance du raisonnement, de la créativité, de l'ingéniosité, dans l'aménagement d'un environnement artificiel, expérimental, favorable à l'observation. La place réservée à la conception d'expériences dans la scolarité apparaît en effet comme faible, et ce ne sont pas les manipulations exécutées en travaux pratiques qui font appel à l'imagination et à la créativité des élèves. Nous souhaitons donc enrichir les références qui manquent aux professeurs des écoles, surtout

une tentative de remédiation pour dépasser la représentation-obstacle de la manipulation

au moment de transposer des situations expérimentales avec des élèves de l'école élémentaire.

Le choix de cet objectif-obstacle nous semble important car il doit permettre de dissocier les deux moments que sont la conception d'une expérimentation et celui de sa réalisation effective. La situation-problème de formation proposée ici est conçue en fonction de cet objectif. Les autres objectifs-obstacles qui sont apparus dans l'analyse des conceptions sont présents au cours des activités mais ils n'orientent pas prioritairement l'organisation du travail présenté ci-dessous.

Pour faciliter la compréhension du raisonnement dans une expérimentation, et pour aborder une approche expérimentale du vivant dans sa complexité, il nous a semblé intéressant d'utiliser une vidéo présentant un comportement alimentaire.

3.2. La situation de formation à la démarche

Les stagiaires sont informés qu'ils abordent une formation d'une douzaine d'heures sur les pratiques et les démarches expérimentales. Le questionnaire destiné à faire émerger leurs conceptions est rempli. Si la confrontation des conceptions fait apparaître que "l'aspect pratique et manipulatoire" peut représenter un obstacle, les activités pédagogiques présentées ci-dessous sont retenues dans les pratiques de formation (8).

utilisation
d'une vidéo
décrivant
un comportement
alimentaire...

Un document, initiateur du problème biologique, est visionné (durée 7 minutes). Il présente l'énigme de la façon extraordinaire de chasser du Trachops (une espèce de chauve-souris d'Amérique centrale). Après la capture de batraciens par le Trachops, le document présente le système d'orientation des chauves-souris (écholocation), des généralités sur leurs modes de vie et les régimes alimentaires très variés (nectarivores, insectivores, hématophages, frugivores, piscivores, cannibales). Un paradoxe est mis en évidence : le Trachops se nourrit de batraciens mais partage aussi son lieu de vie avec d'autres batraciens venimeux qu'il n'attaque pas. Les problèmes, les interrogations sont évoqués explicitement : *"mais ce système peut-il leur permettre d'identifier et de localiser un crapaud dans l'épaisseur de la nuit tropicale, et de le faire en plein vol avec tant de précision ? Plus surprenant encore, comment peuvent-ils distinguer avant de les capturer les crapauds comestibles des crapauds venimeux ?"* La formulation du problème fait partie intégrante du document, la curiosité est suscitée. Après une discussion avec les stagiaires, le problème est

... pour cerner
un problème
biologique

(8) Activités mises en œuvre, à titre exploratoire, deux années de suite auprès de plusieurs groupes de stagiaires de l'IUFM de Chartres.

reformulé, élargi : “*Comment le Trachops repère-t-il ses proies ?*”.

La première activité doit favoriser la dévolution et permettre aux étudiants de reformuler le problème. Pour cela, ils doivent percevoir la situation comme une véritable situation de recherche. Ainsi l'étude s'organise autour d'une situation à caractère concret qui permet de formuler des hypothèses et des conjectures.

Résoudre un problème biologique :
“Comment le Trachops repère-t-il ses proies?”

Dévolution du problème (durée 1 h30)

Recherche orale sur le problème biologique (travaux de groupes de trois à quatre personnes).

Structurer des protocoles sur une fiche type (une fiche par hypothèse).

Comparer les productions

Mettre en commun. Analyser les différentes expériences proposées. Analyse critique des propositions (sélection des différentes hypothèses fonction par fonction).

Produire par groupe, pour la fonction étudiée, des protocoles valides pour une même hypothèse.

Identifier les raisonnements (durée 2h30 à 3 h)

Analyser et formuler le problème en terme de communication émetteur-signal ou signal-récepteur.

Recenser les hypothèses, les conséquences, les formulations positives/négatives.

Produire par groupe, pour la fonction étudiée, des protocoles valides pour une même hypothèse avec une formulation positive et une formulation négative.

Valider par le raisonnement des chercheurs (durée 1 h)

La validation des protocoles est proposée en visionnant la fin de la cassette vidéo.

Structurer sur une fiche de synthèse le raisonnement des chercheurs.

Mettre en évidence et structurer une démarche expérimentale

(durée 2 h)

De la “méthode” à une démarche expérimentale. Critique de “OHERIC” par l'analyse et la structuration du vécu.

travail de
préparation pour
une classe de
cycle III

À la suite de l'analyse réflexive sur cette phase (les conceptions, la mise en place de l'activité, la démarche expérimentale, les justifications pédagogiques...), nous proposons un réinvestissement aux stagiaires, par la préparation d'un travail semblable pour des élèves d'une classe de cycle III. Les objectifs de formation visent à ce que les stagiaires puissent appréhender :

– la distinction de deux phases, conception et ensuite réalisation d'une expérimentation ;

- les conditions de réalisation d'une telle activité en classe (la transposition de l'activité vécue est réalisable en classe de cours moyen) ;
- les raisonnements des élèves (les élèves de CM sont capables de concevoir des protocoles expérimentaux) ;
- la nécessité de prolongements, pour enrichir les référents empiriques et pour proposer la réalisation effective d'expérimentations en classe.

3.3. Une situation expérimentale à l'école élémentaire (cycle III)

À titre d'exemple, voici une transposition des activités présentées en formation, proposée et mise en œuvre par des PE2 pour une classe de CM1. Les trois premières phases ont été suivies par l'ensemble des stagiaires, la suite a été réalisée par un groupe de deux stagiaires.

Transposition des activités sur le problème biologique du Trachops pour une classe de CM

Première phase : situation déclenchante et dévolution du problème

Visionner le début de la vidéo.

Confrontations orales, appropriation du problème biologique.

Deuxième phase : recherche orale

Elle peut débiter par une phase individuelle qui a pour objectif d'inciter chacun à faire au moins une proposition (5 à 10 minutes).

Travaux de groupes de trois à quatre élèves (environ 20 minutes).

Troisième phase : écriture des protocoles

Structuration des protocoles sur une fiche A (voir annexes), une fiche par hypothèse, 2 à 6 fiches par groupe (environ 15 minutes).

Quatrième phase (un autre jour)

Mise en commun des différentes propositions. Comparaison collective d'une proposition "complète" et d'une "incomplète". Structuration sur l'emploi des différents termes utilisés (hypothèse, conséquence, expérience, résultats possibles...).

Réécriture de quelques propositions par les auteurs.

Conception d'une grille avec les différentes propositions.

Cinquième phase (un autre jour)

Présentation de la fin de la cassette-vidéo. Comment les scientifiques ont résolu le problème.

Évaluation : proposer de remplir la fiche A avec le protocole des scientifiques.

En prolongement de ce travail, axé uniquement sur la conception d'expériences, il est proposé de réinvestir la démarche sur une situation plus complexe, avec la réalisation effective de l'expérimentation envisagée.

**Un exemple de réinvestissement de la démarche
Étude expérimentale du comportement alimentaire d'un animal d'élevage**

Séance n° 1

Conception d'un protocole à partir d'un animal élevé (cochon d'Inde, hamster, lapin nain...).

Que mange cet animal? Que préfère-t-il? Comment cet animal repère-t-il sa nourriture?

Individuellement, et par écrit, remplir une fiche A par hypothèse.

Séance n° 2

Constituer des groupes en reprenant les hypothèses individuelles d'un même sens ou signal.

Élaborer en groupe, à partir de la critique et des justifications des protocoles individuels un protocole collectif écrit. Commander, par écrit, le matériel nécessaire à la réalisation effective de l'expérience.

Séance n° 3

Un groupe expose son hypothèse, le dispositif conçu, les résultats attendus. Les autres écoutent.

Pronostics, le reste de la classe donne son avis, ses critiques. L'expérience réussira-t-elle? Pourquoi? Argumentation.

L'expérience est réalisée collectivement devant toute la classe (elle est aussi enregistrée au caméscope). Les observations et les résultats sont consignés sur une fiche B, une pour chaque groupe (voir annexes). On conclut et on envisage la poursuite des investigations.

Le groupe suivant enchaîne.

Séance n° 4

Synthèse collective de l'expérience sur l'animal. Trace écrite pour les élèves.

On visionne l'expérience puis discussion collective. Au fur et à mesure on complète la fiche C récapitulative (voir annexes). On pourra insister sur l'émetteur, sur le signal et moins sur le récepteur. On peut travailler sur les conséquences de l'hypothèse, les mots inducteurs, les compétences linguistiques.

En évaluation, il est possible de proposer de remplir une fiche de type A en fournissant l'hypothèse. Comment l'élève réinvestit-il les compétences acquises?

3.4. Analyse critique des activités de formation et des activités pédagogiques menées en classe

Une première évaluation de l'évolution des conceptions des stagiaires peut être réalisée lors de la mise en commun des protocoles envisagés pour la résolution du problème du comportement alimentaire du Trachops. Des difficultés résident dans la conception des expériences avec, en particulier, des problèmes de logique, de simplification des protocoles. Les stagiaires ont des réticences à isoler les hypothèses, entrevoyant ainsi la complexité des interactions possibles et les difficultés de l'expérimentation animale.

les représentations
des stagiaires
ont évolué...

Une deuxième évaluation est effectuée lors de la structuration à propos de la démarche expérimentale. Nous avons noté que l'ensemble de stagiaires des groupes qui ont suivi les activités de formation décrites ont intégré la conception de l'expérience. Nous avons également observé qu'une majorité de stagiaires incorpore le rôle des échanges et de la communication des travaux dans la démarche. Certains stagiaires regrettent que, par la vidéo, ils ne puissent pas obtenir de réponse pour tous les protocoles envisagés et ils font part de la "frustration" qui en résulte.

... mais d'autres
obstacles
persistent

Lors des activités de formation relatives à la transposition pour le cycle III, les propositions des stagiaires se centrèrent sur un travail concernant la conception d'expériences, essentiellement avec la vidéo du Trachops (pour des raisons de disponibilité de matériel?), le Dytique et la Grenouille furent également envisagés. Peu de stagiaires ont proposé la réalisation effective d'une expérimentation sur les comportements alimentaires en classe. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées concernant cette réticence à une mise en pratique expérimentale :

- crainte des difficultés matérielles pour la mise en œuvre ;
- crainte du comportement des élèves et difficultés relatives à une animation pédagogique portant sur du matériel biologique vivant, en particulier animal ;
- crainte des résultats inattendus...

Les activités de conception d'expérience, avec leur aspect "papier-crayon", rassurent de nombreux stagiaires. Pour que l'expérimentation du vivant ne se réduise pas à ce seul aspect, il apparaît nécessaire que les autres activités de formation permettent aux stagiaires de s'approprier quelques pratiques expérimentales sur du matériel biologique et simples à mettre en œuvre.

Un questionnaire d'évaluation anonyme a été fourni aux 36 professeurs des écoles qui ont effectivement vécu l'ensemble de la démarche proposée (avec le réinvestissement en classe de cycle III). Les réponses indiquent que 29 stagiaires trouvent un bon ou très bon intérêt aux activités vécues, tandis que 6 les estiment peu ou pas intéressantes.

des obstacles
sur le "faire" et
des obstacles
sur le "dire"

Les opinions les moins favorables concernent la rédaction des protocoles sur la fiche proposée (15 contre 21). S'il peut apparaître souhaitable de modifier les questions de la fiche, et d'impliquer plus les stagiaires dans cette rédaction, il existe aussi des difficultés inhérentes à l'activité d'écriture elle-même et citées par les stagiaires : problème de vocabulaire, difficultés à mettre en mots les idées, à rédiger et à expliciter des hypothèses... Ces difficultés de rédaction et d'explicitation de raisonnement ont été observées lors de l'analyse des fiches avec l'analyse des types de formulation, de l'emploi de connecteurs, et des mises en relations entre les différentes rubriques.

La validation des protocoles, envisagés pour le Trachops, par la présentation des expériences réalisées par les auteurs du

document vidéo suscite une large adhésion (29 stagiaires). On peut remarquer que, dans toutes les classes de CM où le problème biologique concernant le comportement alimentaire du Trachops a été posé, au moins un groupe d'élèves a proposé des expériences proches de celles qui ont été filmées.

Terminons par les remarques des stagiaires concernant le désir des élèves de réalisation effective des expériences : pratiques qu'il faut évidemment favoriser, dans la mesure du possible, et qui sollicitent le questionnement éthique et l'ingéniosité dans la réalisation des dispositifs, l'attention et la tenacité pour l'obtention des résultats.

CONCLUSION

une formation
des enseignants
à mettre
"la main à la pâte"
en synergie avec
"la main à la tête"

Si l'éducation scientifique des élèves du primaire nécessite que les enseignants soient formés à mettre "la main à la pâte", il apparaît également primordial que ce soit en synergie avec "la main à la tête". Pour nous, l'école élémentaire représente le domaine privilégié de réalisation d'activités qui ont leurs propres intérêts, dans un registre de familiarisation pratique aux objets et aux phénomènes scientifiques. Les élèves peuvent à la fois découvrir et se familiariser à des phénomènes scientifiques, mais aussi se rendre étrangers des objets qu'ils croyaient familiers, et développer ainsi un réel questionnement scientifique. Des pratiques d'investigation empirique pour résoudre les problèmes scientifiques pourront alors peu à peu être proposées, et une initiation à l'expérimentation envisageable. De plus, une réflexion, au cours de la formation, sur les démarches de construction du savoir nous apparaît nécessaire pour éviter de voir s'instaurer des cours théoriques de méthodologie.

Roland FLAGEUL
IUFM Orléans-Tours,
site de Chartres

Maryline COQUIDÉ
Université/IUFM Rouen,
LIREST, ENS Cachan

BIBLIOGRAPHIE

ANTHEAUME, P. (1993). *Contribution à la définition des objectifs spécifiques et des activités spécifiques de formation professionnelle d'enseignants non spécialistes dans une discipline scientifique : la Biologie*. Thèse de Doctorat, Université Paris 7.

ASTOLFI, J.-P. & PETERFALVI, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, 103-142.

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

CANGUILHEM, G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin.

CANTOR, M. (1995). Histoire des sciences et formation des enseignants. In A., Giordan, J.-L., Martinand et D., Raichvarg (éds.). *Actes des XVII^{es} JIES* (pp. 353-359). Paris : DIRES-Université Paris 7.

CANTOR, M. (1996). Les pratiques d'activités scientifiques : une enquête auprès d'instituteurs. In *La formation initiale des professeurs des écoles en sciences et technologie, Actes des journées d'étude*. Documents et travaux de recherche en éducation (pp. 56-60). Paris : INRP.

COQUIDÉ, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, 26, 109-132.

DÉSAUTELS, J. & LAROCHELLE, M. (1993). Constructivistes au travail : propos d'étudiants et d'étudiantes sur leur idée de science. *Aster*, 17, 13-39.

DEVELAY, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 1-16.

DEVELAY, M. (1994). *Peut-on former les enseignants?* Paris : ESF.

DEWEY, J. (1938, rééd. 1993). *Logique. La théorie de l'enquête*. Paris : PUF.

FABRE, M., ORANGE, C. (1997). Construction de problèmes et franchissement d'obstacles. *Aster*, 24, 37-58.

GENZLING, J.-C. (1991). Construire des méthodes à l'école élémentaire : la séparation de variables et la modélisation. *Aster*, 12, 39-60.

GIL-PEREZ, D. (1993). Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique. *Aster*, 17, 41-64.

GIORDAN, A., GIRAULT, Y., CLÉMENT, P. (1994). *Conceptions et connaissances*. Berne : Peter Lang.

GINGRAS, Y. & GODIN, B. (1997). Expérimentation, instrumentation et argumentation. *Didaskalia*, 11, 151-162.

GUSTAFSON, B. & ROWEL, P. (1995). Elementary preservice teachers : constructing conceptions about learning science, teaching science and the nature of science. *IJSE*, 5, 17, 589-605.

JOHSUA, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*, 8, 29-54.

- KERLAN, A. (1987). Didactique et épistémologie : éclairages bachelardiens. *Aster*, 5, 71-86.
- LACOMBE, G. (1989). Prendre le bâton de l'expérience. *Aster*, 8, 17-28.
- LAUGIER, A. & LEFÈVRE, R. (1993). Prévoir et observer le fait expérimental au cours moyen. *Aster*, 16, 143-170.
- MARTINAND, J.-L. (éd.) (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en science*. Paris : INRP.
- MARTINAND, J.-L. (1998). *Apprendre à modéliser*. Congrès de l'association des professeurs de sciences du Québec. Trois-Rivières.
- N'DIAYE, V. (1990). *Évaluation de l'utilisation de la vidéo dans les Travaux Pratiques universitaires de biologie*. Thèse de doctorat. Université Lyon1.
- ORLANDI, É. (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. Analyse de quelques cas à propos de digestion en classe de Troisième. *Aster*, 13, 111-132.
- RYDER, J. & LEACH, J. (1998). Enseigner les pratiques effectives de la science : expériences d'étudiants en projet de recherche de licence. *Didaskalia*, 12, 39-61.
- PINELLI, P., LEFÈVRE, R. (1993). "Étudiants-chercheurs" : une proposition en électrocinétique. *Aster*, 17, 65-87.
- SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1995). Une situation problème en géologie : un détour de l'anecdotique au scientifique. *Aster*, 21, 137-160.
- SZTERENBARG, M. (1991). Élaborer l'idée d'expérience. *Aster*, 12, 61-90.

ANNEXES

LES 3 FICHES POUR LES ÉLÈVES DU COURS MOYEN COMMENT LE HAMSTER REPÈRE-T-IL SA NOURRITURE?

FICHE A Avant l'expérience

1 – Quelle est votre hypothèse? À quelle solution pensez-vous?

Une seule hypothèse par feuille.

2 – Décrivez votre expérience

Commande de matériel nécessaire

3 – Quels résultats peut-on obtenir?

4 – Que concluez-vous?

FICHE B L'expérience

FICHE C Après l'expérience

A – Qu'avez-vous observé?

B – Quelles conclusions tirez-vous?

C – Que souhaitez-vous faire maintenant?

“RÉSISTANCE DU RÉEL” DANS LES PRATIQUES EXPÉRIMENTALES

Maryline Coquidé
Patricia Bourgeois-Victor
Béatrice Desbeaux-Salviat

Dans les travaux pratiques, le réel est le plus souvent aménagé et structuré pour que soit occulté tout ce qui pourrait conduire à douter du modèle enseigné. L'histoire des sciences, pourtant, nous apprend que le réel ne se laisse pas facilement conceptualiser, ni modéliser ; elle rend compte de la nécessité de construction en synergie d'une problématique, d'une théorie, de tâches et d'outils. La résistance du réel, par son aspect de matérialité, s'éprouve sous de multiples formes.

Pour tenter d'analyser comment des élèves de lycée, dans un mode d'investigation empirique, explorent un réel moins aménagé, nous avons observé l'ensemble des activités menées autour d'un thème de biologie, en option sciences expérimentales, de quatre classes de Première S. Les comptes rendus de groupe ont été analysés et un questionnaire individuel a été rempli par les élèves de deux classes. Il est ainsi intéressant de comparer nos propres observations relatives aux difficultés rencontrées avec ce que les élèves relatent ou omettent. Une proposition de caractérisation de la résistance du réel lors d'une investigation empirique est avancée.

diverses finalités
des pratiques
expérimentales
dans différents
modes
didactiques

De nombreux travaux didactiques s'intéressent aux démarches suivies dans une investigation expérimentale, démarches des enseignants (1) et démarches des apprenants (2). Une enquête, au niveau européen, sur les images des sciences chez les enseignants et les étudiants, en lien avec les travaux pratiques, a été réalisée dans le cadre de l'étude *Labwork in science education* (Séré et al., 1998). Les pratiques expérimentales peuvent, en effet, correspondre à diverses finalités dans différents modes didactiques, qu'il convient de distinguer, et que nous nommons mode de familiarisation pratique (entrée prioritaire par les activités, domaine de l'expérientiation et de l'"expérience-action"), mode d'investigation empirique (entrée prioritaire par les démarches, domaine de l'expérimentation et de l'"expérience-objet") et mode d'élaboration théorique (entrée prioritaire sur la construction de concepts, domaine de l'expérience-validation et de l'"expérience-outil") (Coquidé, 1998).

(1) Johsua, 1989 ; Orlandi, 1991 ; Nott, 1996.

(2) Cauzinille-Marmèche & al., 1983 ; Désautels et Laroche, 1993 ; Darley, 1996 ; Millar, 1996.

La logique d'une d'investigation empirique est de résoudre un problème avec une approche qui reste ouverte. Ces situations ont pour but d'initier l'élève à des raisonnements scientifiques, de lui faire utiliser les instruments et les procédures d'une réelle investigation, de développer un esprit critique face au possible artefact. Dans de nombreux travaux pratiques scolaires, en effet, il n'est pas rare que les élèves "truquent" les résultats, en considérant ceux qui sont non conformes à l'attente comme des artefacts. On gomme par là la variabilité qui, au lieu d'être imputée à l'objet vivant, est attribuée à la maladresse de l'expérimentateur. Comment apprendre alors à décider si un résultat inattendu relève d'un artefact ou nécessite une révision du cadre théorique qui sous-tend l'expérience?

La constitution d'un référent empirique (Martinand, 1986), les incidents critiques, les pannes, les résultats non attendus et tout ce qui fait que le réel résiste à l'investigation constituent, en effet, des éléments importants dans le déroulement d'un TP. Leurs modes de gestion, par les élèves ou par les enseignants, sont en relation avec l'image des sciences expérimentales. Ainsi, dans une étude effectuée par Nott en 1996, les commentaires des enseignants sur leur gestion de ces incidents expriment des conceptions sur la nature des sciences (Nott, 1996).

Développé dans quelques cursus universitaires, le travail sous forme de projet de recherche en licence facilite la compréhension des étudiants relative aux pratiques effectives de la science (Ryder et Leach, 1998). En France, l'option expérimentale de la classe de Première S, qui est à rapprocher du module SCI de nos collègues anglo-saxons (Dungan et Gott, 1995), offre un cadre privilégié pour mettre en œuvre une telle investigation empirique, en donnant la possibilité de réaliser de longues expériences, de s'affronter à la résistance du réel et de faciliter une meilleure compréhension de certains aspects du travail scientifique.

Nous souhaitons, dans un registre épistémologique et pédagogique, nous interroger sur les enjeux éducatifs relatifs à la découverte et la gestion, par les élèves, de la résistance du réel dans une investigation empirique "réelle et concrète" menée sur des vivants (3).

l'option
expérimentale
de 1^e S,
cadre privilégié
pour
une investigation
empirique

(3) Étude menée dans le cadre d'une recherche coopérative IUFM Rouen-INRP "*L'expérimental dans la classe*", coordonnée par Claudine Larcher (1995-1998).

1. MATÉRIALITÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET RÉSISTANCE DU RÉEL

La science poursuit un projet caractérisé par trois points essentiels :

- la science vise une "réalité" et en cela s'oppose à toute production que l'imagination construirait sans obstacle ;
- elle cherche une "explication", c'est-à-dire l'insertion de la réalité qu'elle décrit dans un système abstrait de concepts, dépassant les faits singuliers de l'expérience et nécessitant l'élaboration de modèles ;
- elle se soumet à des critères de "validation" qui sont explicitement formulables et font l'objet d'un consensus.

Dans une investigation empirique, le réel ne se laisse pas facilement "maîtriser" et résiste à l'expérimentation pour des raisons très diverses. Pour pallier à cette résistance du réel, l'histoire des sciences rend compte de la nécessité de la co-construction d'une problématique, d'une théorie, de tâches et d'outils (Clarke et Fujimura, 1992). Nous avons fait les hypothèses que la construction conjointe des problématiques, des tâches et des outils faciliterait la gestion de la résistance du réel par les élèves, et que les situations de classe d'investigation empirique se prêtaient mieux que d'autres à cette élaboration complexe. Notre recherche vise à préciser autant qu'il est possible, sous ses manifestations multiples et dans ses adaptations concrètes à divers objets, le rapport des élèves de lycée à un réel peu aménagé en sciences de la vie.

matérialité de la science et nécessité de la construction en synergie d'une problématique, d'une théorie, de tâches et d'outils

1.1. L'objet biologique

Le réel, et le vivant en particulier, ne se conceptualise, ni ne se modélise facilement. La résistance du réel est due à la variabilité (spécifique, inter-individuelle et intra-individuelle) du vivant, à ses dimensions, à sa complexité... L'investigation sur le vivant n'est pas simple et nécessite que le scientifique invente des protocoles originaux et des techniques proprement biologiques (Canguilhem, 1965).

Quelques "objets biologiques" disponibles dans les classes suffiront sans doute à illustrer certains aspects de cette résistance. En quoi les expériences effectuées sur un ver de terre sont-elles transposables à la souris ou au ver de farine ? Si l'on choisit de ne travailler que sur des individus d'une même espèce, des souris par exemple, n'oublions pas que chacune, à l'intérieur d'une population, possède sa propre identité. Et si l'on s'intéresse à une seule souris, les difficultés ne seront pas résolues pour autant : réagit-elle de la même façon selon qu'elle a été nourrie ou qu'elle a faim ? qu'elle est soumise au stress ou au contraire en situation de confiance ? qu'elle est en œstrus ou qu'elle allaite ses souriceaux ?

résistance du vivant à l'investigation

La taille, les caractéristiques physiologiques et l'histoire propre des objets biologiques ne facilitent pas non plus l'expérimentation. Par exemple, en ce qui concerne les algues vertes, l'appréciation de la croissance des individus microscopiques, de l'accroissement des populations, dépend de contraintes physico-chimiques et temporelles strictes, difficiles à maîtriser pendant le temps scolaire.

Le vivant, même s'il semble trivial de le rappeler, ne se réduit pas à quelques lois simples. Cette résistance du réel entraîne un véritable "conflit cognitif intra-sujet" qui oblige le sujet à des conceptualisations successives, mises à l'épreuve par des confrontations au réel (4).

1.2. Le rapport au vivant

Lors d'une investigation concrète le sujet touche, et est touché par son rapport affectif et émotionnel au vivant. Un classement couramment répandu dans l'inconscient collectif place les mammifères au sommet d'une hiérarchie, reléguant les invertébrés et davantage encore les végétaux à des niveaux subalternes du monde vivant.

importance
de l'éthique

Dans un autre registre, n'oublions pas non plus l'importance de l'éthique qui interdit différentes expérimentations sur le vivant et limite de façon volontaire l'investigation et l'instrumentation du vivant. Ainsi les pratiques de classe se sont radicalement modifiées au cours de ces dernières années, éradiquant la vivisection : les grenouilles décérébrées et démyélinisées ont disparu des paillasses, par contre les enseignants n'hésitent pas à sacrifier blattes ou langoustines. Cela a une influence sur les représentations que les élèves se construisent à partir des modèles d'étude du vivant.

1.3. Instrumentation, référent empirique et matrice cognitive

Une expérimentation représente un ensemble complexe de mises au point de protocoles, de procédures, de recours à des instruments (matériels et théoriques)... Lors d'une investigation empirique, la résistance du réel, dans son aspect de matérialité, s'éprouve sous de multiples formes. Il peut s'agir de contingences strictement matérielles (disponibilité d'outils et de matériaux, performances des instruments...). Du côté du sujet expérimentateur, il s'agit de mobiliser des performances sensori-motrices, de maîtriser des gestes indispensables, de constituer et de mettre en

(4) Ce conflit intra-sujet est suscité par les discordances entre ses attentes et la confrontation au réel. Un autre conflit intra-sujet peut, dans la théorie du conflit socio-cognitif, être suscité par un conflit inter-sujet.

du côté de
l'expérimentateur
et des outils

œuvre les schèmes d'utilisation des instruments ("*instrumentation du sujet*" selon l'expression de Rabardel, 1988) et de solliciter un référent empirique (5) (Martinand, 1986). Il s'agit également d'utiliser des instruments théoriques, des éléments épistémiques indispensables à la mise en œuvre concrète de procédures expérimentales, et constituant la matrice cognitive (Martinand, 1996).

Ces aspects s'observent, par exemple, lors de l'investigation relative au métabolisme des chlorelles (algues vertes) par les élèves. L'utilisation d'une sonde oxymétrique, reliée à un dispositif d'expérimentation assisté par ordinateur passe par une phase de maîtrise de l'outil de mesure. On note des problèmes de reproductibilité, des difficultés pour étalonner la sonde, des erreurs de manipulation (artefacts liés aux mouvements maladroits effectués lors de l'ajout ou de l'enlèvement du cache opaque sur le bioréacteur...), ou des déficiences de matériel (bouchon percé, agitateur trop gros...).

2. GESTION DE LA RÉSISTANCE DU RÉEL PAR DES ÉLÈVES DE LYCÉE

observations de
quatre classes en
option sciences
expérimentales...

Comment des élèves de lycée s'approprient-ils des situations d'investigation empirique? En particulier, comment gèrent-ils les problèmes rencontrés par la résistance du réel? Comment réagissent-ils quand ils obtiennent des résultats non conformes à l'attente ou qu'ils n'arrivent pas à obtenir de résultat? Pour contribuer à analyser ce domaine et à alimenter le débat, nous avons observé les séances de l'option sciences expérimentales de quatre classes de Première S. Deux classes ont travaillé sur le métabolisme énergétique des ectothermes (animaux sans thermorégulation), deux autres sur le métabolisme des chlorelles (algues vertes unicellulaires).

Dans les deux premières classes, les élèves devaient s'interroger, à partir de documents, sur le comportement des ectothermes en relation avec le milieu de vie. Dans ce premier cas, la résistance du réel est apparue après la phase de problématisation (document 1).

(5) Pour l'enseignement d'un concept, le référent empirique représente l'ensemble des objets, phénomènes et procédés pris en compte, par expérience directe ou par évocation, et des premières connaissances d'ordre pratique qui leur sont associées.

**Document 1. Diversité de thèmes choisis par les élèves de Première S
pour leur expérimentation sur des ectothermes**

Groupe 1

Comparaison de l'intensité respiratoire d'un endotherme (souris) et d'un ectotherme (blatte), en fonction de la température ambiante (utilisation de l'ExAO)

Groupe 2

Comparaison de l'activité métabolique des phasmes en fonction de la température ambiante

Groupe 3

Comparaison du comportement et de la consommation de dioxygène chez les poissons rouges en fonction de la température

Groupe 4

Comparaison de la consommation de nourriture des vers de farine en fonction de la température

Groupe 5

Comparaison de la dépense énergétique, à travers la mesure de l'intensité respiratoire, de trois ectothermes (phasmes, ténébrions, blattes), en fonction de la température

Groupe 6

Comparaison du développement de ténébrions, à l'état de larves et à l'état de nymphes, en fonction de la température

Groupe 7

Comparaison de la consommation de dioxygène de blattes en fonction de la température (utilisation de l'ExAO)

Groupe 8

Étude des variations de la consommation de dioxygène de blattes en fonction de la température

Les autres élèves ont dû faire pousser les algues, le plus vite possible, dans des bouteilles de verre transparentes. L'objet étudié ne s'inscrit pas dans le référent familier des élèves concernés. Il est étrange et difficile à appréhender : "*Qu'est-ce que c'est que ce truc vert ?*", (commentaire d'élève désignant des bocaux contenant les chlorelles). "*Nous on voit que des petits ronds verts... ça bouge...*" (commentaire d'élèves concernant des observations au microscope). Dans ce deuxième cas, axé dès le départ sur un phénomène "concret", la résistance du réel les a très vite intrigués : pourquoi les algues prolifèrent-elles ou au contraire ne se développent-elles pas comme prévu ? comment intervient la dimension temporelle ? (chronologie des événements, temps nécessaire pour le doublement de la population initiale...).

...pour analyser les problèmes rencontrés par les élèves dans la résistance du réel...

2.1. Méthodologie

Nous avons tenté de repérer la résistance du réel dans le processus d'expérimentation. Les problèmes et difficultés

apparaissent, en effet, différents selon le moment de la démarche : problématisation, invention d'hypothèses, conception d'un protocole, ou bien recueil et traitement de données... Dans le cadre de ce texte, nous nous limiterons à ceux rencontrés lors de la conception des protocoles et lors du recueil et du traitement de données. Il sera intéressant, dans une étude ultérieure, de comparer les problèmes empiriques de la phase de problématisation avec d'autres travaux (Orange, 1998).

Pour les classes expérimentant sur les chlorelles, les séquences ont été enregistrées et les comptes rendus d'élèves analysés. Pour les classes travaillant sur les ectothermes, deux groupes d'élèves ont été observés de façon approfondie par deux observateurs extérieurs. L'enseignant, à plusieurs reprises, a demandé aux élèves d'être attentifs "aux divers problèmes qu'ils rencontraient", afin d'en faire part et, à la fin du thème, nous avons proposé un questionnaire individuel relatif à ce point. Nous avons pu, ainsi, recueillir des données (6) concernant les problèmes, vécus et soulevés par les élèves eux-mêmes, et leurs gestions matérielles. Nous avons comparé, en particulier pour les élèves des groupes ayant bénéficié d'une observation fine, les difficultés observées avec ce que disent les élèves et nous avons relevé des écarts significatifs. Quels sont les problèmes qui sont soulevés par les élèves eux-mêmes ? Quelles sont les difficultés liées à la démarche adoptée, analysées par les observateurs, dont les élèves ne s'aperçoivent pas mais qui compromettent la mise en œuvre ou la validation de la démarche ?

...et les difficultés dont ils ne s'aperçoivent pas mais qui compromettent la validation de la démarche

2.2. Observations lors de la conception des protocoles

• *Résistance liée au vivant*

La conception de protocoles expérimentaux sur le vivant nécessite la conscience et la prise en compte de la variabilité, de la spécificité, de la diversité, de la complexité et du rapport au temps. Quelles sont les exigences qui ont été prises en compte, ou non, par les élèves dans leurs investigations ?

Les élèves font part de problèmes quand les observations ou les mesures envisagées sont relatives à des phénomènes difficiles à analyser, comme dans le cas des comportements animaux par exemple. Certains s'interrogent sur la possibilité de "mesurer" ou d'analyser l'activité d'un animal (groupes 2 et 5), ou sur les conditions de changement de température qui peuvent affecter l'animal de façon différente ("*faut-il changer la température autour de l'animal brusquement ou progressivement ?*").

(6) Dans les divers brouillons, les comptes rendus de groupe et les questionnaires individuels.

Mais d'autres difficultés, dont les élèves ne s'aperçoivent pas mais qui compromettent la validation de leur démarche, ont été relevées par les observateurs. Ainsi, aucun groupe ne pense à un échantillonnage *a priori*. Des élèves y font parfois allusion après intervention de l'enseignant mais on n'en observe aucune prise en compte dans les dispositifs. Nous pensons qu'aux difficultés relatives à la disponibilité du matériel ou aux contraintes d'espace et de temps s'ajoutent des éléments concernant la matrice cognitive des élèves, ceux-ci ne sollicitant que difficilement une pensée statistique (Cauzinille-Marmèche et al., 1983 ; Schwartz, 1994).

dans
la conception
des protocoles
la variabilité du
vivant est peu
prise en compte

Dans la conception des protocoles, si la variabilité du vivant chez un individu et dans une même espèce n'est pas prise en compte, la diversité entre espèces l'est un peu plus. Des élèves évoquent la possibilité d'utiliser différents types d'ectothermes, avec des cycles de vie différents (groupe 5) (7), cependant la plupart envisagent des comparaisons directes, et sans précaution, entre différents modèles d'étude animaux.

Remarquons que si les élèves ne prévoient pas de témoin *a priori*, la plupart y pensent cependant ensuite, lors du recueil de données. Pour plusieurs d'entre eux, la notion même de témoin est floue : "*le témoin correspond à une expérience dans laquelle l'expérimentateur n'intervient pas*".

des difficultés
liées à la non-
remobilisation de
connaissances
biologiques...

Une autre catégorie de difficultés est relative aux connaissances biologiques non remobilisées dans ce contexte (et donc non opératoires). Dans les discussions de certains groupes, par exemple, on constate une confusion entre la croissance et le développement, ou bien encore une absence de maîtrise de la notion de cycle de vie. Ce problème n'ayant pas été repéré immédiatement par l'enseignant, sa remédiation ne s'est produite que tardivement dans la démarche.

**• Résistance liée à l'instrumentation
et au référent empirique**

Dans la conception des protocoles, les problèmes concernant l'instrumentation ne sont pas encore perçus comme très importants. Les élèves se posent quelques questions techniques relatives au choix du matériel ou à des procédures ("*Comment changer la température ?*" ; "*Dans quel récipient hermétique placer les animaux ?*"...). C'est, par contre, au moment de la réalisation du protocole et dans le recueil de données que problèmes et difficultés apparaîtront plus flagrants.

(7) Les groupes des classes travaillant sur les ectothermes sont désignés par des chiffres, ceux des classes travaillant sur les algues vertes par des lettres.

**• Difficultés liées au développement
de la matrice cognitive**

... ou à la non-
maîtrise de formes
de raisonnement

Dans la phase de conception de protocole, la matrice cognitive des élèves est très sollicitée. Des difficultés, liées à la non maîtrise d'outils théoriques ou de formes de raisonnement (pensée comparative, pensée analytique, pensée hypothético-déductive...) peuvent apparaître.

2.3. Observations lors du recueil de données

de nombreux
problèmes pour
obtenir un résultat

C'est au moment de la réalisation du protocole et dans le recueil de données que la résistance du réel est la plus prégnante. Les élèves éprouvent des problèmes à obtenir un "résultat". En fait, ils vivent les difficultés à créer et à stabiliser un "phénomène" (Hacking, 1989). La réaction la plus fréquente des groupes est une approche tâtonnante, avec changement constant d'animaux (individus et espèce) ou de facteurs du milieu (éclairage pour les algues...), jusqu'à ce que "ça marche". Les élèves procèdent d'abord par tâtonnement expérimental et par imitation (emprunt des idées des voisins de paillasse). Quand les élèves pensent que leur manipulation "ne marche pas", ils se tournent vers les autres.

On a donc une phase, importante et plus ou moins longue, de régulation et d'adaptation du protocole envisagé.

• Résistance liée au vivant

De nombreux problèmes sont apparus dans le recueil des données : la consommation de dioxygène des ectothermes reste faible et donc difficile à mesurer. L'intervention du professeur suggérant d'augmenter le nombre d'animaux utilisés a permis une remédiation partielle. Dans le cas des chlorelles, les élèves se disent surpris par la vitesse de réaction des algues vertes aux alternances successives de lumière et d'obscurité.

réaction de
l'être vivant à
l'expérimentation

Un être vivant n'est pas un objet inerte et il réagit éventuellement à l'expérimentation (Giordan, 1978). Comme le remarque Cahn : "*on est amené en biologie, inéluctablement, même en ne voulant vérifier qu'un principe physique, à l'étude des lois de comportement des êtres vivants, c'est-à-dire à l'étude par les réponses obtenues, des types d'adaptation des organismes aux lois physiques, aux problèmes physiologiques proprement dits*" (8). Ainsi, dans une série de mesures successives, le comportement des animaux peut changer et des réactions de stress sont possibles. Ce problème a été parfois soulevé par quelques élèves et pris en compte dans la manipulation : précautions diverses et durée de l'expérimentation réduite.

(8) Cité par Canguilhem, *La connaissance de la vie*. Vrin (1965, rééd. 1980) p. 33.

Dans la phase de recueil de données, on constate une évolution des réflexions et une prise en compte, par certains élèves, de la variabilité du vivant : “*On ne peut pas généraliser à partir d'un seul animal.*” (groupe 1)

Remarquons que la phase de recueil de données permet également une mise à l'épreuve et une mise en acte des conceptions concernant le rapport au vivant. À plusieurs moments, les manipulations ont été l'occasion de discussions entre élèves, relatives au respect du vivant. Ainsi, une expérience réalisée à 40 °C est interrompue pour ne pas faire souffrir des souris (groupe 1), tandis que, dans un autre groupe, des ténébriions sont laissés, entassés dans une petite seringue, pendant toute la pause (groupe 5).

**• Résistance liée à l'instrumentation
et au référent empirique**

sollicitation
des compétences
instrumentales
des élèves

Les élèves ont mobilisé spontanément plusieurs compétences instrumentales : pesée avec différentes balances, principes de l'ExAO, recueil de gaz, utilisation du microscope...

Ils ont éprouvé plusieurs problèmes avec les instruments d'investigation : panne de la sonde oxymétrique, problème de sa sensibilité, questions relatives à l'adaptation du matériel. C'est l'intervention de l'aide de laboratoire qui a permis, le plus souvent, d'y remédier. Dans les deux classes qui travaillent sur les algues, les élèves remédient seuls à ces pannes, ce qui les amène, selon leur propre expression, à “prendre du retard” par rapport aux autres groupes.

D'autres problèmes, relatifs à l'instrumentation et à la mesure, sont apparus : pratique d'étalonnage de la sonde, choix dans le logiciel (*Respi* ou *Respor*), choix des échelles de mesure. Ces questions sont discutées en commun dans le groupe ou remédiées par l'intervention de l'aide de laboratoire.

problèmes
relatifs à
l'instrumentation

Nous avons également relevé plusieurs questions concernant le rôle des différents éléments du montage ExAO (sonde oxymétrique, logiciel, ordinateur). Se pose ici la question de la transparence, ou non, des appareils (Rabardel, 1988). Ce qui est en jeu ici, ce n'est pas la compréhension du fonctionnement technique des différents instruments pour lui-même, mais la compréhension pour pouvoir agir : un fonctionnement en “boîte noire” et non en “boîte de verre” pour reprendre l'expression de Rabardel. “*Ce n'est pas la peine de rechercher comment faire les calculs, l'ordinateur les donne*”, commentent des élèves (groupe 5). L'objet “sonde oxymétrique” est réduit à sa fonction : “mesurer la concentration en dioxygène dans le milieu”.

sollicitation
d'un référent
empirique

Les élèves ont eu à régler quantité de questions pratiques ou techniques qui ont sollicité leur référent empirique ou

mobilisé des éléments conceptuels. En voici quelques unes pour chacune des expérimentations.

Expérimentation sur les ectothermes

- Comment changer la température ? (groupe 1)
- Comment mesurer le volume d'air d'une boîte de forme complexe ? Comment peser un poisson rouge ? Comment évaluer les échanges respiratoires du poisson ? (groupe 3)
- Comment évaluer la quantité de nourriture consommée par les phasmes (groupe 2) ou par les vers de farine (groupe 4) ?
- Comment éviter la déshydratation atmosphérique dans l'étuve ? (groupes 2 et 6)

Expérimentation sur les algues

- Comment éclairer sans chauffer ? (groupe B)
- Comment agiter la suspension d'algues sans faire trembler la sonde oxymétrique ? (groupe H)
- Comment injecter des substances dans le milieu de culture sans perturber l'enregistrement ? (groupe A)
- Comment placer la suspension d'algues à l'obscurité dans la salle éclairée ? (groupe F)

• Difficultés liées au développement de la matrice cognitive

La matrice cognitive est également sollicitée et des difficultés peuvent apparaître si certaines mises en relations dans celle-ci apparaissent manquantes. Ainsi, les élèves ayant expérimenté sur les algues unicellulaires n'ont pas compris la signification des représentations graphiques : pour représenter des différences de pH minimales, ils tracent des pentes gigantesques. C'est comme s'il n'y avait aucun lien entre la maîtrise d'un savoir-faire (mesurer, tracer graphiquement) et la maîtrise d'un savoir-penser.

des difficultés
si des mises
en relations
manquent
dans la matrice
cognitive

2.4. Ce qui est évoqué par les élèves dans les comptes rendus et dans les questionnaires

Il est intéressant de comparer les observations effectuées avec ce qu'en écrivent les élèves. Tout d'abord, et malgré la demande explicite de l'enseignant, la plupart des comptes rendus sont épurés de nombreuses difficultés. Par exemple, ils ne relatent pas les raisons du changement perpétuel d'animaux visant à obtenir un résultat, et ils le présentent comme quelque chose de voulu, de décidé. De nombreux élèves semblent avoir assimilé que des comptes rendus ne présentent qu'une forme reconstruite de la démarche. Ceux-ci ne fournissent, pour la plupart, que peu de détails ou d'exemples précis, contrairement à certains brouillons ou aux questionnaires individuels.

Dans les classes qui ont expérimenté sur les chlorelles, 36 élèves sur 68 inscrivent leurs comptes rendus exclusive-

honorer le doute
et développer
l'esprit critique...

ment dans une logique d'investigation empirique (9). Ce sont essentiellement ceux qui pensent que leur expérimentation n'a pas "marché". Ils osent faire part de leurs incertitudes. "Notre hypothèse ne semble pas totalement confirmée..." (groupe C)

"Malgré cette stabilité, on observe une hausse de pH, ce qui est anormal." (groupe E)

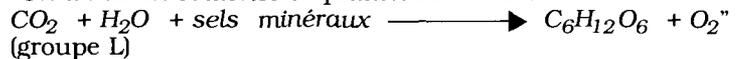
"Nous ne pouvons pas expliquer les résultats de la deuxième série d'expériences, les résultats n'étant pas très concluants, ce qui est sûrement dû à des erreurs de manipulation ou de réglage de notre part ; cependant nous avons renouvelé deux fois les expériences en essayant par exemple de faire varier le bouton "pente" mais ça n'a pas marché." (groupe G)

Les comptes rendus des 32 autres élèves combinent mode d'investigation empirique et mode d'élaboration théorique, mais privilégient dans l'ensemble ce dernier mode. Ce sont surtout les élèves qui pensent avoir "réussi" leur expérimentation.

... pour éviter des
généralisations
abusives

Alors qu'ils travaillent sur un matériel biologique précis, les chlorelles, certains élèves n'hésitent pas à généraliser abusivement en étendant leurs résultats à l'ensemble des végétaux chlorophylliens, ou en proposant une interprétation au niveau moléculaire :

"On a mis en évidence l'équation suivante :



"Le logiciel Respor nous permet de visualiser la respiration des algues." (groupe A)

"À la lumière, la quantité d'O₂ augmente. Nous concluons qu'il y a photosynthèse. En revanche, à l'obscurité, la quantité d'O₂ diminue. En conclusion, à l'obscurité la plante respire. Elle dégage donc du CO₂." (groupe B)

une proposition
pour caractériser
les problèmes
relatés par
les élèves

Nous avons analysé les difficultés liées dans les comptes rendus, dans les brouillons et dans les questionnaires individuels, en nous référant à la caractérisation des difficultés observées dans les pratiques expérimentales des élèves (document 2). Cette caractérisation ne doit pas être considérée comme une catégorisation :

- d'une part, plusieurs éléments peuvent interagir entre eux et dans l'analyse du corpus nous avons eu souvent recours à un multi-codage ;
- d'autre part, il est parfois difficile de différencier ce qui relève de la sollicitation d'un référent empirique et ce qui est relatif à un problème concernant l'instrumentation, ce qui nécessiterait sans doute d'être débattu.

(9) Cf. les différents modes de gestion de l'expérimental – modes de familiarisation pratique, mode d'investigation empirique, mode d'élaboration théorique – présentés brièvement dans l'introduction.

Document 2. Expérimentation sur les ectothermes
Tableau synthétique des commentaires d'élèves
relevés dans les questionnaires

Problèmes (nombre d'occurrences et exemples)	relatifs à
<p>Relatifs à la variabilité du vivant (total 14)</p> <p>– interspécifique (5) <i>“L'expérience de la blatte aurait du être renouvelée avec d'autres ectothermes afin que les résultats puissent être généralisés.”</i> (groupe 1)</p> <p>– inter-individuelle, échantillonnage (2) <i>“Se pose un problème d'échantillonnage puisque nos conclusions reposent sur un nombre d'expériences très réduit.”</i> (groupe 7)</p> <p>– intra-individuelle (7) dont santé et stress (3) <i>“La souris ayant servi pour les trois expériences à la suite n'était pas toujours en calme émotionnel.”</i> (groupe 1) <i>“Pour les vers qui sont morts, on ne connaissait pas leur état de santé.”</i> (groupe 3)</p> <p>dont état de développement de l'animal (4) <i>“Nous ne savions pas exactement à quel stade les larves étaient : certaines larves étaient sans doute plus jeunes et plus résistantes que d'autres.”</i> (groupe 3)</p> <p>Concernant des phénomènes biologiques difficilement quantifiables (total 7)</p> <p>– dont intensité respiratoire faible des ectothermes (5) <i>“Tout d'abord, nous avons commencé à étudier les blattes mais vu les problèmes auxquels nous nous sommes heurtés, nous avons choisi des ténébrions, ectothermes plus petits mais que nous avons pu placer dans une enceinte de plus faible volume, en conséquence nous avons pu mieux mesurer les faibles consommations de ces animaux.”</i></p> <p>– dont relatifs à des comportements (2) <i>“La mesure du mouvement des opercules n'est pas très fiable.”</i> (groupe 3)</p> <p>Relatifs aux conditions de survie liées à l'expérimentation (4) <i>“Une fourchette de température judicieusement établie peut correspondre à un domaine de vie équilibrée pour le phasme.”</i> (groupe 2)</p>	<p align="center">V</p> <p align="center">résistance du réel liée au vivant</p>

Problèmes (nombre d'occurrences et exemples)	relatifs à
<p>Relatifs à des procédures de mesure de masse, à des procédures de mesure de température (total 3) <i>“Pour mesurer la masse de la souris, comme pour la blatte, nous utilisons une balance sur laquelle nous plaçons une boîte hermétique puis nous faisons la tare. Après avoir taré, nous plaçons la souris ou la blatte dans la boîte puis nous relevons le poids.”</i> (groupe 1)</p>	<p>RE sollicitation des éléments du référent empirique</p>
<p>Performance et sensibilité des instruments (total 15) <i>“La balance pour la pesée ne donnait qu’une précision à 0,1 g près. Nous ne pouvions donc pas savoir si les vers avaient exactement la même masse.”</i> (groupe 4)</p> <p>– dont ExAO (9) <i>“Difficultés techniques au niveau du matériel : pas assez précis pour mesurer l’intensité respiratoire de la blatte en milieu ambiant et en milieu froid.”</i> (groupe 1)</p> <p>– dont panne (2) <i>“Le lot 3 placé à l’étuve, l’étuve, ne stabilisant pas des températures inférieures à 30 °, a littéralement brûlé ; peut-être aurait-il fallu humidifier les milieux.”</i> (groupe 2)</p>	<p>MI éléments relatifs explicitement aux instruments</p>
<p>Choix des instruments ou des méthodes instrumentales (2) <i>“C’est ce qui nous a amenés à revoir la méthode de mesure qui, au départ, consistait à mesurer la variation du taux de dioxygène dans l’enceinte et qui, par la suite, a été remplacée par la mesure de dioxygène consommé.”</i> (groupe 7)</p> <p>Utilisation des instruments (1) <i>“Nous avons aussi mal évalué les problèmes que pouvaient occasionner les changements de température à l’intérieur de l’enceinte. Nous nous sommes aperçus que les changements de température entraînaient des changements de volume molaire qui faussent les mesures effectuées par l’interface ExAO.”</i> (groupe 7)</p> <p>Réalisation des mesures (2) <i>“Les blattes ont été mises à température ambiante. On remarque que la respiration est normale et quasiment continue. On remarque quelques augmentations anormales qui sont sûrement dues à des problèmes de mesure.”</i> (groupe 7)</p> <p>Réalisation des montages expérimentaux et procédures d’adaptation du matériel (6) <i>“C’est ce qui nous a amenés à revoir la méthode de mesure qui, au départ, consistait à mesurer la variation du taux de dioxygène dans l’enceinte et qui, par la suite, a été remplacée par la mesure de dioxygène consommé.”</i> (groupe 7)</p>	<p>MT éléments relatifs explicitement à l’instrumentation</p>

Problèmes (nombre d'occurrences et <i>exemples</i>)	relatifs à
<p>Démarche hypothético-déductive (2) <i>“Nous avons eu des problèmes d’humidité avec la farine. Nous avons été obligés de refaire une expérience pour prouver qu’il s’agissait bien de l’humidité.”</i> (groupe 4)</p> <p>Analyse et contrôle de facteurs (éventuellement interactifs) (3) <i>“Nous avons été obligés de placer les vers dans un réfrigérateur pour arriver à une basse température mais ces vers étaient placés dans le noir. Donc nous avons été obligés de placer les vers à 20° dans une armoire afin que la luminosité ne fausse pas notre expérience.”</i> (groupe 4)</p> <p>Pensée comparative (1), nécessité d’un témoin (1) <i>“Courbe témoin : on a réalisé une mesure de consommation de dioxygène dans une enceinte vide. Elle permet de vérifier que la boîte est bien hermétique et de valider nos expériences par rapport à un témoin.”</i> (groupe 7)</p> <p>Analyse critique de résultats (2) <i>“Sur toute la première série d’expériences que nous avons menée, nous n’avons pu établir d’analyse convenable.”</i> (groupe 7)</p> <p>Relatifs à une transposition de pratiques de scientifique (9) <i>“Cela nous a permis de faire une expérience du début à la fin. On voit qu’il faut du temps et ça montre comment font les scientifiques.”</i> (groupe 6)</p>	<p>MC sollicitation des éléments de la matrice cognitive</p>

3. POUR DÉBATTRE

3.1. Bilan de l'étude

les enjeux éducatifs de situations proposant un réel peu aménagé

Cette étude représente une tentative d'exploration de la gestion de la résistance du réel, du référent empirique et de la matrice cognitive sollicités et/ou constitués lors d'une activité pratique dans un mode d'investigation empirique. Elle peut contribuer à repérer les enjeux éducatifs de telles activités et aider à mieux les comprendre. *“J’ai beaucoup apprécié l’aspect manipulateur car on se rend compte que, parfois, tout ne fonctionne pas comme l’on veut et il faut modifier tout le protocole.”* (Commentaire d'élève relevé dans le questionnaire relatif à l'option)

• Commentaires au niveau de la résistance du réel

Si les élèves font part, dans leurs commentaires, d'une appréciation positive des activités et relatent quelques

la résistance liée
au vivant reste
sous-estimée

problèmes rencontrés, ceux-ci sont globalement sous-estimés et concernent essentiellement l'instrumentation et les instruments d'investigation plutôt que la résistance liée au vivant. Cependant, des problèmes d'expérimentation liés à la variabilité du vivant ont parfois été cités. On constate une difficulté à reconnaître et/ou à communiquer les problèmes empiriques rencontrés.

• **Commentaires au niveau du référent empirique**

Pour appréhender le réel, de nombreux éléments du référent empirique individuel ont été, à plusieurs reprises, spontanément sollicités sans difficultés particulières par les élèves et ils n'ont pas été relatés. D'autres éléments, relatifs à différentes procédures de recueil de données, ont provoqué des problèmes au sein des groupes (par exemple certaines mesures de volume ou pesées). Ils ont alors sollicité de façon explicite les compétences techniques de quelques élèves, avec communication, démonstration et discussion sur la pertinence, puis plus ou moins imitation par les autres élèves du groupe. On a donc assisté, dans ce cas, à une mutualisation de connaissances d'ordre pratique.

une possibilité de
mutualisation de
connaissances
d'ordre pratique

Dans le cas où le référent empirique est apparu déficitaire dans tout le groupe, on a observé, selon les cas :

- soit une aide directe de l'enseignant ou de l'aide de laboratoire ;
- soit la constitution de ce référent avec des passages plus ou moins prolongés à des situations de familiarisation pratique au cours de l'investigation empirique (par exemple lors de l'utilisation de l'ExAO) ;
- soit une mise en œuvre de recherche documentaire ("*Comment respire la blatte ?*") ;
- soit des comportements d'évitement du problème empirique et des changements dans la problématisation ou dans le protocole.

des interventions
pédagogiques
différentes

• **Commentaires au niveau de la matrice cognitive**

Le plus souvent, les élèves ont présenté, dans leur compte rendu, une démarche scientifique toujours reconstruite et de type "PHERIC", avec une investigation scientifique linéaire débutant par un problème, puis continuant par l'émission d'une hypothèse, la description du protocole expérimental, les résultats de l'expérimentation, leur interprétation et une conclusion (Develay, 1989 ; Coquidé, 1998 ; Orange, 1998). Dans leurs investigations, ils ont pourtant fait évoluer et varier les protocoles pour chercher à établir des *faits* et ils reconnaissent les difficultés multiples à stabiliser des *phénomènes* (Hacking, 1983) mais cette phase d'investigation est ensuite le plus souvent "gommée", comme c'est la règle dans le genre "compte rendu".

Les élèves ont mis en avant une pratique expérimentale de type "physico-chimique", avec recherche de séparation stricte de facteurs et volonté de répétitivité de l'expérience alors que,

des difficultés
avec la pensée
statistique...

dans les situations biologiques, l'expérimentateur est le plus souvent confronté à des causalités pluri-factorielles ou à des facteurs en interaction, et qu'il est impossible de strictement "répéter" une expérience. On constate également des difficultés cognitives concernant l'idée d'échantillonnage et une confusion entre échantillonnage des objets biologiques à expérimenter (variabilité du vivant) et nombre suffisant de résultats relatifs à la "répétition" de la même expérience sur le même animal : "*Se pose un problème d'échantillonnage puisque nos conclusions reposent sur un nombre d'expériences très réduit.*" (Extrait du compte rendu du groupe 7)

... et avec
"le travail
de la preuve"

On a pu relever, dans les comptes rendus et dans les commentaires de nombreux élèves, des conceptions relatives au rôle de l'expérience pour "prouver" et de fréquentes généralisations hâtives. Les exercices d'évaluation (type baccalauréat) et le principe de construction de la plupart des cours de Sciences de la Vie et de la Terre, privilégiant une démarche inductive à partir d'un seul exemple prototypique, utilisent constamment un raccourci artificiel entre réalité expérimentale et théorie. Il n'est donc pas étonnant que les élèves aient tendance à reproduire le schéma de pensée en vigueur dans l'enseignement et qu'ils soient perturbés face à la résistance du réel. Pour révéler cet écueil et tenter de le caractériser plus finement, il nous semble intéressant de confronter les élèves à des situations de pratiques expérimentales qui permettraient de développer une image plus conforme des pratiques scientifiques et d'*honorer le doute* selon l'expression de Debru (1998). Les situations de mode d'investigation empirique pourraient particulièrement s'y prêter.

• Articulation des registres, articulation des modes didactiques des pratiques expérimentales

Lors des situations d'investigation empirique observées dans cette étude, des difficultés rencontrées par les élèves ont été relatives à la résistance du vivant à la conceptualisation et à la modélisation, d'autres ont été relatives aux différents aspects des pratiques instrumentales ou à un déficit de référent empirique. Remarquons que ces situations ont particulièrement sollicité la matrice cognitive.

Dans une perspective curriculaire, il conviendrait :

nécessité
d'articuler
des registres dans
une perspective
curriculaire

- de développer des situations de familiarisation pratique pour permettre de constituer ce référent empirique ;
- de s'interroger sur des situations d'investigation empirique qui puissent être proposées aux élèves, avec quelques contraintes relatives à la gestion de la résistance du réel, mais pas trop nombreuses et présentant un vrai enjeu éducatif. La caractérisation des éléments intervenant dans la résistance du réel, proposée dans cette étude, pourrait aider à effectuer des choix : choix de situations, et choix d'intervention pédagogique ou non (quelle part de la gestion de la résistance du réel réserver aux élèves ? quelle part prendre en charge pédagogiquement ?).

3.2. Pour élargir le débat

Les enjeux éducatifs relatifs à la gestion de la résistance du réel diffèrent selon les modes didactiques (mode de familiarisation pratique, mode d'investigation empirique ou mode d'élaboration théorique).

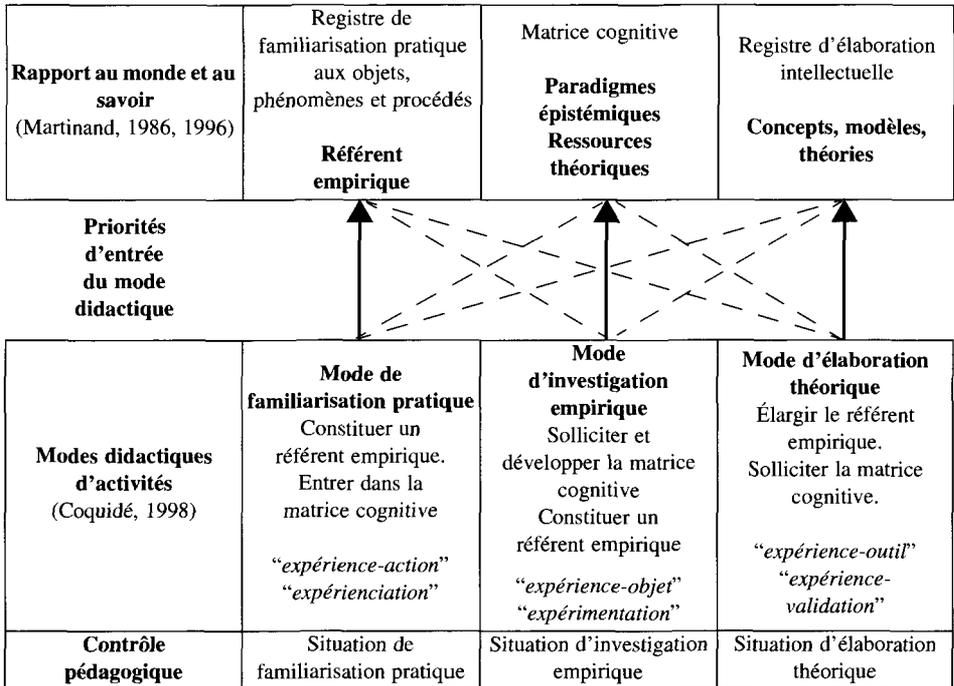
D'un triple point de vue épistémologique, didactique et pédagogique, les relations entre les faces "matérielles" et "idéelles" des sciences et techniques restent complexes. Nous proposons de représenter schématiquement (document 3) les relations entre registres de rapport au monde et au savoir (Martinand, 1986 ; 1996) et différents modes didactiques (Coquidé, 1998).

Les différentes situations mises en place par l'enseignant favoriseraient :

- la découverte du réel et de sa résistance dans une situation de familiarisation pratique, les apprentissages d'ordre pratique pour constituer un référent empirique ;
- la gestion de certains aspects de la résistance du réel dans une situation d'investigation empirique, pour faciliter la compréhension relative aux pratiques effectives de la science et développer la matrice cognitive ;
- un dépassement de cette résistance, par aide directe de l'enseignant ou par un évitement en aménageant fortement le réel, en situation d'élaboration théorique.

un réel plus ou moins aménagé selon les modes didactiques

Document 3. Articulation des registres et des modes didactiques d'activités



CONCLUSION

Si les pratiques expérimentales du mode d'investigation empirique permettent aux élèves de s'affronter à de véritables expérimentations, les situations dans lesquelles le réel n'est pas trop aménagé ne sont-elles pas à favoriser ? *"Cela m'a apporté une ouverture d'esprit et une image plus ou moins représentative de ce que peut être le travail de recherche"* commente un élève.

valeur
éducative réelle
des investigations
empiriques
sur du réel
peu aménagé

Plutôt que de faire répéter *ad nauseam* (Hacking, 1983) les mêmes expériences, quelques investigations empiriques sur du réel moins aménagé, avec toutes les multiples contraintes liées à sa résistance à dépasser, ne représentent-elles pas une valeur éducative scientifique d'importance ? Il conviendrait bien sûr de hiérarchiser ces contraintes.

– Une première réflexion concerne une perspective curriculaire, avec la nécessaire articulation des modes de familiarisation pratique et des modes d'investigation empirique, afin de faciliter la constitution et la mobilisation d'un référent empirique par les élèves.

– Une deuxième réflexion concerne le choix des sujets d'étude de biologie, des situations de classe et des aides pédagogiques, directes ou indirectes, à proposer aux élèves dans une situation d'investigation empirique. La catégorisation de la résistance du réel que nous avançons pourrait contribuer à éclaircir les prises de décision et les élaborations de ces aides pédagogiques.

Pour dépasser le paradigme bernadien relatif à "la démarche expérimentale", il conviendrait également de s'interroger sur l'opportunité que représente l'option sciences expérimentales au lycée pour introduire des transpositions de pratiques expérimentales et modélisantes plus complexes (Legay, 1996) ; celles-ci pouvant inclure une initiation à la pensée statistique (par exemple expérimenter sur des populations de graines plutôt que sur quelques graines) et la nécessité de concevoir et de réaliser de véritables plans expérimentaux plutôt que quelques expériences. Se pose alors le problème de la contrainte de la répartition actuelle, hebdomadaire et figée, du temps scolaire.

Maryline COQUIDÉ
Patricia BOURGEOIS-VICTOR
IUFM de Rouen,
LIREST, ENS Cachan

Béatrice DESBEAUX-SALVIAT
Lycée Aulnay-sous-bois
Unité "Didactique des sciences
Expérimentales", INRP

BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI, J.-P., CAUZINILLE, E., GIORDAN, A., HENRIQUES, A., MATHIEU, J., WEIL-BARAIS, A. (1984). *Expérimenter : sur les chemins de l'explication scientifique*. Toulouse : Privat.
- BALIBAR, F. & PRÉVOT, M.-L. (coord.) (1995). *Pasteur. Cahiers d'un savant*. Paris : CNRS éditions.
- BARBIER, J.-M. (dir.) (1996). *Savoirs théoriques et savoirs d'action*. Paris : PUF.
- BEAUFILS, D. & SALAMÉ, N. (1989). Quelles activités expérimentales avec les ordinateurs dans l'enseignement des sciences? *Aster*, 8, 55-80.
- CANGUILHEM G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin.
- CANTOR, M. (1994). *Pouchet, savant et vulgarisateur*. Nice : Z'éditions.
- CAUZINILLE-MARMÈCHE, E., MATHIEU, J., WEIL-BARAIS, A. (1983). *Les savants en herbe*. Berne : Peter Lang.
- CLARKE, A. & FUJIMURA, J. (dir.) (1992, traduction 1996). *La matérialité des sciences. Savoir-faire et instruments dans les sciences de la vie*. Paris : Synthélabo.
- COQUIDÉ, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, 26, 109-132.
- COQUIDÉ, M. (coord.) (1998). *L'expérimental en biologie*. Rapport final de la recherche coopérative INRP/IUFM Rouen coordonnée par C. Larcher *L'expérimental dans la classe*.
- DARLEY, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2^e année. *Didaskalia*, 9, 31-56.
- DEBRU, C. (1998). *Philosophie de l'inconnu : le vivant et la recherche*. Paris : PUF.
- DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M. (1993). Constructivistes au travail : propos d'étudiants et d'étudiantes sur leur idée de science. *Aster*, 17, 13-39.
- DESBEAUX-SALVIAT, B. & SALVIAT, N. (1998). Expérimenter sur la photosynthèse : utilisation des algues vertes unicellulaires. *Biologie Géologie, Bulletin de l'APBG*, 2.
- DEVELAY, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 3-15.
- DUGGAN, S., GOTT, R. (1995). The place of investigations in practical work in the UK National Curriculum for Science. *I.J.S.E.*, 17, n° 2, 137-147.
- DUVAL, J.-C., SALAMÉ, N. (1991). L'informatique scientifique dans l'enseignement de la biologie et de la géologie au lycée. *Actes du colloque ENS-INRP*, Paris.
- GIORDAN, A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris : Centurion.
- HACKING, I. (1983, traduction 1989). *Concevoir et expérimenter*. Paris : Christian Bourgeois.

- JOHSUA, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*, 8, 29-54.
- LACOMBE, G. (1989). Prendre le bâton de l'expérience. *Aster*, 8, 17-28.
- LEGAY, J.-M. (1996). *L'expérience et le modèle, un discours sur la méthode*. Paris : INRA.
- LICOPPE, C. (1996). *La formation de la pratique scientifique, le discours de l'expérience en France et en Angleterre (1630-1820)*. Paris : La Découverte.
- MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- MARTINAND, J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques 1994-1995*. ENS Cachan.
- MILLAR, R. (1996). Investigation des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia* 9, 9-30.
- NOTT, M. (1996). When the black box springs open : practical work in schools and the nature of science. *I.J.S.E.*, 7, 807-818.
- ORANGE, C. (1998). "Réel de terrain", "réel de laboratoire" et construction de problèmes en biologie-géologie. Rapport final de la recherche coopérative IUFM de Caen et Nantes/INRP coordonnée par C. Larcher *L'expérimental dans la classe*.
- ORLANDI, É., (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. *Aster*, 13, 111-132.
- PRAT, R. (1993). *L'expérimentation en physiologie végétale*. Paris : Hermann.
- POL, D. (1994). *Travaux Pratiques de Biologie*. Paris : Bordas.
- RABARDEL, P. (1988). *Les activités avec instruments*. HDR Université Paris 8.
- RYDER, J., LEACH, J. (1998). Enseigner les pratiques effectives de la science : expériences d'étudiants en projet de recherche de licence. *Didaskalia*, 12, 39-61.
- SCHWARTZ, D. (1994). *Le jeu de la science et du hasard. La statistique et le vivant*. Paris : Flammarion.
- SÉRÉ, M.-G. et al. (1998). Documents 4 et 5. Rapport final à la commission Européenne *Labwork in science education*. Université d'Orsay.
- STENGERS, I. (1993). *L'invention des sciences modernes*. Paris : La Découverte.
- WINNYKAMEN, F. (1990). *Apprendre en imitant?* Paris : PUF.

DES LYCÉENS FACE À UNE INVESTIGATION À CARACTÈRE EXPÉRIMENTAL : UN EXEMPLE EN PREMIÈRE S

Patricia Schneeberger
Raymond Rodriguez

Cette étude est centrée sur l'analyse des démarches des élèves face à un ensemble de tâches incluant un recours à la pratique expérimentale. Nous avons, pour cela, observé des groupes d'élèves auxquels nous avons proposé de réaliser une véritable investigation scientifique portant sur la biologie des levures et la fermentation alcoolique, dans le cadre de l'option "Sciences expérimentales" (élèves de 16-17 ans).

Notre objectif est de clarifier le rapport des élèves à l'expérimental en essayant de comprendre comment ils procèdent pour formuler et traiter un problème. Il va de soi que nous avons constaté des différences entre les groupes observés. Nous avons cependant pu dégager quelques tendances dans l'attitude des élèves face à une investigation scientifique à caractère expérimental. Cela nous a permis de construire des outils d'observation exploitables dans d'autres situations. Nous avons pu ainsi montrer l'intérêt que représente l'étude des démarches des élèves pour les enseignants.

L'apprentissage d'une démarche expérimentale est un des principaux objectifs de l'enseignement des Sciences de la Vie et de la Terre ; il est abordé dès l'école primaire, puis il est renforcé tout au long de la scolarité. Cependant cette démarche expérimentale est habituellement conçue comme un support permettant d'enseigner un résultat de la science. Le professeur choisit un objectif notionnel, puis il propose aux élèves une ou plusieurs activités pratiques permettant d'atteindre cet objectif ; il peut ensuite généraliser et construire la notion à enseigner. Les élèves n'ont alors, ni le choix du sujet d'étude ni, généralement, celui du protocole à adopter. De plus ils ne sont trop souvent confrontés qu'à des expériences qui visent chacune à valider une seule hypothèse. Il en résulte une sorte d'imprégnation qui n'a pas toujours l'efficacité souhaitée.

Notre équipe (1), constituée de trois professeurs de SVT (A. Cotten, S. Masson et R. Rodriguez) et d'un enseignant chercheur (P. Schneeberger), a étudié les pratiques des élèves de 1^e S dans le cadre de l'option "Sciences expérimentales". Cet enseignement représente un dispositif, unique dans le système français, qui permet de laisser une large place à

autoriser une
plus grande
autonomie

(1) Ce texte est issu de travaux de recherche sur "La pratique expérimentale dans la classe", conduits en association avec l'INRP de 1995 à 1998, sous la direction de Claudine Larcher.

des situations de recherche ouvertes et donc d'observer des démarches peu contraintes. En effet, les textes qui définissent cette option précisent que l'étude des thèmes proposés par les programmes officiels *"peut fournir l'occasion de confier aux élèves, en équipe, la conception et la mise en œuvre de projets d'ampleur raisonnable, impliquant une recherche personnelle (pratique, expérimentale, documentaire), pour laquelle le professeur soit en mesure de les guider"* (2).

Au cours de nos travaux, nous avons décidé de laisser les élèves libres de leur sujet d'étude ainsi que de la conception et de la mise en œuvre de la démarche à adopter. Ils devaient également exploiter les résultats obtenus et les communiquer aux autres élèves. Ils ont pu ainsi conduire une recherche qui s'apparente au travail des scientifiques, avec les incertitudes, les échecs et les controverses que cela suppose. Durant cette investigation, le professeur devait apporter aide et soutien à ses élèves tout en interférant le moins possible sur leurs travaux. Nous avons donc cherché à construire des outils d'analyse permettant à l'enseignant d'assurer cette fonction.

Le thème proposé aux élèves porte sur la fermentation alcoolique en relation avec les conditions de la vinification. Notre choix s'est porté sur ce champ d'investigation parce que c'est un domaine pour lequel il est matériellement possible de construire un champ empirique, d'autant plus facilement que nous travaillons dans une région viticole.

Nos observations se sont déroulées dans deux classes de 1^e S du lycée Jaufré Rudel de Blaye (Gironde), réparties en 13 équipes de deux ou trois élèves et encadrées par deux professeurs (A et B).

Nos données sont basées essentiellement sur les informations recueillies pendant l'année 1996-97, à partir :

- des observations organisées dans les classes des enseignants A et B ;
- de l'analyse des productions écrites des élèves (cahiers de laboratoire, brouillons, comptes rendus) ;
- de l'enregistrement des comptes rendus oraux ;
- d'enquêtes réalisées auprès des élèves observés.

1. LE CONTEXTE PÉDAGOGIQUE

Les professeurs responsables des classes observées ont, dans un premier temps, indiqué aux élèves ce qu'ils attendaient d'eux, en SVT, dans le cadre de l'option "Sciences

(2) B.O.E.N. Hors série du 24 septembre 1992, p. 89.

présenter
le cadre
général et
les conditions
de travail

expérimentales". Au cours de l'année, les élèves devaient concevoir et réaliser trois projets scientifiques en travaillant en équipes de deux à quatre élèves. Ces projets impliquaient nécessairement une recherche expérimentale et/ou documentaire se déroulant sur cinq à six séances de trois heures chacune. Un document leur était remis, consignait l'organisation des tâches. Cet enseignement diffère donc du cadre scolaire habituel : la créativité de l'élève y est privilégiée, le professeur ayant pour rôle de guider le travail des équipes. Dans un deuxième temps, les professeurs ont proposé de visiter un chai de vinification pendant les vendanges, au mois de septembre. Cette visite, encadrée par un œnologue, avait pour objectif de susciter le repérage, de la part des élèves, de problèmes à résoudre dans le cadre du thème étudié. En fait, les informations collectées lors de la visite du chai devaient, dans une première étape, être assimilées par les élèves. C'est une des raisons pour lesquelles les enseignants leur ont demandé de rédiger un compte rendu de visite.

deux visites
préparatoires

Le thème du travail qui fait l'objet de l'article a été abordé en janvier, après un projet sur un autre thème (germination et croissance végétale). Les élèves ont alors visité le laboratoire d'un œnologue qui, tout au long de notre travail, a été une personne ressource. L'objet de cette visite était double : voir les travaux qui sont réalisés dans un laboratoire d'analyses et rechercher des réponses aux problèmes techniques liés au sujet de recherche choisi par chaque groupe (comment mesurer un taux de sucre ? comment cultiver des levures ? comment mesurer la quantité d'alcool obtenue ? etc.). En cours de travail, certains élèves sont allés consulter l'œnologue en dehors du temps scolaire. Celui-ci a donc accepté de jouer le rôle de l'expert et a proposé son aide pour interpréter les résultats obtenus.

des élèves
responsables
de leur projet
de recherche

Après avoir défini un sujet de recherche, les élèves devaient construire une démarche d'investigation incluant la conception et la mise en œuvre d'un protocole expérimental, ainsi que l'exploitation des résultats obtenus. En outre, les professeurs leur ont demandé de faire une analyse critique du travail effectué (élaboration du protocole, oubli de certains paramètres, manque de rigueur dans les manipulations...).

Pendant leur travail, les élèves pouvaient consulter une documentation rassemblée par leur enseignant. Ce fonds documentaire, qui était à la disposition des élèves, était essentiellement constitué de documents "bruts" : fiches techniques des producteurs de Levures Sèches Actives, articles de revues professionnelles d'œnologie, comptes rendus de conférences universitaires, extraits de mémoires et de thèses. D'autres documents avaient été rédigés pour des élèves de lycées, notamment un dossier documentaire comprenant les acquis antérieurs (extraits de manuels de 6^e

et de 3^e). Enfin, dans la limite des capacités du laboratoire, les élèves pouvaient demander le matériel dont ils avaient besoin : microscopes, divers appareils de mesure (balances, thermomètres, mustimètres (3)...), verrerie, moût, différentes souches de levures etc.

Outre l'aide méthodologique et technique apportée, les enseignants ont fait en sorte que chaque élève :

- ait conscience qu'il n'était pas en situation d'apprentissage par simple enregistrement de résultats scientifiques préétablis (selon une voie canonique) ;
- sache qu'on attendait de lui la production d'un résultat pouvant être soumis à controverse par les autres élèves de la classe et par le professeur ;
- soit confronté à des faits pour lesquels il ne possédait ni réponse toute faite (stéréotypée), ni réponse qu'il lui était possible de construire par raisonnement à partir de ses connaissances uniquement (selon une démarche déductive).

changer de
critères de
réussite

Lors de nos observations, nous avons constaté que tous les élèves ont rapidement compris que les critères de réussite habituels (acquisition de connaissances qui sont des résultats de la science, apprentissage systématiquement encadré de l'utilisation de tel ou tel matériel...) ne correspondaient pas aux attentes des professeurs dans le cadre de l'option "Sciences expérimentales" en SVT. Cela n'a pas gêné la plupart des élèves mais nous avons constaté que certains, notamment parmi ceux qui réussissent le mieux scolairement, sont déstabilisés lorsqu'ils sont face à une véritable démarche d'investigation.

Au cours de leur travail, les élèves ont élaboré, en groupe, plusieurs types d'écrits : compte rendu de la visite du chai, cahier de laboratoire, compte rendu final. Chaque écrit est intervenu à une phase différente du travail et devait jouer un rôle spécifique. À l'issue de leur travail, les élèves ont présenté oralement leur recherche. Les élèves ont souvent considéré cette phase de communication et d'échanges comme importante, notamment les critiques apportées par les autres groupes. Un des élèves l'exprime ainsi : "*exposer nos résultats aux autres est enrichissant pour nous et enrichissant pour les autres*". Outre la présentation d'un travail fini, il nous a paru souhaitable que, régulièrement, les élèves puissent exposer à la classe, dans le cadre d'une discussion, le degré d'avancement de leur travail : quel est le projet de recherche ? qu'est-ce qui a été réalisé ? que reste-t-il à faire ? quelles sont les difficultés à surmonter ? Cet exercice permet non seulement à l'élève de savoir où il en est, mais aussi d'échanger des idées avec les autres, ce qui est souvent fructueux. De plus les élèves qui traitent des sujets voisins peuvent confronter leurs travaux, ce qui est souvent sécurisant.

(3) Cet appareil permet d'évaluer, dans un moût, la quantité d'alcool probable du vin.

des élèves
motivés

Les activités que nous avons proposées ont été ressenties comme agréables pour la plupart des élèves qui se sont responsabilisés. Pour s'en convaincre, il suffit de les avoir vus prendre l'initiative de passer au laboratoire, en dehors des heures de cours, pour réaliser des prélèvements d'échantillons, des mesures ou, tout simplement, pour "venir voir" leurs manipulations en cours. Nous avons le sentiment que les élèves qui ont suivi cette option, qu'ils aient par ailleurs de bons résultats ou de moins bons, ont pris plaisir à "faire de la science". Plusieurs auraient souhaité poursuivre leurs travaux plus longtemps sur ce thème.

2. FORMULATION DU SUJET DE RECHERCHE

Dans les classes observées, les groupes n'ont pas procédé de la même façon pour formuler leur problème ou sujet de recherche.

2.1. Évolution du sujet de recherche en cours de travail

Formuler un sujet de recherche est une activité qui dérouté beaucoup d'élèves car ils n'y sont pas entraînés. En effet, dans la plupart des situations de classe, le problème à résoudre est posé par l'enseignant. De plus, les connaissances antérieures des élèves dans le domaine des fermentations et de l'œnologie se sont avérées limitées. Il pouvait s'agir parfois de quelques souvenirs de Sixième mais, le plus souvent, de connaissances acquises hors du cadre scolaire. De ce point de vue, quelques élèves dont les familles sont liées à la viticulture possédaient généralement plus de connaissances que les autres (fermentation alcoolique, fermentation malo-lactique, étapes de la vinification, élevage du vin...).

Immédiatement après la visite du chai, les élèves avaient encore peu d'idées sur un éventuel problème à résoudre. Interrogés sur ce point, les 17 élèves du professeur B ont répondu de manière vague :

- *La transformation du sucre en alcool* (7 réponses).
- *Action et rôle des levures* (7 réponses).
- *La fermentation alcoolique* (3 réponses).

En janvier (4), quand les élèves ont repris leur travail sur ce thème, la formulation des problèmes est très différente :

1. *Savoir quelle levure a un effet killer sur l'autre.*
2. *La fermentation est-elle proportionnelle à la quantité de levures fournies ?*

(4) Entre septembre et janvier, les élèves ont travaillé sur un autre sujet de recherche proposé par l'enseignant : germination et croissance végétale.

la formulation
du sujet de
recherche
évolue

3. Recherche des conditions de développement optimales des levures en fonction de deux paramètres : température ambiante et concentration du moût en sucre.

4. Déterminer quels sont les facteurs environnants favorables à la vinification et leurs optimums respectifs.

5. Est-ce que les levures sont présentes en fin de fermentation et qu'est-ce qu'elles deviennent ?

6. Déterminer quelles sont les conditions externes nécessaires à la croissance et à la multiplication des levures.

7. Comment les levures transforment-elles le moût en vin ? Que deviennent les levures après transformation du moût en vin ? Est-ce qu'elles se développent (grossissent), se reproduisent ou meurent ?

8. Les différentes fermentations : alcoolique, malo-lactique.

La formulation finale des problèmes posés par les élèves est non seulement différente de la formulation proposée juste après la visite du chai en septembre, mais elle est aussi différente de celle proposée à la reprise des travaux en janvier. L'élève, comme le chercheur, ne dispose pas de la réponse au problème qu'il pose. Aussi il ne peut pas toujours le formuler d'emblée de manière claire. Il est en situation d'errance ; le problème peut avoir initialement un contour flou. Lors de nos observations, si 9 problèmes sont restés inchangés, 7 autres ont évolué en cours de travail vers plus de simplicité et de réalisme par rapport à l'investigation envisagée initialement.

2.2. Nature des sujets de recherche retenus

Les treize groupes observés ont formulé au total seize problèmes ou sujets de recherche (voir document 1), certains groupes ayant formulé plusieurs problèmes. Nous avons comparé ces différents problèmes en nous intéressant à leur formulation et aux types de recherche qu'ils supposent.

Généralement, le problème est posé sous forme de question ; les élèves n'en connaissent pas la réponse, mais ont souvent un avis, formulé ou non, sur celle-ci. Dans la plupart des cas observés, les élèves ont, dans leurs communications, utilisé le terme de "problème" de manière formelle, comme synonyme de question. Jamais ils n'emploient le terme de "sous-problème", même si celui-ci est parfois employé par les professeurs. Dans le cadre d'une activité d'investigation, ne conviendrait-il d'ailleurs pas mieux de parler simplement de sujet de recherche ?

La moitié des sujets retenus par les élèves conduisent à des mesures alors que l'autre moitié conduit à des activités uniquement qualitatives. Le laboratoire est donc compris par les élèves comme un lieu où on peut reproduire un phénomène de manière à en observer les caractéristiques ou à en mesurer les différents aspects. Ils admettent alors qu'un phénomène biologique peut être décrit en termes de

quand
"problème"
est synonyme
de question

grandeurs mesurables et que les résultats obtenus au laboratoire, dans une micro-vinification de 1 L, sont extrapolables pour une cuve de 140 hL, dans un chai.

un besoin
de collecte
de données

Qu'il s'agisse d'établir une relation entre deux paramètres, d'établir la valeur optimale d'un paramètre, de constater un aspect qualitatif ou un événement, tous les problèmes sont inscrits dans une démarche descriptive de la fermentation alcoolique. Ils correspondent tous à un besoin de collecte de données. Remarquons qu'aucun élève n'a finalement cherché à établir un mécanisme. Cependant, les élèves ne se sont jamais limités à mesurer ou à constater les paramètres d'une vinification standard. Tous les problèmes posés ont entraîné des activités permettant de constater des aspects qui ne sont pas directement perceptibles quand on observe une fermentation alcoolique. Cette attitude est à rapprocher de celle constatée au paragraphe précédent : puisque le laboratoire est compris comme un lieu où on peut reproduire un phénomène, alors il est intéressant d'y étudier des aspects du phénomène qui ne sont pas mesurables ou observables quand on est face à ce phénomène en vraie grandeur (ici le chai).

l'influence des
interventions
de l'enseignant

Alors que le professeur pose à ses élèves des problèmes qui sont à leur portée intellectuelle, le danger potentiel pour l'élève consiste, sans qu'il ne s'en rende compte, à poser un problème qu'il n'est pas en mesure de résoudre. Élève et professeur se trouvent alors dans une impasse. Aucun des groupes que nous avons observés ne s'est placé dans cette situation. Au contraire les problèmes posés ont souvent évolué dans le sens d'une plus grande faisabilité. Peut-être faut-il y voir le résultat de l'intervention, déterminée ou non, des enseignants. Reste à savoir si les problèmes formulés et traités s'inscrivaient dans un cadre plus général pour les élèves. La collecte de données, aussi fine soit-elle, était-elle un but en soi ou était-elle une étape obligée dans la résolution d'un problème plus vaste, difficile à résoudre, et qui, d'évidence, ne pouvait être envisagé d'emblée ? Nos observations n'ont pas permis de répondre à cette question.

2.3. Les stratégies de formulation du problème

cinq stratégies
observées

Les enseignants avaient, certes, précisé qu'ils souhaitaient une analyse critique du cheminement réel mais, dans leurs communications finales, les élèves peuvent facilement, et sans toujours s'en rendre compte, brouiller les pistes en proposant un cheminement cohérent qui n'est pourtant pas celui qu'ils ont suivi. En conséquence, les stratégies de formulation du problème, choisies par les différents groupes, sont parfois difficiles à distinguer les unes des autres et n'apparaissent souvent qu'en suivant pas à pas le travail des élèves. On peut néanmoins dégager cinq stratégies de formulation du problème qui correspondent, de la part des élèves, à des prises de risque plus ou moins importantes.

Document 1. Comparaison des sujets traité

Classe	Problème (formulation finale)	OBJECTIF DU SUJET	
		Qualitatif	Quantitatif
A	Pourquoi les maîtres de chai ont-ils rajouté des levures alors que le vin était en cours de fermentation ?	X	
	Que deviennent les levures après fermentation ?	x	
	Les levures se reconnaissent-elles entre elles ? (<i>effet "killer"</i>)	X	
	Par quels moyens les levures pourraient être "killer" entre elles ?	X	
	Les levures mortes assurent-elles leur fonction ? (<i>fermentation</i>)	X	
B	Rechercher une substance à effet "killer" et "voir" l'action de cette substance (si elle empêche le développement).	X	
	Quelle est l'influence de l'apport de levures, dans le moût, sur la fermentation alcoolique et plus précisément la Zymaflore par rapport à l'Œnoprox permet-elle une fermentation alcoolique plus rapide ?		X
	Le temps mis par le sucre pour se transformer en alcool est-il proportionnel à la quantité de levures fournies ?		X
	Comment la température et la concentration en sucre du milieu influencent-elles le développement des levures ?		X
	Déterminer quelle est la température optimale de vinification.		X
	Est-ce que les levures se reproduisent pendant la fermentation ?	X	
	Est-ce que les levures sont vivantes en fin de fermentation ?	X	
	Si les levures sont vivantes en fin de fermentation, influencent-elles les composés phénoliques (= <i>goût</i>) du vin ?	X	
	Déterminer quelle est la quantité de sucre nécessaire à la multiplication des levures.		X
	Comment les levures transforment-elles le moût en vin ? Sur quels éléments du moût agissent-elles ?	X	
Les fermentations se font-elles mieux en milieu aérobie ou anaérobie ?	X		
TOTAUX		11	5

ar les différents groupes

HYPOTHÈSE EN COURS DE MANIPULATION				ACTIVITÉ RÉALISÉE		CADRE D'INVESTIGATION
Absente	Formelle	Implicite	Explicite	Mesures	Comparaison	
			X		X	Expérimental
			X		X	Expérimental
			X		X	Expérimental
			X		X	Expérimental
			X		X	Expérimental
X				X		Empirique
		X		X		Empirique
	X			X		Optimisation
X				X		Optimisation
	X			X		Engagement formel
		X			X	Empirique
		X			X	Expérimental
		X		X		Empirique
			X	X		Expérimental
			X	X		Empirique
2	2	4	8	8	8	

• **La stratégie exploratoire**

L'élève pose un problème pour lequel il n'a aucune idée ni de la réponse, ni de la manière dont il va le résoudre. C'est un véritable défi qui motive certains élèves et que d'autres évitent.

Aurélie, Renaud, Nicolas

– *Le problème est posé de manière précoce : "Recherche des conditions de développement optimales des levures en fonction de deux paramètres : température ambiante et concentration du moût en sucre". Il ne subit pas de modification en cours de travail.*

– *Après hésitation sur la nature des manipulations à réaliser (culture des levures sur milieu gélosé), les élèves décident de réaliser des micro-vinifications (milieu liquide).*

– *Un moment, les élèves ne croient pas à ce qu'ils trouvent car les résultats des mesures ne correspondent pas à leurs attentes. Cependant, en fin de compte, les élèves admettent les résultats obtenus "pour voir", en dépit d'erreurs manifestes de mesure (liées à la non-homogénéisation des milieux de culture avant de prélever des échantillons destinés à compter les levures).*

une prise
de risque
importante...

• **La stratégie sécuritaire**

L'élève réinvestit de manière plus ou moins consciente des savoirs antérieurs. Il repère d'abord, au moins sommairement, des manipulations qu'il sait réalisables ; il connaît, ou croit connaître, une réponse au problème qu'il ne formule qu'ensuite artificiellement, pour donner un cadre aux manipulations qu'il envisage.

Karine et Isabelle

– *Le problème initialement posé est vaste : "Déterminer quelles sont les conditions externes nécessaires à la croissance et à la multiplication des levures (température, composition du moût, dioxygène)". Cependant, il subit une série de simplifications qui le ramènent à "Déterminer quelle est la quantité de sucre nécessaire à la multiplication des levures".*

– *Cette évolution du problème est motivée par des contraintes techniques (limiter le nombre de situations expérimentales) mais aussi parce que le sucre est familier et que les élèves connaissent son rôle dans la fermentation.*

– *Le fait que les élèves mettent en doute leurs résultats en avançant, a priori, des erreurs de manipulation, montre qu'au départ elles pensaient connaître la réponse. Le problème a donc été posé pour justifier une manipulation dont le résultat était supposé connu. Consciemment ou non, les élèves choisissaient de ne pas se placer dans une situation qui les aurait conduit à proposer une réponse nouvelle par rapport à leurs connaissances.*

...ou minimale

• **La stratégie adaptative**

C'est une stratégie intermédiaire entre les deux précédentes. Elle consiste à poser un problème, selon une stratégie souvent "exploratoire", puis à le reformuler en fonction des contraintes rencontrées, des possibilités d'expérimentation ou bien des résultats expérimentaux. Le problème initialement posé est ainsi, toujours, plus ou moins profondément modifié.

Katia, Séverine et Stéphane

resserrement
du problème

– *La formulation initiale était "La fermentation est-elle proportionnelle à la quantité de levures fournie ?" Celle-ci était présentée comme la reprise d'un travail antérieur (influence de la quantité d'hormones sur la croissance des plantules).*

– *En cours de route cette formulation a subi diverses modifications, elle s'est surtout compliquée. La formulation finale du problème est "Quelle est l'influence de l'apport de levures, dans le moût, sur la fermentation alcoolique ? Plus précisément, deux souches de levures utilisées en œnologie (Zymaflore et Œnoprox) permettent-elles une fermentation alcoolique plus rapide ? Le temps mis par le sucre pour se transformer en alcool est-il proportionnel à la quantité de levures fournies ?"*

– *L'évolution du problème est liée aux possibilités de manipulations offertes par le professeur (deux souches de levures et deux variétés de moûts).*

– *L'hypothèse n'est formulée de manière explicite que dans le compte rendu. Cependant certains résultats sont attendus de manière implicite.*

• **La stratégie pilotée par la manipulation**

L'élève qui adopte cette stratégie choisit une manipulation qui lui paraît plaisante, même si elle lui est inconnue. Il définit ensuite, de manière formelle, un problème, auquel sa manipulation se rapporte, simplement parce que le professeur le demande. Le protocole suivi se trouve donc souvent déconnecté du problème posé. Ce n'est pas une stratégie "sécuritaire" en ce sens que pour lui la réponse est inconnue.

priorité à la
manipulation

Benjamin et Géraldine

– *L'hypothèse testée "L'une des deux souches en présence va limiter la croissance de l'autre à l'aide d'une substance excrétée dans le milieu" ne correspond pas tout à fait au problème posé qui insistait sur la nature de la substance concernée : "Rechercher une substance à effet killer et "voir" l'action de cette substance". Les élèves s'attendaient à ce que la toxicité de la souche killer soit beaucoup plus forte que celle observée, peut-être même à une action de type binaire (tout meurt ou rien ne meurt).*

– *Le problème est donc posé parce qu'il en faut un, mais l'activité expérimentale n'est pas en rapport direct avec le problème posé.*

l'échec
comme refuge

• La stratégie défaitiste

Cette stratégie consiste à définir un problème puis à réaliser les manipulations sans soin, comme s'il était impossible d'obtenir un résultat. Dans ces conditions, l'échec est considéré comme inévitable, souvent attribué au matériel utilisé. Une seule élève, qui avait décidé de quitter son groupe d'origine, s'est comportée ainsi ; elle considérait qu'elle ne pouvait pas matériellement obtenir la réponse attendue et s'est contentée de s'initier aux techniques proposées.

Audrey

– Elle réalise des manipulations en suivant les protocoles du professeur, sans réfléchir et sans rigueur. Il en résulte de nombreuses erreurs de manipulation.

– Elle accorde peu d'importance aux résultats et n'essaie ni de les interpréter, ni de les critiquer. Elle considère qu'ils ne sont pas fiables, que le matériel disponible est inadapté, et qu'elle a échoué.

– Au lieu de constater l'évidence (il n'y a pas de différence entre les fermentations en milieu oxygéné ou non), elle met en doute les résultats et ne tire aucune conclusion.

3. ATTITUDE FACE À LA TÂCHE D'INVESTIGATION

À partir de la comparaison des groupes observés, nous avons essayé de caractériser les démarches des élèves dans le but d'expliquer les choix qu'ils font au cours de leur recherche.

3.1. Les cadres d'investigation

Nous avons tout d'abord analysé comment les élèves comprennent le but de l'investigation entreprise, en nous inspirant des travaux de Robin Millar (1996). Celui-ci propose un modèle utilisé dans le cadre d'une recherche, le projet PACKS (5), visant à explorer les différences dans les performances des enfants de neuf à quatorze ans, quand ils mènent des investigations scientifiques. Ce modèle nous a paru convenir, dans ses grandes lignes, au type de situation que nous avons mis en place dans les classes observées ; par ailleurs, nous disposions des éléments nécessaires pour utiliser ce modèle dans la mesure où nous avions travaillé (sans le savoir) dans des conditions similaires pour recueillir nos données.

un modèle
inspiré
des travaux
de R. Millar

(5) Procedural And Conceptual Knowledge in Science : Connaissances conceptuelles et procédurales en sciences

Millar définit quatre cadres d'investigation correspondant chacun à *“la compréhension, par les élèves, du but de la tâche d'investigation qu'ils sont en train de réaliser”* :

- cadre d'engagement
- cadre de modélisation
- cadre d'ingénierie
- cadre scientifique.

Nous avons remanié le modèle PACKS, en proposant une autre typologie pour les cadres d'investigation (voir document 2), ceci afin d'adapter les différentes catégories aux activités réalisées et aux élèves observés (âgés de 16 à 17 ans).

Les résultats de nos observations ont permis de faire apparaître des tendances avec des différences selon les enseignants. En effet, on peut constater (document 1) une plus grande diversité, du point de vue des cadres d'investigation choisis, dans la classe B (19 élèves répartis en 8 groupes) que dans la classe A (15 élèves répartis en 5 groupes).

Les cinq groupes de la classe A ont choisi un cadre expérimental contre trois seulement dans la classe B. Un tel décalage peut être attribué au mode d'intervention de l'enseignant ou à la perception qu'ont les élèves de ses attentes. Cependant, les enseignants n'ont pas cherché à privilégier tel ou tel cadre d'investigation, dont ils n'avaient d'ailleurs pas connaissance, puisqu'ils n'avaient pas encore consulté les travaux de R. Millar. Tout au plus ont-ils pu orienter les travaux des élèves par souci de respecter un contrat, plus ou moins implicite, qui consistait à permettre aux élèves d'obtenir des résultats interprétables dans des conditions définies par les contraintes institutionnelles. Il est bien évident que la fréquence obtenue pour chaque cadre d'investigation n'a qu'une valeur d'indicateur ; le contexte pédagogique a certainement influencé les élèves dans le choix de leurs orientations.

un contrat
didactique
plus ou moins
implicite

3.2. Types de problèmes formulés par les élèves et cadres d'investigation

Dans la pratique, les stratégies de formulation de problème et les cadres d'investigation sont étroitement intriqués en cours de travail pour un même groupe d'élèves (sans compter que les élèves d'un même groupe peuvent diverger à certains moments). Ces derniers n'ont évidemment pas conscience de se trouver dans telle ou telle stratégie ou situation, à tel ou tel moment de leur démarche. Cela n'a d'ailleurs aucune importance pour eux. Cependant, on constate que le cadre d'investigation choisi dépend de la nature du problème posé. Nous avons donc essayé de caractériser les relations entre la nature du problème que pose un élève et le cadre d'investigation dans lequel il se place.

Document 2. Cadres d'investigation

	Objectif de l'élève	Activités de l'élève	Situation de fin de tâche
Cadre d'engagement formel	L'élève se situe uniquement par rapport aux attentes supposées, et non intégrées, du professeur.	<ul style="list-style-type: none"> – Utilise le matériel et/ou les documents disponibles par tâtonnement, mimétisme ou simple exécution de consignes (comme un jeu). – Pas de plan ou de but apparent. – Absence de projection à long terme dans la tâche. 	– Pas de résultat attendu par l'élève donc pas d'échec possible tant que les attentes supposées du professeur sont considérées comme comblées (l'élève demande souvent au professeur si ce qu'il fait est correct).
Cadre analogique	Reproduire un aspect, un effet ou un phénomène.	<ul style="list-style-type: none"> – Rassemble des objets connus et les agence en les détournant souvent de leur utilisation initiale. 	<ul style="list-style-type: none"> – Le modèle obtenu "marche*" = réussite. – Le modèle obtenu ne "marche pas*" = échec. <p>* selon les critères de l'élève.</p>
Cadre d'optimisation	Évaluer la valeur optimale d'un ou plusieurs facteurs, avec ou non l'idée d'agir ensuite sur le phénomène étudié.	<ul style="list-style-type: none"> – Isole des variables indépendantes. – Imagine et réalise un protocole de mesure. 	– Soit l'investigation est réalisée "pour voir", pas de résultat attendu par l'élève, donc pas d'échec possible tant qu'une solution plus ou moins convaincante peut être proposée.
Cadre empirique	Rechercher une explication en mettant des données en relation.	<ul style="list-style-type: none"> – Imagine et réalise un protocole de recherche. – Établit une comparaison, une tendance, une dépendance ou une relation fonctionnelle entre deux données ou plus (documentaires, d'observation ou de mesure). 	– Soit l'investigation est réalisée alors qu'un résultat est attendu, mais pas toujours annoncé. Il y a alors sentiment de réussite si ce résultat est trouvé ou d'échec dans le cas contraire.
Cadre argumentatif	Rechercher une explication en argumentant à propos d'une hypothèse. L'expérimentation est réputée impossible ou son besoin n'est pas ressenti.	<ul style="list-style-type: none"> – Isole des variables indépendantes. – Formule une hypothèse. – Recherche et rassemble des données (documentaires, d'observation ou de mesure) en faveur ou en défaveur de l'hypothèse. 	<ul style="list-style-type: none"> – L'hypothèse est corroborée ou réfutée. – L'élève cherche toujours à vérifier une (des) prédiction(s) mais ne fonctionne pas en termes de réussite ou d'échec, sauf situation de controverse qui implique un parti pris.
Cadre expérimental	Rechercher une explication en éprouvant la validité d'une hypothèse. L'expérimentation est envisagée.	<ul style="list-style-type: none"> – Isole des variables indépendantes. – Formule une hypothèse. – Déduit une ou plusieurs conséquences vérifiables de cette hypothèse (= prédictions). – Établit un protocole permettant de tester chaque prédiction. 	

**• Pas de problème identifié :
le cadre d'engagement formel**

Dans ce cas, face à un fait nouveau, l'élève n'identifie pas de problème particulier, soit par manque de motivation, soit par manque d'imagination, soit par manque d'entraînement, soit enfin parce que ses connaissances antérieures ne le lui permettent pas. Dans cette situation l'élève se situe uniquement par rapport aux attentes supposées du professeur.

exécution
de consignes
données par
le professeur

Le cadre d'engagement formel ne concerne qu'un seul des groupes observés, et pour une partie de son travail seulement. Ce groupe n'a formulé le problème qu'après avoir réalisé la manipulation (comptage de levures) correspondante. Les élèves de ce groupe ont simplement suivi une indication générale du professeur (*"il faut compter les levures"*) sans chercher à savoir si cela s'appliquait à leur projet.

Il existe cependant des dérives vers ce cadre d'investigation chez certains groupes. Ceux-ci s'écartent alors de leur cadre d'investigation principal, celui qui paraît dominer, et se placent momentanément dans un cadre d'engagement formel. C'est le cas lorsqu'ils réalisent des mesures sans chercher à comprendre le principe sous-jacent (par exemple, la mesure de la densité du moût pour évaluer la concentration en sucre, alors qu'ils ne maîtrisent pas la notion de densité). Il est à remarquer que cette attitude peut représenter un obstacle lorsque les valeurs obtenues semblent aberrantes (augmentation de la concentration du moût au cours de la fermentation constatée par un des groupes). En effet, pour déceler l'origine des erreurs, il faut comprendre la méthode de mesure utilisée au lieu de l'appliquer sans discernement.

**• Problème par simple manque de données :
les cadres analogique et d'optimisation**

description d'un
phénomène

Dans ce cas, l'élève éprouve le besoin de reproduire un phénomène (cadre analogique) ou de le préciser en mesurant la valeur optimale d'un ou plusieurs des facteurs qui le régissent (cadre d'optimisation). Quoi qu'il en soit, l'élève demeure descriptif et ne cherche pas, ou pas encore, une explication.

Le cadre analogique n'est adopté par aucun des groupes observés. Il est vrai que les élèves disposaient déjà d'un dispositif permettant de reproduire la fermentation du moût (micro-vinification en magnum). Est-ce la seule explication ? Il faudrait pouvoir disposer de davantage de données pour en juger.

Par contre le manque de données quantitatives concernant divers aspects de la vinification (durée, quantité de levures, température, concentration en sucre) a induit deux problèmes conduisant à des cadres d'optimisation (voir document 1).

recherche
d'une
explication
nouvelle

• Problème par manque de représentation mentale : les cadres empirique, argumentatif et expérimental

Lorsque l'élève a conscience que ses connaissances ne permettent pas d'expliquer le fait nouveau, il peut alors rechercher une nouvelle explication soit en mettant en relation des données (cadre empirique), soit en argumentant à propos d'une hypothèse (cadre argumentatif), soit enfin en éprouvant la validité d'une hypothèse (cadre expérimental).

Les groupes qui se sont placés dans un cadre empirique cherchent simplement, du moins au départ, à "faire des expériences" ; quelquefois, les élèves formulent rapidement un problème en s'inspirant fortement d'un travail précédent (*influence de la quantité d'hormones sur la croissance des végétaux*). Dans ce cas, le choix du problème est guidé par la connaissance de moyens à mettre en œuvre pour le traiter. L'idée générale est alors de faire varier des paramètres et de constater des différences (*au niveau de la vitesse de fermentation par exemple*).

Aucun groupe ne s'est engagé dans un cadre argumentatif. On peut expliquer cela par le fait que l'attitude des professeurs pouvait suggérer de ne pas se placer dans ce cadre d'investigation. Pour le sujet proposé, si une hypothèse était envisagée, soit l'expérimentation paraissait évidente aux élèves, soit ils portaient du principe que le professeur attendait obligatoirement une expérience (cadre expérimental). La mise en relation de données mesurées (cadre empirique) a induit cinq problèmes (voir document 1).

Cependant, que le cadre d'investigation soit empirique ou expérimental, tous les groupes observés ont limité leurs travaux au constat d'un événement ou de la mesure de l'évolution d'un ou plusieurs paramètres. On a vu précédemment qu'ils ne se sont jamais engagés dans la recherche d'un mécanisme.

4. CONDUITE DE LA TÂCHE D'INVESTIGATION

Après avoir vu comment les élèves posent un problème et précisé leur attitude face à la tâche d'investigation, voyons maintenant quelques aspects de la manière dont elle a été conduite.

4.1. Le statut de l'hypothèse

Huit investigations sur seize comportent une hypothèse clairement formulée dès le début du travail d'investigation (voir document 1). Pour quatre investigations, l'hypothèse est soit absente, soit formelle en ce sens qu'elle est posée, mais ne fait l'objet ni de conséquences vérifiables ni de conclusion dans le compte rendu final. Pour quatre autres investiga-

tions, l'hypothèse est implicite et, au mieux, elle n'est formulée que dans le compte rendu final.

une tendance
à négliger
l'hypothèse

Cette tendance à négliger l'importance de l'hypothèse avait déjà été constatée lors d'une étude préliminaire réalisée par notre équipe en 1995-96. De plus, lors de leur exposé oral, les élèves utilisent un transparent (pour rétroprojecteur) sur lequel ils ont reporté un écrit préparé à l'avance. Majoritairement, on trouve dans cet écrit les éléments suivants : le problème étudié, la démarche suivie ou le principe expérimental, les résultats, les analyses et les travaux à envisager. Aucun groupe ne fait référence à ses hypothèses sur le transparent.

Les trois quarts des problèmes posés ont cependant conduit à une hypothèse implicite ou explicite et qui, d'une manière ou d'une autre, a été testée. Cela allait dans le sens de ce qui était demandé par les professeurs. On peut s'étonner qu'un quart des problèmes n'aient pas conduit à une hypothèse testée, même quand l'investigation a été menée avec soin et esprit critique. Sans doute les élèves ont-ils alors jugé qu'une hypothèse n'était pas systématiquement nécessaire dans une démarche d'investigation, mais ils en ont quand même posé une, de manière formelle et sans la tester, dans le compte rendu final.

4.2. Les fonctions de l'écrit

L'analyse des écrits produits par les élèves nous a permis de repérer des différences et de dégager des tendances dans les pratiques d'écriture des élèves.

• *Le compte rendu de la visite du chai*

Lors de la sortie qui s'est déroulée en septembre, pendant les vendanges, le professeur a précisé qu'il attendait un compte rendu de la visite. Afin de pouvoir le réaliser, les élèves ont pris des notes lors de la visite. La gestion des notes s'est faite de manière chronologique sans aucune organisation particulière. Lors de la rédaction du compte rendu, les élèves ont utilisé les notes de manière systématique (par exemple en soulignant ce qu'ils ont déjà repris) pour en constituer une restitution organisée. Spontanément, ils ont complété leurs notes par une recherche personnelle. Sur l'ensemble des informations présentes dans les comptes rendus, la moitié seulement provenait effectivement de la visite elle-même. Le reste a été apporté par les élèves pour compléter le compte rendu par des copies d'extraits d'ouvrages. Ils espéraient sans doute combler ainsi les attentes supposées de l'enseignant qui n'étaient pas toujours bien comprises.

reprise des
notes et apports
documentaires

• *Le cahier de laboratoire*

Avant que ne débute le travail, les enseignants des classes observées ont demandé aux élèves d'utiliser un cahier de

un outil...

laboratoire relié pour y consigner les notes prises au cours des différentes séances consacrées à l'option "sciences expérimentales". Volontairement, aucune consigne précise n'était donnée pour la tenue de ce cahier ; chaque groupe a géré comme il l'entendait l'utilisation de ce support. L'analyse des cahiers de laboratoire permet de distinguer trois grandes tendances.

– **Factice** : le groupe répond à la demande de l'enseignant mais n'y adhère pas ou ne la comprend pas. On trouve dans cet écrit seulement quelques dates matérialisant la visite du laboratoire, le début du travail et le jour de l'exposé sans autre élément ou presque. Les élèves n'ont visiblement pas pressenti l'intérêt de ce travail.

– **Chronologique** : le groupe retranscrit pas à pas ce qu'il fait c'est-à-dire le problème qu'il traite, les montages et les mesures réalisées, les résultats obtenus.

– **Analytique** : en plus des informations concernant le problème traité, les montages et les mesures réalisés ainsi que les résultats obtenus, le groupe fait une analyse des résultats et note ses commentaires ; parfois, un plan voire un brouillon du compte rendu y est également consigné.

Un sondage réalisé auprès des élèves du professeur B a montré que, pour une majorité d'élèves, le cahier de laboratoire est censé faciliter le suivi de leur expérimentation et la réalisation de leur compte rendu final. Il matérialise également l'avancement de leur recherche et leur sert de repère temporel dans la mesure où leur pratique s'étale dans le temps. Cependant, pour la plupart d'entre eux, le cahier reste une sorte de trace écrite soumise à évaluation implicite permanente par le professeur (ce qui n'était pas le cas).

• **Le compte rendu final**

Les conditions pédagogiques de réalisation du compte rendu final sont les mêmes que pour le compte rendu de la visite du chai, à savoir que c'est une requête de l'enseignant.

Pour construire leur compte rendu, les élèves consultent spontanément plusieurs documents :

- le compte rendu de la visite du chai, à propos duquel ils font des commentaires (sur la présentation, en particulier) ;
- la fiche d'auto-évaluation du compte rendu, fournie par le professeur ;
- les cahiers de laboratoire ;
- les fiches techniques utilisées ;
- le compte rendu final du travail précédent sur "Germination et croissance végétales" ;
- les dictionnaires et ouvrages à leur disposition.

L'aide de l'enseignant reste, en outre, un apport non négligeable pour l'élève.

La rédaction du compte rendu, en particulier la conception du plan, est une des principales difficultés rencontrées par

... diversement approprié...

... auquel les élèves attribuent des fonctions multiples

la conception
du plan oblige
à revenir
sur le travail
effectué

les élèves. Les observations accompagnées d'enregistrements des différents groupes permettent parfois de s'en rendre compte. Les élèves hésitent beaucoup pour établir un plan et se posent de nombreuses questions quant aux attentes de l'enseignant. Ne sachant ce qu'il faut mettre dans un compte rendu, les élèves sont indécis et font des confusions notamment entre conséquence vérifiable et paramètre ou entre problème et hypothèse. Certains groupes découvrent, au moment de l'élaboration du compte rendu, le statut de certains éléments de la démarche présentée par l'enseignant en début d'année scolaire. Ainsi, certains élèves se sont rendu compte qu'ils n'avaient pas formulé d'hypothèse.

• *Le statut de l'écrit*

vers la constitu-
tion d'une petite
communauté
scientifique

Des différences notables existent selon les élèves mais le rôle de l'écrit reste, pour la plupart des groupes, relativement formel puisqu'il répond à une commande institutionnelle ; la forme d'écrit initiée spontanément par l'élève n'est pas prépondérante, même si dans certains cas (relevé des mesures effectuées) il constitue une nécessité. La coutume scolaire qui associe tout écrit à une éventuelle évaluation par le professeur, caractéristique de notre enseignement, détourne les productions des élèves de leur fonction d'outil de pensée. Cependant, la réalisation de comptes rendus, communiqués au reste de la classe va contribuer à forger dans l'esprit des élèves l'idée de communauté scientifique : ils pourront ainsi construire une conception différente du travail des scientifiques. En effet, en associant travail de groupe et communication de leurs travaux, l'option les rapproche des conditions dans lesquelles s'effectuent la plupart des recherches scientifiques. Il s'agit, pour les élèves, d'un changement important par rapport au contexte pédagogique dominant, qui privilégie au contraire le travail individuel.

5. LES DIFFICULTÉS RENCONTRÉES PAR LES ÉLÈVES

Nous avons classé les difficultés des élèves en trois domaines : les connaissances, les techniques et les méthodes. Notons dès à présent que ces difficultés, si elles sont bien réelles, n'ont pas empêché l'ensemble des élèves de conduire, de manière malgré tout satisfaisante, leur travail d'investigation.

un handicap
pour
l'élaboration
des protocoles :

5.1. Domaine des connaissances

Les élèves ont été placés dans une situation où ils devaient expliquer un phénomène en utilisant, d'une part, leurs

représentations sur la fermentation et, d'autre part, des acquis cognitifs et méthodologiques relevant de différentes disciplines (biologie, physique, chimie et mathématiques). Une des principales sources d'erreurs, ou tout du moins un des éléments perturbateurs lors de la mise en place des protocoles, réside dans la maîtrise insuffisante d'un ensemble de savoirs scientifiques.

• Maîtrise insuffisante des concepts fondamentaux de la biologie

Nous avons pu relever des erreurs ou des difficultés qui paraissent fréquentes.

– Confusion entre certaines notions

De nombreux élèves ne font pas la différence entre la multiplication et le développement des levures. Le terme de croissance est alors utilisé indifféremment pour une cellule ou une population sans que les élèves en prennent conscience.

– Nature précise des supports biologiques mal perçue

Certains élèves ne font pas la distinction entre une substance et les levures, êtres vivants unicellulaires. D'une manière générale, ils ont une mauvaise connaissance des organismes unicellulaires et font la confusion entre levure et bactérie (mais cela ne leur avait pas été enseigné auparavant).

– Concept de vivant mal appréhendé

Certains élèves recherchent "*Quelle est la partie vivante de la levure ?*". Dans ce cas, le vivant est assimilé à une partie de la levure c'est-à-dire à une structure, ou à un attribut que possède ou non une population de levures. D'autres élèves attribuent des caractères propres au monde vivant à certaines molécules (les protéines par exemple).

Cette mauvaise connaissance des concepts de biologie va handicaper les élèves dans l'élaboration des protocoles. En effet, ces difficultés apparaissent au moment du choix des paramètres et des techniques à employer.

• Connaissance imparfaite des notions d'œnologie

Les processus élémentaires de la fermentation sont mal connus des élèves, ce qui peut *a priori* paraître surprenant dans une région viticole. Certains élèves confondent la température du chai et celle de la cuve qui est régulée par un appareillage qui a été vu pendant la visite. De plus, ils ne font pas la différence entre température optimale de fermentation et température optimale de vinification. Tous ne connaissent pas non plus les relations entre sucres, dioxyde de carbone et éthanol au cours de la fermentation alcoolique (cela venait pourtant d'être étudié en cours). On peut s'étonner que les élèves aient du mal à réinvestir, dans un contexte nouveau, ces connaissances, acquises récemment et encore fraîches dans leur esprit.

méconnaissance
de concepts
fondamentaux
de biologie

des acquis
récents
non utilisés

**• Mauvaise maîtrise de connaissances
relevant d'autres disciplines scientifiques**

lacunes en
physique et
mathématiques

Certaines connaissances élémentaires de physique ou de mathématiques font parfois défaut. Ainsi, certains élèves ne savent pas calculer l'aire d'un disque, valeur utilisée pour estimer la densité des colonies de levures sur une boîte de Pétri. D'une façon générale, la notion de densité n'est pas maîtrisée et ceci a pour conséquence que les élèves réalisent parfois des mesures sans vraiment comprendre ce qu'ils font (utilisation du densimètre, du mustimètre et de l'alcoomètre). Certaines connaissances, qui paraissent élémentaires, comme la composition de l'air par exemple, ne sont pas acquises par une majorité d'élèves. Notons enfin que les élèves d'un des groupes observés semblent également ignorer qu'il existe différents sucres, or cela venait aussi d'être étudié en 1^e S.

5.2. Domaine des techniques

Au cours de leur pratique, notamment lors de la mise en place du protocole et de la réalisation des mesures, les élèves sont confrontés à d'autres difficultés.

• Recherche d'une méthode de mesure

manque
d'information...

Lors d'un choix du paramètre à mesurer, les élèves tiennent largement compte de la facilité éventuelle à effectuer cette mesure. Si le procédé est simple à mettre en œuvre, ils l'adoptent toujours et le rejettent souvent dans le cas contraire. Quelquefois le principe est connu (par exemple la distillation pour mesurer la quantité d'alcool) mais les modalités d'utilisation dans un cadre précis sont ignorées. Généralement, les élèves restent en attente d'une solution car ils ne connaissent pas de moyens pour réaliser la quantification.

... pallié
par la mise
à disposition
de ressources

Ce problème sera résolu avec l'aide de l'enseignant et de l'œnologue. Les élèves vont pouvoir ainsi consulter différentes sources :

- fiches techniques mises à disposition par l'enseignant ;
- procédures possibles présentées par l'œnologue lors de la visite du laboratoire ;
- manuels de sciences physiques ou de SVT dans lesquels il y a des protocoles explicites ;
- méthode mise en place par un autre groupe.

Ils ont pu également interroger directement leur professeur ou l'œnologue, pendant une séance ou entre deux séances.

• Réalisation des situations expérimentales

témoin et
répétition
sont omis

Le plus souvent, les élèves cherchent à concilier leurs idées, le temps dont ils disposent et les contingences matérielles (appareils et verrerie disponibles). Cependant il faut noter que le témoin est souvent omis soit parce que les élèves n'en perçoivent pas la nécessité, soit parce qu'ils ne savent pas comment le réaliser ou que la notion indispensable à sa mise

en place n'est pas maîtrisée. De plus, ils ne prévoient pas de répéter une même mesure.

• **Adéquation de la technique avec le paramètre à mesurer**

La condition pour que cette adéquation soit vérifiée repose sur une bonne prise en charge de la technique par l'élève. Or dans certains groupes l'appropriation n'a pas lieu et la mise en œuvre du procédé repose sur des présupposés. Ainsi, des élèves croient que la fiche ou le matériel mis à disposition sont là pour être obligatoirement utilisés.

• **Utilisation des techniques proposées**

Certains outils ou matériels utilisés dans d'autres contextes (autre discipline ou autre thème de biologie) ou même ceux proposés par l'enseignant se révèlent être mal maîtrisés ou rejetés par les élèves. Nous avons repéré plusieurs types de difficultés.

– **Maladresses de manipulation**

Quand elle existe, les élèves ne suivent pas toujours avec attention la fiche technique préparée par l'enseignant, ou ne prévoient pas les conséquences de leur action. Les élèves ne savent pas tous utiliser certains instruments de base comme une pipette ou un compte-gouttes. Comme dans le cas des connaissances, les élèves ont des difficultés à réinvestir des techniques déjà vues en classe ; c'est le cas notamment du travail en milieu stérile.

– **Méconnaissance des techniques de dénombrement**

Le dénombrement statistique des levures dans un mélange apparaît fastidieux et semble mal compris. Pour dénombrer des cellules (levures), les élèves ne pensent pas à réaliser des gammes de dilution ou alors elles ne sont pas appropriées : trop diluées pour un comptage significatif ou trop concentrées pour que les cellules soient discernables.

– **Approximation de la mesure**

La lecture des appareils ou des repères sur la verrerie reste imprécise ; cela tient à la précipitation et parfois à une incompréhension du principe de la mesure. La résolution de l'instrument elle-même n'est pas toujours prise en compte (exemple : utiliser un microscope optique pour voir les molécules). Dans les cas observés, un seul dispositif de mesure par situation est prévu. Même lorsque c'est matériellement réalisable, les mesures ne sont que rarement refaites plusieurs fois.

5.3. Domaine des méthodes

Nous distinguerons, d'une part, les difficultés liées aux différentes contraintes avec lesquelles les élèves devront composer et, d'autre part, les difficultés liées à la mise en place d'une démarche scientifique.

des techniques
mal maîtrisées

• **Gestion des contraintes environnementales**

La plupart des manipulations et expériences que les élèves réalisent s'inscrivent dans un environnement particulier : celui d'une classe de lycée qui n'est pas aseptisée et qui dispose d'un matériel limité (en quantité et en qualité).

- **La contrainte biologique**

manque de
précautions

Les bactéries environnantes peuvent venir coloniser les boîtes et les tubes utilisés pour les cultures des levures. Les élèves doivent donc travailler en condition stérile mais ils n'ont pas conscience de cette nécessité et ne prennent pas suffisamment de précautions. En conséquence, les comptages ont été rendus difficiles voire impossibles dans certains groupes, à cause de la prolifération de bactéries ou de champignons sur les boîtes de Pétriensemencées. Cette négligence les a obligés dans certains cas à refaire leurs cultures.

- **La contrainte temporelle**

les contraintes
biologiques
obligent
à planifier
son travail

Sans doute à cause de leur inexpérience, les élèves n'ont pas vraiment conscience du temps nécessaire pour réaliser les montages et effectuer les mesures. L'enseignant est intervenu souvent pour les aider à mieux gérer cette contrainte. Cependant, de nombreux élèves ont exprimé le sentiment de manquer de temps. Par ailleurs, les élèves ne semblent pas comprendre que les processus biologiques amorcés se déroulent sans arrêt (sauf si on provoque une congélation). Ceci conduit à des erreurs dans l'interprétation des résultats. Ainsi, un des groupes n'a pas prévu, dans un premier temps, de suivre l'évolution de la fermentation ; ces élèves envisagent de faire seulement un bilan avant/après. Par conséquent, la plupart des élèves ne pensent pas, d'emblée, à prendre en compte l'aspect dynamique des phénomènes étudiés, ce qui représente en soi une autre contrainte biologique.

- **La contrainte matérielle**

Les élèves semblent croire qu'ils peuvent disposer d'un équipement important tout le temps de leur travail et uniquement pour eux ; cela se traduit par des demandes inconsiderées. De surcroît, le matériel demandé (verrerie...) ne correspond pas toujours au nombre d'expériences retenues ou au volume total de moût à utiliser. Le professeur et la technicienne de laboratoire du lycée ont alors aidé les élèves à résoudre certains problèmes : choix du matériel adapté, intérêt de certains instruments (compte-gouttes, par exemple). En définitive, les aspects techniques mobilisent parfois l'attention des élèves, au détriment du suivi de leur démarche.

• **Mise en place d'une démarche scientifique**

La réalisation du protocole entraîne un certain nombre de difficultés. Il est difficile pour les élèves d'appréhender l'objet à étudier dans sa globalité et dans le détail de son fonction-

nement. Face à un moût en fermentation, ils doivent déterminer quels sont les éléments physico-chimiques et les réactions caractérisant le milieu (volume, température, pH, processus métaboliques, etc.) avant de repérer les paramètres qu'ils pourront faire varier. Or, le plus souvent, ils ne savent pas exactement ce qu'il y a dans un moût et ce qui s'y passe.

difficulté à
appréhender
la recherche
dans son
ensemble

Les élèves ont également des difficultés à appréhender leur recherche dans son ensemble. Lorsqu'ils réalisent les mesures par exemple, certains groupes perdent de vue le problème qu'ils ont choisi de traiter et ne cherchent pas à interpréter les résultats avant d'établir le compte rendu. D'une manière générale, les élèves n'ont pas pensé à refaire des mesures si nécessaire et encore moins à revoir leur protocole. Ils sont toutefois assez peu confiants vis-à-vis des résultats qu'ils ont obtenus et sont prêts à les remettre en cause en invoquant une mauvaise manipulation pour les uns, un matériel défaillant pour les autres.

Pour la plupart des élèves, des résultats en accord avec leur attente les rassurent et restent le gage d'une expérimentation réussie. Lorsque au contraire, il y a conflit entre les prévisions et les résultats effectivement obtenus, cela semble les perturber. En cela, ils semblent influencés par un contexte scolaire qui privilégie l'expérience qui "marche". Tous ces élèves ne pensent pas à revenir sur leur expérimentation pour la modifier (en fonction de l'échec apparent) et faire évoluer le problème.

5.4. Incidence de ces difficultés

En proposant aux élèves des situations dans lesquelles ils doivent eux-mêmes résoudre un vrai problème, pour lequel ils n'ont pas de solution toute faite, on les place face à de multiples difficultés. Ces dernières sont de nature différente et ne sont pas seulement dues à des lacunes dans les connaissances des élèves. Nous avons essayé, dans cette analyse réalisée *a posteriori*, d'en faire un inventaire dans le but de mieux comprendre ce que les élèves doivent maîtriser lorsqu'ils conduisent un projet de recherche.

plusieurs
difficultés se
combinent

Nous avons pu mettre en évidence que différents éléments interfèrent dans la pratique de l'élève : à la mauvaise maîtrise des concepts et aux difficultés techniques rencontrées, il faut ajouter une démarche, des raisonnements et des attitudes parfois peu adaptés à une situation de résolution de problème. En conséquence, l'incidence sur le travail des élèves a lieu à plusieurs niveaux : lors de la formulation du problème, lors de l'élaboration du protocole, lors de sa mise en œuvre.

Il faut néanmoins remarquer que ces difficultés n'ont tout de même pas empêché la quasi-totalité des groupes d'aboutir (pas toujours au résultat attendu) et de réaliser,

malgré tout, une recherche intéressante. Pour comprendre ce paradoxe apparent, il ne faut pas oublier le rôle capital de l'enseignant lors de ces séances au cours desquelles tous les groupes ont été respectivement confrontés à des difficultés différentes. Pour le professeur il s'agit alors d'identifier rapidement la nature de ces difficultés, de manière à fournir une aide immédiate (scientifique ou technique). Cela suppose qu'il dispose des informations nécessaires pour comprendre comment les élèves se situent par rapport à la tâche qui leur est proposée. Notre recherche avait pour but de construire des outils permettant de connaître les stratégies mises en œuvre par les élèves au cours de leur investigation. Cette étude devrait aider les enseignants à organiser un enseignement basé sur des activités proches des pratiques des scientifiques.

CONCLUSION

Les démarches mises en œuvre par les élèves de ces deux classes au cours de leur recherche ont été analysées à partir des éléments relevés par les observateurs. Les enseignants ont organisé les séances sans connaître ces résultats ; ils sont donc intervenus selon leur mode de conduite habituel dans ce type d'enseignement.

Une meilleure connaissance, par l'enseignant, des stratégies privilégiées par les élèves pourrait sans doute l'aider à mieux cerner leurs difficultés et à fournir une aide plus adaptée, en fonction des objectifs visés. En effet, dans ce type de situation, l'enseignant est souvent conduit à prendre des décisions pour guider les élèves : il doit répondre aux demandes de certains ou éviter que d'autres ne s'engagent dans une impasse (expérimentation irréalisable techniquement, par exemple). Il peut s'interdire de donner une réponse trop précise, considérant que les élèves doivent chercher par eux-mêmes ou, au contraire, les assister en faisant en sorte qu'ils travaillent avec toutes les précautions nécessaires. Il n'est pas toujours facile de choisir quelle attitude adopter sans savoir à quel stade de réflexion en sont les élèves ; les décisions sont d'autant plus délicates que l'enseignant doit suivre plusieurs groupes en même temps. Dans ces conditions, l'enseignant doit apprécier, dans l'immédiat, le travail des élèves en se basant sur une observation qui ne peut être que partielle.

Les outils que nous avons construits au cours de cette recherche peuvent constituer des grilles de lecture des démarches des élèves. En disposant de ces repères, l'enseignant pourrait plus facilement comprendre les choix que font les élèves à chaque étape de leur travail ; il serait alors en mesure de prévoir les interventions les mieux adaptées à chaque groupe. Une telle procédure permettrait à l'ensei-

connaître
les démarches
spontanées
des élèves

des aides
à la prise
de décision

gnant d'accepter de prendre des risques en laissant les élèves se confronter à des problèmes complexes, au lieu de leur proposer des situations épurées, plus simples mais différentes du réel. Des études comme celle que nous avons conduite peuvent donc déboucher sur une aide à la prise de décision.

S'il s'est donné les moyens de mieux appréhender les démarches spontanées des élèves, l'enseignant peut plus facilement les aider à analyser et à comparer leurs travaux. Les exposés oraux ont permis d'amorcer ce travail ; il serait intéressant de le poursuivre afin que les élèves prennent conscience de leur propre démarche dans sa globalité. Ce retour en arrière sur une recherche qui a duré plusieurs semaines en partant d'un problème qui a évolué au cours de cette période serait un moyen supplémentaire pour comprendre ce qui caractérise une démarche scientifique.

Patricia SCHNEEBERGER,
IUFM d'Aquitaine, Bordeaux
LADIST, Université Bordeaux I

Raymond RODRIGUEZ,
Lycée Jaufré Rudel, Blaye

BIBLIOGRAPHIE

ASTOLFI, J.-P., GIORDAN, A. et RUMELHARD, G. (1973). Pourquoi l'autonomie des élèves en Biologie ? *Biologie-Géologie*, 4 (revue de l'APBG), 533-537.

ASTOLFI, J.-P., CAUZINILLE, É., GIORDAN, A., HENRIQUES, A., MATHIEU, J., WEIL-BARAIS, A. (1984). *Expérimenter. Sur les chemins de l'explication scientifique*. Toulouse : Privat.

COLLIN, F., CHARTIER, B. (1997). Fermentation et distillation. *Biologie-Géologie*, 1 (revue de l'APBG), 83-90.

DEMOUNEM, R. et ASTOLFI, J.-P. (1996). *Didactique des sciences de la vie et de la Terre*. Paris : Nathan.

DEVELAY, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 3-15.

DUGGAN, S., GOTT, R. (1995). The place of investigation in practical work in the National Curriculum for Science. *International Journal of Science Education*, 17, 2, 137-147.

DUMAS-CARRÉ, A. et GOFFARD, M. (1992). Difficultés des élèves liées aux différentes activités cognitives de résolution de problèmes. *Aster*, 14, 53-75.

- FABRE, M., ORANGE, C. (1997). Construction de problème et franchissement d'obstacles. *Aster*, 24, 37-57.
- GIL-PEREZ, D. (1993). Apprendre les sciences par une démarche scientifique. *Aster*, 7, 41-64.
- GIL-PEREZ, D. et VALDES CASTRO, P. (1996). La orientación de las practicas de laboratorio como investigacion : un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 155-163.
- GOHAU, G. (1992). Esprit déductif versus esprit inductif. *Aster*, 14, 9-19.
- MILLAR, R. (1996). Investigation des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance (traduit par M. Méheut, A. Tiberghien et L. Viennot). *Didaskalia*, 9.
- RUMELHARD, G. (1997). Problématiser le vivant. In *La problématique d'une discipline à l'autre* (pp. 157-177). Paris : Adapt.
- SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1995). Une situation-problème en géologie : un détour de l'anecdotique au scientifique. *Aster*, 21, 137-160.
- SCHNEEBERGER, P., COTTEN, A., MASSON, S. et RODRIGUEZ, R. (1998). *Rapport de recherche associative INRP-IUFM d'Aquitaine "La pratique expérimentale dans la classe"*. Document interne.
- THOM, R. (1986). La méthode expérimentale : un mythe des épistémologues (et des savants ?). In J., Hamburger (Éd.). *La philosophie des sciences aujourd'hui*. Paris : Gauthier-Villars.
- Ministère de l'Éducation Nationale. *B.O.E.N. Hors série du 24 septembre 1992* (p. 89) et *B.O.E.N. n° 22, 24 juin 1993* (p. 1912).

“RÉEL DE TERRAIN”, “RÉEL DE LABORATOIRE” ET CONSTRUCTION DE PROBLÈMES EN SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

**Christian Orange
Françoise Beorchia
Paulette Ducrocq
Denise Orange**

Nous présentons ici une partie des résultats d'une recherche, menée en association avec l'INRP, qui tente de croiser, sur des études de cas, l'approche de la construction de problèmes avec la particularité qu'ont certains domaines des Sciences de la Vie et de la Terre de se référer à la fois à des travaux de terrain et à des travaux de laboratoire. Cela nous conduit à mettre en avant la variété des relations entre registres empiriques et explications, qui ne peut se traduire par une démarche expérimentale stéréotypée, et l'importance des savoirs pratiques dans la lecture des faits. Il s'ensuit un certain nombre d'interrogations sur la place et le rôle des investigations empiriques dans l'enseignement et l'apprentissage de la biologie et de la géologie.

recherches
sur les “problèmes
de modélisation”

Depuis quelques années notre équipe travaille sur les relations entre la construction de problèmes par les élèves et les apprentissages en Sciences de la Vie et de la Terre (SVT). Plus exactement, les problèmes qui nous intéressent sont ceux qui correspondent à des recherches d'explications de phénomènes ou de faits empiriques ; autrement dit, des problèmes de mise en concordance de faits et de modèles explicatifs, que nous appellerons, pour simplifier, “problèmes de modélisation”.

Utilisant une distinction entre registre du modèle et registre empirique introduite par J.-L. Martinand (1992, 1994) et que nous avons discutée par ailleurs (Orange C., 1994, 1997), nous pouvons décrire la construction de problèmes comme l'identification et la mise en tension de ces deux registres (1). La confrontation au réel, directe ou non, y joue donc un rôle essentiel. C'est ce que nous avons voulu étudier dans la recherche, menée en association avec l'INRP (2),

- (1) Nous avons distingué d'autres registres, en particulier celui que nous avons appelé registre explicatif (Orange C., 1997) ; pour cette étude on peut les réunir au registre des modèles.
- (2) Notre recherche a été menée dans le cadre de la recherche nationale “*La pratique expérimentale dans la classe*”, dirigée par Claudine Larcher. Elle a associé l'INRP, l'IUFM de l'académie de Caen et l'IUFM des Pays de la Loire.

dont nous allons présenter ici quelques résultats, après en avoir précisé le cadre général.

1. REGISTRE EMPIRIQUE ET CONSTRUCTION DE PROBLÈMES EN SVT

1.1. La notion de construction de problème

construire les problèmes est plus important que les résoudre

Nous appuyant sur les analyses de Bachelard (1938), mais aussi de Deleuze (1968) et Meyer (1986), nous partons de l'idée que l'entrée dans les savoirs scientifiques a plus à voir avec la construction des problèmes qu'avec leur résolution, qui n'est qu'un épisode terminal et, d'une certaine façon, accessoire (Fabre M., 1993). Cette construction de problèmes par les élèves, qui se développe et s'exprime en particulier dans les débats scientifiques en classe, est un processus complexe. Elle correspond au passage d'un problème qui se pose à des modèles explicatifs hypothétiques, complètement explicités et raisonnés.

Dans l'état actuel de notre compréhension de ce processus, nous pouvons le décrire comme une identification progressive par les élèves de contraintes empiriques (c'est-à-dire ce dont il va falloir rendre compte) et la construction conjointe de nécessités explicatives (conditions pour que le modèle soit théoriquement acceptable) par l'exploration critique des possibles (Fabre M. & Orange C., 1997 ; Orange C., 1998). Les contraintes empiriques ont donc une importance particulière dans la construction des problèmes en sciences de la nature, même si elles n'interviennent jamais seules.

articuler des éléments du registre empirique dans un projet explicatif

Prenons l'exemple de la formation de l'arène granitique ; construire le problème demande d'identifier et d'articuler un certain nombre d'éléments du registre empirique dans un projet explicatif : le fait que certains minéraux du granite se retrouvent dans l'arène ; le fait que celle-ci contient des minéraux nouveaux (argiles) ; la perte de la cohérence de la roche ; le développement plus important du phénomène le long des diaclases... Combinées avec des repères théoriques (notion de champ de stabilité des associations minérales...) et mobilisées par des pistes explicatives possibles, ces contraintes empiriques conduisent à des nécessités auxquelles doit se soumettre tout modèle de la formation de l'arène granitique : insuffisance des explications mécaniques, intervention de l'eau, déstabilisation privilégiée de certains minéraux... Développer tout cela, c'est-à-dire construire le problème, c'est à la fois moins et plus que le résoudre. Moins parce que plusieurs modèles peuvent respecter les contraintes et les nécessités identifiées : on n'aboutit donc pas directement à une solution. Plus parce

que, une fois une solution adoptée, on risque d'oublier une bonne partie de ces raisons qui lui donnent tout son sens.

1.2. Les thèses développées dans cette recherche

Penser les relations entre registre empirique et construction de problèmes scientifiques de cette façon nous a conduits, au cours de cette recherche, à dépasser un schéma figé de l'activité scientifique que l'on rencontre parfois et qui remplace, avec plus ou moins de précautions (Develay, 1989 ; Antheaume *et al.*, 1995), le vieil OHERIC (Astolfi *et al.*, 1978) par un PHERIC : le problème (P) y est présenté comme point de départ de l'investigation scientifique (3). Une telle simplification est discutable pour plusieurs raisons que nous présentons dès maintenant de façon à clarifier quelques unes des thèses qui seront discutées à partir des études de cas qui suivent.

- Le problème ne vient pas de rien ; et si les idées ont de l'importance, les problèmes ne peuvent exister qu'à partir d'une certaine maîtrise du champ empirique par les élèves. Cette maîtrise nécessaire n'est pas uniquement d'ordre conceptuel, elle est aussi pratique. Dire cela ne revient pas à redonner la prépondérance aux "faits réels" sur les conceptions. En effet le registre empirique est construit et non donné : dans l'exemple de l'arène granitique, la distinction ou la non-distinction, théorique, entre réaction chimique et action mécanique organise les contraintes empiriques retenues comme pertinentes.

- La construction du problème ne peut se cantonner au début du travail scientifique : elle en est une part essentielle et se développe dans le temps, en interaction permanente avec les études empiriques. Dans la partie de l'activité scientifique que François Jacob nomme la "*science de nuit*", "*les hypothèses restent sous forme de pressentiments vagues, de sensations brumeuses*" (Jacob, 1987, p. 330) et il y a souvent nécessité d'investigations empiriques exploratoires, pour voir. On est dans cet espace qui sépare le P et le H de PHERIC et qui est, du fait qu'il ne répond pas à une logique simple, souvent négligé dans l'enseignement. Il faut donc penser co-développement des contraintes empiriques et des problèmes. Dans ce cadre, le recours à l'expérience, par exemple, ne se définit pas comme un moment d'une démarche ou d'une méthode : ce sont ses fonctions dans la construction du problème qui lui donnent sens.

- Ainsi, l'expérience n'a pas uniquement pour fonction de sélectionner négativement les hypothèses et les modèles, comme le voudrait une vision purement réfutationniste : elle informe et nourrit les idées lors de la construction des

la maîtrise
du champ
empirique
demande des
connaissances
pratiques

l'expérience
ne sert pas
uniquement
à réfuter les
hypothèses

(3) Il s'agit là d'une simplification des thèses de K. Popper.

problèmes. Cela a été signalé depuis longtemps par Duhem (1914) et rappelé par Gohau (1984). Elle vient enrichir les contraintes empiriques, ce qui peut avoir comme conséquence de rendre non viables certains modèles (réfutation) ; mais aussi de développer de nouvelles nécessités ou de nouveaux possibles pour les modèles. Nous avons déjà exploré, par ailleurs, la traduction didactique de ce large rôle de l'expérience (Orange C., 1997, p. 162-173 ; Orange D., 1996).

les S.V.T. sont
des sciences
expérimentales
et de terrain

• Enfin, et c'est là une particularité des SVT par rapport aux autres sciences de la nature, le "réel" ne se limite pas aux expériences de laboratoire : il faut y ajouter le travail de terrain. Or des études épistémologiques récentes ont mis en avant les fonctionnements différents des sciences de laboratoire et des sciences de terrain (Gould, 1991 ; Stengers, 1993 ; voir aussi Orange C. et D., 1995). Il n'est donc pas possible, dans un bon nombre de domaines de la biologie et de la géologie, de voir le rapport à l'empirique uniquement au travers d'expériences ; il faut prendre en compte à la fois le "réel de terrain" et le "réel de laboratoire" (4).

Ce dernier point a été un des fils conducteurs de la recherche dont nous présentons ici les principaux résultats. Nous avons essayé de comprendre comment le "réel de terrain" et le "réel de laboratoire" pouvaient s'articuler dans le travail d'un chercheur et dans celui d'un élève construisant un modèle explicatif.

2. LABORATOIRE ET TERRAIN DANS L'ACTIVITÉ D'UN CHERCHEUR

le géologue,
le terrain et
le laboratoire

Afin de tenter de comprendre comment un chercheur utilise la double référence (terrain et laboratoire) que nous venons de pointer pour construire les problèmes et les modèles, nous nous sommes longuement entretenus avec Christian Chopin, directeur de recherche au CNRS et chercheur en pétrologie et minéralogie. Nous avons particulièrement insisté, dans nos demandes d'explicitation, sur les relations entre les deux "réels" qu'il utilise dans ses recherches. Au cours de cette discussion de plusieurs heures, des notes ont été prises qui ont donné lieu à une synthèse et un enregistrement audio a été effectué et retranscrit (5). C'est à partir de ces données, et des

(4) En distinguant "réel de terrain" et "réel de laboratoire", nous voulons dire qu'il y a deux formes de relations au réel que le biologiste et le géologue combinent. Il ne s'agit ni de chosifier le réel, ni donc de le couper en deux, mais simplement de mettre en avant que ces scientifiques ont deux traditions empiriques à concilier. D'autre part, quand nous parlons de laboratoire, par souci de simplification, nous voulons dire "laboratoire de géologie ou biologie expérimentale".

(5) Retranscription de trente pages. Les documents primaires de cette recherche sont disponibles dans le rapport de recherche de l'équipe (Orange C., dir., 1998)

articles publiés par le chercheur que nous avons travaillé, en tentant de clarifier les relations entre le registre des modèles et les deux registres empiriques convoqués. Dans le texte qui suit, les citations sont extraites de la retranscription.

2.1. Les problèmes de modélisation étudiés

Les recherches de Christian Chopin portent sur le métamorphisme très haute pression des massifs cristallins internes des Alpes. On peut dire, globalement, qu'il s'agit d'étudier l'histoire des roches de ces massifs et d'en retirer des indications sur l'histoire des Alpes d'une part et sur le fonctionnement d'un certain type de métamorphisme d'autre part.

Les données de terrain (roches avec leur localisation, lames minces dont on peut analyser la composition, la texture ; que l'on peut dater...) et les données de laboratoire expérimental (expériences de synthèse et de stabilité des minéraux en fonction des conditions pression-température ; datation absolue...) sont mises en relation avec des références théoriques qui appartiennent aussi bien à la chimie des milieux solides qu'à la géologie historique et même à la tectonique globale. Ces recherches visent l'élaboration de trois niveaux de constructions théoriques qui ont le statut de modèles et qui sont en quelque sorte emboîtés, donc souvent travaillés ensemble :

élaboration
de trois niveaux
de constructions
théoriques

- des modèles chimiques qui tentent de rendre compte de l'équilibre et des réactions entre les différentes phases présentes dans une roche ;
- des modèles historiques, articulés sur les premiers et qui décrivent l'histoire métamorphique des roches ;
- des modèles historiques qui racontent l'histoire métamorphique et tectonique de la région étudiée, en relation ou non avec la tectonique globale.

2.2. La mise en relation des registres

Pour construire les problèmes qu'il étudie et proposer des modèles explicatifs, Christian Chopin articule les deux registres empiriques (terrain et laboratoire) et le registre des modèles. Mais cela se fait selon un mode public et un mode privé.

la construction
du problème

- Le mode public de mise en relation des différents registres correspond à ce qui, au bout du compte, est apparent dans les travaux du chercheur (publications).

mode public...

Par exemple, si *"dans une roche qui a souvent conservé ces associations de minéraux de très haute température, il y a un minéral inconnu jusqu'à présent alors qu'il a une... composition chimique assez simple... L'hypothèse c'est que ce soient les conditions de pression et de température inhabituelles qui l'aient stabilisé... d'où l'idée de manips, synthétiser ce minéral... et puis déterminer son champ de stabilité"*.

La mise en relation de données de terrain avec des informations déjà disponibles et des indications chimiques conduit à un problème et à une idée explicative qui oriente le travail de laboratoire.

Dans d'autres cas, la lecture du terrain se fait à l'aide de données expérimentales déjà disponibles (domaines de stabilité d'un minéral, par exemple) ; le modèle construit alors ne nécessite pas de mise à l'épreuve expérimentale. Dans d'autres cas encore le laboratoire est utilisé pour préciser les contraintes dont l'importance pour le modèle est reconnue : limite d'un domaine de stabilité, datation absolue, composition des minéraux (6).

Il apparaît donc une grande variété de démarches dans ce mode public de mise en relation de différents registres. Mais cela débouche à chaque fois sur la construction explicite du problème et de modèles possibles.

... et mode privé

• Le mode privé des relations entre les registres se dévoile quand le chercheur précise l'intérêt d'être à la fois chercheur de terrain et chercheur de laboratoire. Il y a d'abord les cas où l'habitude du travail expérimental guide inconsciemment, ou presque, la lecture du terrain. Au sujet de la découverte de la coésite (forme de très haute pression de la silice) dans les roches du massif de Dora Maira, Christian Chopin note : *"Je pense... que d'être passé dans un labo d'expérimentation avant de regarder ces roches au microscope, ça m'a sûrement aidé à imaginer ce que je voyais au microscope dans les lames minces de ces échantillons..."*. La pratique du laboratoire l'aide à se représenter les réactions entre les phases.

la pratique
du laboratoire
aide la lecture
du terrain...

L'influence peut fonctionner en sens inverse : l'habitude du terrain permet alors un regard critique sur les résultats expérimentaux. Lors de l'étude expérimentale du domaine de stabilité d'un minéral, par exemple, *"le fait d'avoir étudié des roches avant va sûrement donner une approche très critique"*. Le système expérimental est plus confortable : *"c'est sûr que là, on s'affranchit beaucoup de problèmes de temps, d'évolutions, de changements de température, de réactions incomplètes"*. Mais il produit des artefacts. La connaissance du terrain apporte une dimension critique essentielle.

... et
réciproquement

Ce type de rapports, souvent inconscient, entre travail de terrain et travail de laboratoire, constitue une part importante de l'expertise du géologue. Il intervient dans la construction des problèmes par un fourmillement d'idées, essentiel, mais qui disparaît à la publication. C'est *"la science de nuit"* dont parle F. Jacob et dont aucune descrip-

(6) Remarque : la détermination de la composition d'un minéral à la microsonde ne semble pas vraiment considérée, par le chercheur, comme une investigation expérimentale.

tion stéréotypée de l'activité scientifique ne peut rendre compte. Cela montre aussi que, dans la mise en tension des différents registres, interviennent, à côté des savoirs conceptuels, des connaissances beaucoup moins facilement explicables. C'est ce que nous allons préciser maintenant.

2.3. Les connaissances en jeu dans les investigations expérimentales

Les expériences conduites par Christian Chopin au laboratoire sont des expériences portant sur les domaines de stabilité des minéraux du métamorphisme. Il utilise pour cela des "fours" (autoclaves) de différents types qui permettent de contrôler, dans une certaine mesure, les conditions de pression et de température. Nous allons tenter de préciser ce qu'est ce travail expérimental, les problèmes qu'on y rencontre et les connaissances qu'il mobilise.

La discussion relève deux types de difficultés dans ce travail expérimental.

- Il y a d'abord les difficultés techniques d'utilisation des fours. Ce type de problèmes justifie la présence de techniciens et même, dans certains laboratoires, d'ingénieurs. Leur maîtrise demande un gros investissement en temps, et un apprentissage technique et pratique important. On est là dans ce que certains sociologues des sciences (voir, par exemple Clarke et Fujimura, 1996) ont appelé le travail artisanal de la science. *"Il y a un côté les mains dans le cambouis ; passer du temps pour que la machine marche, pour pouvoir commencer à faire une expérience"*, dit Christian Chopin.

- L'autre type de difficultés expérimentales relève de la connaissance et de la maîtrise des systèmes expérimentaux étudiés. Il y a tout un ensemble de méthodes et même de trucs pour contrôler le dépassement des phénomènes de métastabilité. Ce genre de "manips" demande également la connaissance pratique des phénomènes de croissance cristalline.

Au total, c'est toute une expérience à acquérir, ce qui se traduit par le fait qu'au début, on fait de nombreuses expériences inutiles. Derrière les problèmes explicatifs que travaille le chercheur, apparaissent un grand nombre de problèmes pratiques.

2.4. Les connaissances en jeu dans les investigations de terrain

Le travail de terrain, au sens large, c'est bien sûr la récolte des échantillons (travail sur le terrain), mais aussi leur étude au laboratoire, en particulier grâce aux lames minces. La question du choix des échantillons apparaît souvent dans la discussion. Christian Chopin note qu'il est impressionné

l'importance des connaissances pratiques dans les investigations expérimentales

par la diminution de la quantité de cailloux qu'il rapporte à chaque campagne depuis le début de sa carrière. Entre la première année de thèse (il y a 20 ans) et la deuxième, on passe de 500 à 250 ; maintenant *"quand je ramasse 30 échantillons, j'ai de quoi m'occuper en général pour l'année et même plus"*. C'est en fait le nombre d'échantillons inintéressants qui diminue fortement au cours des ans.

le flair...

Une autre illustration de l'importance du choix des échantillons est donnée au sujet d'un travail en commun, sur le terrain, avec des tectoniciens : *"c'était drôle parce que... le long d'une même route, on ne s'arrêtait jamais devant les mêmes choses"*. Le choix est fortement lié à l'objet d'étude des chercheurs et à leur expertise. Intervient ce que Christian Chopin appelle le flair : on peut expliquer ce que l'on veut trouver, mais on ne peut pas expliquer complètement comment on le trouve. Il y a beaucoup de minéraux qu'on ne voit pas à l'œil nu. *"Alors le flair c'est quand même une bonne partie d'expérience ; c'est d'avoir vu des cailloux... de les avoir vus ensuite en lame mince ; savoir que tel minéral s'y trouve ou peut s'y trouver."*

... et l'art
du géologue
de terrain

Pour ce qui est du travail sur les lames minces, il ne se limite pas aux simples reconnaissances de minéraux. Il faut faire une analyse texturale pour essayer de comprendre les rapports qui existent entre les minéraux (les phases) en présence. Et cette interprétation de la texture, *"c'est vraiment un art"*. L'expertise texturale *"peut s'acquérir seulement sur le tas, à partir d'observations sur le terrain... et (au microscope)"*.

Autre point remarquable de cette étude des lames minces, c'est que le chercheur y voit du mouvement, une cinématique chimique, quand tout est évidemment figé. Il raconte certaines de ses observations de la coésite : *"on la voit... se transformer en quartz"*. Il traduit donc des observations dans l'espace de la lame mince en histoire. À d'autres moments, c'est le regroupement de données de plusieurs lames qui permet ce passage de l'espace au temps : *"en étudiant plusieurs roches du même coin en lames minces je voyais presque la réaction progresser..."*.

Si c'est le projet explicatif qui guide le chercheur, celui-ci mobilise dans les investigations de terrain une expertise, une aptitude à voir et à se représenter les phénomènes qui correspondent en grande partie à des connaissances peu explicables et donc peu enseignables.

2.5. Conclusion

L'analyse de la discussion avec Christian Chopin montre bien l'importance du terrain et du laboratoire dans les recherches géologiques de ce type (pétrologie du métamorphisme). Elle confirme la diversité des relations qui se jouent, dans un projet scientifique, entre les données empi-

PHERIC
ne répond plus

riques et les modèles. Il n'y a pas une méthode scientifique unique se traduisant par une succession figée d'étapes, où l'investigation empirique, par exemple, ne servirait qu'à mettre à l'épreuve des hypothèses clairement formulées, mais une mise en relation de méthodes diverses pour aboutir à la construction et à la résolution des problèmes scientifiques. La double référence empirique, terrain/laboratoire, ne fait qu'accentuer cela. Beaucoup de choses se jouent en fait entre le P (problème) et le H (hypothèse) d'une simpliste démarche PHERIC, où interviennent "l'art", l'imagination, les essais divers.

terrain et
laboratoire
n'interviennent
pas
symétriquement

Si "réel de terrain" et "réel de laboratoire" participent au développement des problèmes scientifiques, ils n'interviennent pas totalement symétriquement. D'une part, parce que les relations entre expériences et terrain sont dominées par des rapports au temps différents (Gould, 1991 ; Stengers, 1993) : l'expérience est le domaine où temps et histoire sont mis de côté pour aller vers des données thermodynamiques générales, applicables à différents systèmes ; le terrain traîne avec lui toute son histoire. D'autre part, c'est le terrain qui représente l'objet d'étude principal ; l'expérience met en jeu un matériel annexe que les modèles et le cadre théorique permettent de rattacher à cet objet d'étude.

Enfin on voit que les connaissances en jeu dans de telles investigations ne se limitent pas à des savoirs conceptuels mais intègrent ce qu'on peut appeler des connaissances pratiques (Delbos et Jorion, 1990 ; Barbier, 1996 ; Vergnaud, 1995), fruits de l'expérience du chercheur et non totalement communicables ou transmissibles. Maîtriser les expériences de laboratoire et savoir lire le terrain demande un apprentissage de plusieurs années ! Il ne faut pas l'oublier quand on pense à la transposition à la classe de ce type d'investigations.

3. "RÉEL DE TERRAIN" ET "RÉEL DE LABORATOIRE" DANS L'APPRENTISSAGE DE LA GÉOLOGIE AU LYCÉE

Dans leur apprentissage de la géologie, les élèves sont, eux aussi, confrontés aux deux formes du réel (terrain et laboratoire) que nous avons distinguées. Comment les appréhendent-ils et les utilisent-ils dans la construction des problèmes ? Quelles difficultés rencontrent-ils ? Nous avons suivi une classe (7) de Première S pendant une partie de son travail en géologie, celle qui s'intéresse à des problèmes pétrologiques.

(7) Classe de D. Orange, lycée Le Brun de Coutances, année 96-97.

une classe de
1^{er} S confrontée
à des problèmes
pétrologiques

Les données recueillies sont de deux types :

- d'une part, les productions des élèves au cours des activités de classe portant sur des problèmes de pétrologie ;
- d'autre part, l'enregistrement de deux groupes d'élèves lors d'une sortie géologique effectuée en fin d'année, après le cours.

3.1. Les élèves face à des problèmes de transformations pétrologiques

Il s'agit de deux situations travaillées au cours de séances de travaux pratiques.

• La transformation du granite en arène

Ce travail intervient après l'étude de l'origine magmatique et de la formation en profondeur du granite. Le site de Flamanville est présenté aux élèves à partir d'une diapositive du massif vu depuis le Sud et d'une autre présentant un affleurement avec altération en boules. Puis l'enseignante demande aux élèves, répartis en binômes (14 groupes), de "*rechercher les transformations subies par le granite pour passer de l'état de granite à l'état d'arène*". Chaque binôme dispose pour cela d'un échantillon de granite et d'un peu d'arène granitique. Remarquons que la consigne contient déjà des éléments du modèle, à savoir la parenté granite/arène.

les élèves ont des
difficultés à "lire"
les échantillons
de roches

Quelles contraintes empiriques les élèves identifient-ils et quelles idées explicatives mobilisent-ils ? Si nous nous intéressons d'abord à ce que chaque groupe a cherché à expliquer dans sa production écrite, seuls deux groupes ont fait référence à la présence dans l'arène de constituants nouveaux ("éléments non cristallisés" pour l'un, "dépôts" qui donnent une couleur "marronâtre" pour l'autre) ; cinq autres ne remarquent que la perte d'intégrité de la roche (fragmentation, érosion, usure) ; sept relèvent la modification des propriétés des minéraux (pourrissement, fragilisation, ou changement de couleur). La lecture des contraintes empiriques est donc très orientée par l'idée de dégradation ; on peut y voir l'influence des conceptions des élèves, l'arène représentant les restes d'un granite qui a "pourri".

leurs explications
sont surtout
physiques

Pour ce qui est maintenant des explications données, elles sont essentiellement physiques (12 sur 14) : "*Le granite qui se trouve à la surface est victime de l'érosion ; érosion par la pluie, le vent et même parfois la mer. Ainsi la roche se désagrège en plusieurs particules.*" Dans les deux cas où des constituants nouveaux sont signalés, l'explication donnée est celle d'un apport extérieur (par le vent). Seules deux explications ont recours à des phénomènes chimiques : "*De plus l'arène a une couleur plus orangée que le granite, ce qui nous fait penser qu'elle a été oxydée.*"

Si l'on croise la variable "contraintes empiriques identifiées" et la variable "type d'explication proposée", on obtient le tableau suivant :

		Ce que l'on cherche à expliquer (contraintes empiriques identifiées)			
		Uniquement la perte d'intégrité globale de la roche	Perte d'intégrité de la roche et présence de nouveaux constituants	La modification des propriétés des minéraux de la roche	
Types d'explications	Explications uniquement physiques	5	2	5	12
	Explications physiques et chimiques	0	0	2	2
		5	2	7	14

des explications
très proches
de la pensée
commune

On voit donc que les explications des élèves sont très proches de la pensée commune : la dégradation intuitivement constatée est le plus souvent simplement expliquée par une cause externe simple. Leur lecture du "réel de terrain", représenté ici par les échantillons, est insuffisamment armée pour leur permettre de construire un problème scientifique, ce qui demanderait de dépasser les évidences et de créer une véritable tension entre les idées de départ et les informations recueillies.

• La transformation du schiste en micaschiste

Dans le prolongement du travail sur l'altération en surface du granite, nous avons proposé aux mêmes élèves de Première S une réflexion sur la transformation du schiste en micaschiste. L'entrée dans cette situation s'est faite très brièvement : le professeur dit aux élèves qu'on peut dans une même région trouver du schiste et du micaschiste et que ces deux roches ont à peu près la même composition chimique globale. L'hypothèse d'une parenté est alors donnée comme plausible. Une étude comparée d'échantillons, à l'œil nu et au microscope, permet d'établir précisément les structures et compositions minéralogiques respectives. Les élèves, dotés ainsi de données empiriques et d'éléments du modèle (c'est le schiste qui se transforme en micaschiste) sont conduits à proposer des réponses aux questions suivantes :

- "Quelles transformations a subi le schiste ?
- Quels paramètres, quels processus permettent d'expliquer l'apparition de nouveaux minéraux et la foliation ?

Les 11 binômes disposent d'échantillons de schiste et de micaschiste, auxquels s'ajoutent deux documents-outils : le premier présente la succession des réactions chimiques d'un mélange d'argile et de quartz soumis expérimentalement à des augmentations de température et de pression. Le deuxième est le diagramme Pression/Température de stabilité de quelques minéraux.

En ce qui concerne les transformations pétrologiques constatées, 4 productions sur 11 en restent à la seule transformation globale d'une roche en une autre et n'arrivent pas à dépasser les banalités et les informations données avant l'activité : *"Le micaschiste est probablement une roche métamorphique, c'est-à-dire qu'elle a changé d'état dans certaines conditions de pression et température"*.

les diagrammes abstraits sont plus faciles à lire que les roches concrètes

Les sept autres parviennent à entrer dans un problème pétrologique, en mentionnant des transformations minéralogiques, mais seuls trois le font en référence aux échantillons ; les autres s'appuient uniquement sur les documents expérimentaux (diagrammes). On peut en particulier noter qu'aucune production ne tente d'expliquer, ni même ne constate, la foliation du micaschiste !

Il y a donc, globalement, une meilleure entrée dans le problème que dans le cas précédent (l'origine de l'arène granitique). Il est vrai qu'il n'y a pas ici l'équivalent de l'obstacle que représentait l'idée de dégradation. De plus les élèves ont l'attention attirée, en début d'activité, sur les minéraux. Enfin, ils disposent de documents (diagrammes...) qui les incitent à penser à des transformations minéralogiques. Mais, au total, la prise d'informations sur le terrain (ici représenté par les échantillons) est toujours aussi faible. Les élèves semblent plus à l'aise avec le "réel de laboratoire", donné sous forme d'inscriptions (Latour et Woolgar, 1988) qu'avec le "réel de terrain" représenté par les roches : ce sont les données expérimentales qui sont les plus efficaces dans la construction du problème.

3.2. Le travail des élèves au cours d'une sortie géologique

La même classe de Première S a effectué une sortie géologique le long de la bordure côtière du massif granitique de Flamanville. Elle s'est déroulée en fin d'année, donc après que le métamorphisme et l'altération granitique aient été travaillés en classe. Au cours de cette sortie nous avons recueilli des informations pour tenter de comprendre les difficultés que les élèves rencontrent, et d'identifier les connaissances nécessaires afin que le terrain leur permette véritablement de construire des problèmes géologiques.

le travail de terrain des élèves

Pour ce travail de terrain, qui a duré environ 90 minutes, les élèves avaient à suivre une fiche de travail précisant 5 sites, avec, à chaque fois, plusieurs questions. Deux groupes (un groupe de deux et un groupe de trois) ont été suivis, chacun par un accompagnateur que les élèves ne connaissaient pas (8). Les enregistrements effectués par les accompagnateurs ont été retranscrits et complétés de remarques issues de leurs notes (9).

• Méthode d'étude et caractérisation du travail des élèves sur le terrain

variété des tâches lors de la sortie géologique

Les retranscriptions permettent de proposer un découpage du travail du groupe sur le terrain en situations (10) qui ont servi d'unités pour l'ensemble de l'étude. Les situations correspondent à des tâches que nous avons classées (voir le tableau, page suivante). Le critère principal retenu pour cette mise en catégories correspond aux registres directement concernés par la tâche, du point de vue de l'expert. Ainsi, un certain nombre de tâches ne se rapportent qu'à des objets du registre empirique (RE) : il s'agit de tâches de reconnaissance, de description, de comparaison. Dire cela ne signifie pas que la réalisation de ces tâches est indépendante des conceptions ou des modèles, mais que celles-ci correspondent simplement à des problèmes d'établissement de faits (Kuhn, 1983), c'est-à-dire des problèmes qui ne sont pas explicitement des problèmes de construction de modèles explicatifs.

L'autre grand groupe de tâches fait intervenir l'explication, c'est-à-dire met en jeu un ou des modèles (registre des modèles : RM), généralement en relation avec le registre empirique. Cela correspond à des problèmes de mise en concordance de faits avec des modèles explicatifs (Kuhn, 1983), ce que nous avons appelé des problèmes de modélisation.

(8) Les résultats présentés ici ne portent que sur le groupe de 2 élèves, les enregistrements de l'autre groupe étant beaucoup moins complets pour des raisons techniques.

(9) Les notes servent, par exemple, à identifier ce que montre ou ce que regarde un élève dont les paroles ont été retranscrites. Les retranscriptions sont disponibles dans le rapport déjà cité.

(10) Nous avons considéré qu'une situation correspond aux conditions dans lesquelles se trouve un groupe d'élèves qui s'est donné ou a pris en charge une tâche définie.

**Catégories des tâches auxquelles se confrontent les élèves
au cours de la sortie (et registres en jeu)**

Catégories de tâches	Registres	Nombre de situations concernées
Préparation d'un échantillon	RE	1
Reconnaissance, identification	RE	8
Description/comparaison	RE	4
Repérage ou choix de faits	RE	3
Recherche d'arguments empiriques pour un modèle	RE-RM	2
Explication d'un phénomène ou d'un fait	RE-RM	6

RE : registre empirique ; RM : registre des modèles

difficultés
des élèves
à prendre
en charge
les tâches
de repérage
et de choix

Parmi les tâches portant essentiellement sur le registre empirique, sans mettre en jeu un problème de modélisation, celles de reconnaissance et d'identification, qui sont relativement de bas niveau, sont très nombreuses. En revanche, la catégorie "repérage ou choix", dont on a vu l'importance dans le travail du géologue de terrain (voir l'analyse de la discussion avec Christian Chopin), est peu présente : sur les trois situations répertoriées, deux concernent le choix du panorama général à dessiner, en début de sortie ; donc les moments où les élèves discutent des choix d'affleurements sur le terrain sont pratiquement inexistants. Cette rareté des situations de choix et de repérage est à opposer aux interventions de l'accompagnateur du groupe : sur 27 interventions ayant directement une signification géologique, 10 sont des indications de lieux ou d'objets à observer ou à dessiner. Il y a donc pour l'expert (l'accompagnateur) de vrais problèmes de repérage et de choix lors de cette sortie, mais les élèves ne les prennent pas en charge spontanément.

Pour étudier la capacité des élèves à construire des problèmes géologiques sur le terrain, on peut prendre l'exemple de deux situations caractéristiques correspondant à des tâches de mise en relation du registre empirique et du registre des modèles. Les citations en italiques sont issues de la retranscription (11).

• Première situation

Elle correspond au travail du groupe (deux élèves, François et Marc) sur deux des questions de la fiche : "Comparez

(11) Retranscription publiée dans le rapport de recherche de l'équipe (Orange C., dir., 1998)

l'arène granitique au granite sain." et "Proposez une explication à la formation de l'arène granitique."

L'entrée dans cette situation est provoquée par la tentative de répondre à la question sur la comparaison. Un échantillon d'arène en main, François s'interroge immédiatement sur la formation de l'arène : "*C'est quoi l'explication de l'arène?*" Marc donne une réponse théorique (sans étudier l'arène) ne correspondant qu'à une idée générale d'explication : "*C'est quelque chose qui s'en va dans l'eau.*" Cette idée explicative est à la fois compatible avec des éléments du cours et avec les conceptions de départ de la plupart des élèves (voir paragraphe 3.1.) selon lesquelles on passe du granite à l'arène par simple ablation d'un élément. En fait, cette idée explicative, prise dans son sens le plus commun, va guider totalement l'observation de réel : l'observation de l'arène fournit "*le composant qui s'en va*" ... : "*c'est les feldspaths qui partent*" ; alors même que, pour un expert, il est évident que l'arène est pleine de feldspaths. La complète dominance du modèle sur le registre empirique empêche toute construction de problème ; la mise en tension du registre empirique et du registre de modèles n'est que très superficielle.

dominance
du modèle
sur le registre
empirique

Seule l'affirmation d'un autre élève obligera le groupe à remettre en cause son analyse. Le terrain ne joue pratiquement aucun rôle ; tout au plus évoque-t-il et met-il dans l'ambiance : tout aurait pu se passer au lycée !

• Deuxième situation

Elle correspond à la recherche d'explication des filons de microgranite, sous la sollicitation et la relance de l'accompagnateur du groupe. Les élèves sont conduits à adapter le modèle explicatif de la formation du granite à ce nouveau cas. On est donc dans une situation didactique totalement différente de la précédente où les élèves travaillaient seuls. Là, l'accompagnateur intervient pour diriger la réflexion sur un point précis du terrain et pour relancer les questions. Deux points sont à noter dans cette seconde situation :

- les élèves ont difficilement mis en relation le modèle avec le terrain, sur l'insistance de l'accompagnateur ; il y a un tout début de construction de problème ;
- l'explication finale proposée par les élèves est fautive (le microgranite, disent-ils, s'est formé avant le granite) et très marquée par le modèle de mise en place du granite et du métamorphisme de contact dont ils disposent (Marc : "*le granite s'est formé en dernier*") ; les informations prises sur le terrain n'ont pas permis une construction de problème plus pertinente.

Au total, il n'est pas facile pour les élèves de repérer des contraintes empiriques sur le terrain et donc d'y construire des problèmes de modélisation explicative. Ils "s'en sortent", comme cela se voit dans leurs comptes rendus, relevés juste

après la sortie, mais essentiellement par le recours aux savoirs scolaires, propositionnels (Delbos et Jorion, 1990 ; Astolfi, 1992), qu'aucune donnée de terrain ne vient perturber.

3.3. Conclusion

En classe, dans les activités d'apprentissage étudiées, les élèves semblent plus à l'aise avec les données expérimentales abstraites (graphiques...) qu'avec les informations à prendre sur les roches. Le caractère théoriquement élaboré de ces informations expérimentales ne les met pas devant la matérialité de l'expérience, le côté "*mains dans le cambouis*" dont parle Christian Chopin (voir paragraphe 2.3.). D'autre part, dans la sortie géologique qui a eu lieu plusieurs mois après le cours correspondant, les élèves se débrouillent beaucoup mieux avec les modèles explicatifs du cours qu'avec les informations du terrain.

Tout converge donc pour signaler les difficultés des élèves à comprendre le terrain et à l'utiliser pour construire des problèmes géologiques. La maîtrise du terrain demande des connaissances, en particulier de type "pratique", que les élèves ne peuvent ni acquérir en classe, ni construire rapidement au cours de la sortie ; c'est particulièrement vrai pour tout ce qui conduit à faire des choix et à se fixer sur un fait pertinent. Cela explique leur fuite vers les modèles "clés-en-main" et les données "prémâchées". Cela a pour conséquences qu'ils ne peuvent pas assurer la mise en tension des deux registres. Il est donc nécessaire, dans les confrontations au réel de terrain, de penser des aides (outils et/ou médiation par le professeur) qui guident les élèves vers des cas précis, mais qui leur permettent aussi une vraie implication dans des problèmes d'articulation registre des modèles/registre empirique. Tout comme le débat dans la classe est essentiel pour discuter des modèles possibles et identifier certaines contraintes, le débat sur le terrain doit intervenir lui aussi dans la construction des problèmes, tout en aidant les élèves à lire ce terrain.

aider les élèves
sur le terrain

4. INFLUENCE D'UNE SORTIE BIOLOGIQUE SUR LA PROBLÉMATISATION D'ÉLÈVES DE L'ÉCOLE PRIMAIRE

La sortie géologique de la classe de Première S que nous venons d'étudier se situe à la fin du cours. Elle nous a permis d'analyser les difficultés des élèves, sur le terrain, à repérer des contraintes empiriques et à construire des problèmes à partir des connaissances acquises en cours ; ils étaient, en quelque sorte, devant ce que l'on peut appeler, à la suite de Th. Kuhn, des problèmes normaux (Orange C. et D., 1993).

étude du réseau
alimentaire
du littoral

Dans le cas que nous allons présenter maintenant, la sortie est placée en début de séquence. Il s'agit de voir dans quelle mesure les informations collectées dans une sortie interviennent dans la construction en classe de problèmes scientifiques. La classe concernée est une classe de 21 élèves de CM2 d'une ZEP du département de la Manche (12). L'intention de l'enseignante est de travailler sur les réseaux alimentaires à partir d'une étude du littoral.

4.1. Organisation du projet pédagogique ; données recueillies

Ce projet a comporté cinq séances de 1 h30 qu'on peut rapidement décrire.

– Première séance : préparation de la sortie ; définition du travail ; que s'attend-on à voir ? (production individuelle)
– Deuxième séance : sortie sur l'estran rocheux (marée basse) ; les élèves sont en groupes de 5, accompagnés d'un adulte.

5 séances
de 1h30,
la 2^e étant la sortie
sur l'estran
rocheux

– Troisième séance : énumération en collectif des êtres vivants trouvés ; travail par groupes à partir d'une liste restreinte de 10 êtres vivants retenus (crevette, huître, crabe, moule, anémone, poisson, bigorneau, algue, goéland, patelle) : "Qui est mangé par qui et pourquoi ?"

– Quatrième séance : débat en groupe classe autour des affiches produites par les petits groupes.

– Cinquième séance : mise à l'épreuve des propositions issues du débat et qui ont la forme de règles du type : "c'est le plus rapide qui mange le plus lent" ; cette mise à l'épreuve se fait à l'aide de documents.

Toutes les séances ont été enregistrées et/ou filmées. Les productions, individuelles et de groupes, ont été gardées. C'est essentiellement la retranscription de la troisième séance (travail du groupe 5) que nous utilisons ici. Les enregistrements sur le terrain sont peu utilisables car de faible qualité (vent...).

4.2. Les références à la sortie lors du débat d'un des groupes (3^e séance)

la sortie sert de
support au débat

• Lors du débat, les élèves utilisent la sortie de façon assez importante. Dans les discussions du groupe 5, sur la quarantaine d'interventions d'élèves portant sur le registre empirique, plus de la moitié (24/43) se réfèrent clairement à la sortie. Les autres "interventions empiriques" renvoient au vécu des élèves en dehors de l'école.

• La lecture du terrain de la sortie et la construction des problèmes sont fortement sous la dépendance des conceptions. Ainsi, dans une discussion portant sur les relations alimentaires entre crabes et moules, certains élèves montrent un anthropomorphisme fort :

– *“Les petits qu’on a trouvés, c’est peut-être parce que les parents étaient partis leur chercher à manger ?*

– *Non parce que le père il partirait à la chasse et la mère serait avec les enfants pour pas qu’ils se fassent tuer .”*

Dans d’autres cas, ce sont des règles “évidentes” qui sont utilisées, comme l’idée que les gros mangent les petits (à ce sujet, voir Équipe Aster, 1985) :

“Les gros crabes mangent de la moule mais les petits ils se font emprisonner par la moule.”

“Peut-être que le crabe il mange l’anémone et l’anémone il mange le crabe. Si l’anémone est petit et que le crabe est gros.”

• Cependant les éléments rapportés du terrain sont suffisamment riches pour qu’un débat existe : des tensions apparaissent entre les conceptions (prémodèles) et les informations prélevées lors de la sortie qui permettent de construire des problèmes. C’est ce que nous allons développer maintenant.

4.3. Les fonctions de la référence au terrain dans le débat du groupe

La sortie donne au groupe des références empiriques communes qui interviennent de différentes façons dans le débat.

• D’une part, les faits empiriques repérés permettent le développement de prémodèles différents, ce qui conduit le groupe à explorer plusieurs explications possibles. Ainsi, au sujet des petits crabes trouvés dans les moules, trois thèses sont en présence :

– le petit crabe est mangé par la moule ;

– la moule est mangée par le crabe ;

– la moule est mangée uniquement par les gros crabes, les petits se trouvent emprisonnés par hasard.

Pour ce qui est de l’anémone, à qui on a donné à manger un petit crabe et dont on a repéré les tentacules qui “collent”, les discussions portent sur ce qui peut la manger et à quelles conditions ; et sur “qui mange qui” entre le crabe et l’anémone.

Ces prémodèles différents qui veulent expliquer des faits constatés et s’appuient en partie sur des arguments empiriques, sont des conditions essentielles au débat et donc à la construction de problèmes.

• D’autre part, dans le débat qui voit les différentes thèses se développer et s’opposer, les références au terrain et en particulier à la sortie permettent de dégager des contraintes,

elle suscite des explications...

... et permet de fixer des contraintes empiriques

essentiellement empiriques, qui balisent le problème. Cela intervient de différentes façons.

– La sortie sert d'appui pour préciser un fait : *“Il y a quelque chose que l'on a vu hier, c'est l'anémone qui mange le crabe .”* Ce fait, incontesté dans le groupe, fixe un point incontournable du problème.

– Elle fournit des éléments pour développer et discuter des idées :

“- Il peut manger d'abord le corps et après les tentacules.

- D'abord les tentacules parce que le corps il est derrière les tentacules, donc sinon, il se fait coller.” Il faudra maintenant tenir compte de la morphologie de l'anémone pour penser sa prédation.

– Elle permet de développer des arguments contre des considérations théoriques. Par exemple, au sujet de ce qui mange l'anémone, une élève remarque :

“même quand on l'a retirée elle était encore vivante et je ne sais pas comment faire pour la tuer, surtout un poisson”. Ce fait questionne la possibilité qu'un crabe ou un poisson, même gros, puisse manger l'anémone. Il vient gêner la conception selon laquelle les gros mangent les petits et conduit donc à d'autres propositions.

4.4. Le fonctionnement des différents élèves dans le débat

Dans les débats qui se développent dans les groupes (troisième séance), il semble que tous les élèves ne fonctionnent pas de la même façon par rapport au registre empirique et au registre des modèles.

Il y a, bien sûr, des différences dans la quantité d'interventions des uns et des autres, qui peut varier d'un facteur 10.

Mais, si l'on prend deux élèves qui interviennent pratiquement le même nombre de fois dans le débat du groupe 5 (une centaine de fois environ), Julien et Thomas, leurs interventions ne sont pas du même type. Julien s'appuie plus souvent sur le registre empirique (20 fois, dont 13 en référence à la sortie) que Thomas (9, dont 4 pour la sortie). Et cette première impression quantitative est confirmée par l'analyse des propos de l'un et de l'autre. Julien, tout au long du débat, met en avant des éléments du registre empirique qu'il oppose aux thèses de ses camarades. En revanche, il expose rarement ses conceptions explicatives (prémodèles). Inversement, la plupart des interventions de Thomas sont au niveau du registre des modèles, c'est-à-dire sont explicatives (*“c'est parce que l'anémone est vivante que ça colle sinon, ça ne colle pas”*) ou font implicitement référence à une règle liée à une conception (*“l'anémone peut manger les petits crabes mais je ne pense pas les gros”*).

deux styles
d'implication
dans le débat

Ces fonctionnements différents des élèves dans les débats scientifiques mériteraient d'être confirmés par des études plus précises et plus nombreuses. En tout état de cause, rien ne permet de savoir à quoi attribuer ces possibles différences : mode habituel de pensée des élèves ou connaissances qu'ils ont du domaine étudié ?

4.5. Conclusion

Au total cette sortie a eu un rôle important dans la construction des problèmes par les élèves : elle a permis de donner à la classe un fonds commun de références empiriques pour parcourir les deux dimensions de cette construction : l'exploration des possibles et l'identification des contraintes.

réelle mise
en tension
du registre
empirique et
du registre
des modèles

Comme dans la sortie géologique de Première S, l'importance des conceptions dans la lecture du terrain est très forte. Mais il semble que la prise d'informations sur le terrain a été plus riche dans cette sortie que dans l'autre, alors qu'elle se faisait au début du cours : elle a permis une réelle mise en tension du registre empirique et du registre des modèles ; les arguments développés par les élèves le prouvent.

Peut-être n'y a-t-il là qu'un effet de perspective par rapport aux attentes de l'enseignement à ces deux niveaux (école et lycée). Mais il faut noter deux caractéristiques qui peuvent expliquer la plus grande efficacité des CM2 sur le littoral que des 1^{es} S à Flamanville.

- Le terrain exploré est plus proche de l'expérience commune des élèves. Tous les CM2 ont déjà exploré le littoral à marée basse en s'intéressant, par jeu ou pour la pêche, aux animaux qu'on y trouve ; ce n'est certainement pas le cas des élèves de lycée en ce qui concerne les roches de Flamanville.

- Sur le terrain, les élèves de CM2 ont été davantage suivis et guidés par l'accompagnateur, ce qui a permis des petites discussions et les a aidés à focaliser leur attention sur quelques faits importants (pour le maître).

CONCLUSION

Nous avons, au cours de cette recherche, tenté de mieux comprendre comment les problèmes scientifiques se construisaient dans les domaines où l'expérience n'est pas la seule référence empirique mais où le terrain a un rôle essentiel. Nous nous sommes pour cela appuyés sur le témoignage d'un chercheur et sur l'étude de différentes situations didactiques.

Ce n'est là qu'une première investigation qui s'est surtout attachée à la façon dont les élèves lisaient le terrain et aux difficultés qu'ils y rencontraient. Des études comparatives

seraient nécessaires pour confirmer les résultats présentés ici. Nous pouvons cependant avancer quelques conclusions provisoires.

- Si la séparation entre les différents registres, en particulier entre le registre empirique et le registre des modèles, est féconde du point de vue de la compréhension du processus de construction de problèmes, il est nécessaire de distinguer, dans les registres empiriques, ce qui correspond à un "réel de terrain" et ce qui correspond à un "réel de laboratoire". Notons cependant que séparer ces registres ne veut pas dire qu'ils sont indépendants. On a vu comment les conceptions des élèves intervenaient dans la prise d'informations sur le terrain. On a vu également comment les données expérimentales ou les modèles disponibles pouvaient masquer, chez les élèves, l'utilisation des données de terrain.

le concret
n'est pas simple

- Il apparaît que le "concret" du terrain ne simplifie pas les questions scientifiques, au contraire. Reste qu'une part non négligeable des objets de la biologie et de la géologie n'a de sens que par les études de terrain. On doit donc didactiquement prendre en compte les difficultés que les élèves ont nécessairement dans l'appréhension de ce concret très (trop?) riche. Que ce soit dans le travail du chercheur ou dans celui des élèves, la mise en relation des données de terrain avec les modèles possibles fait intervenir tout un ensemble de connaissances de type pratique. Ce ne sont pas uniquement des connaissances de bas niveau (habiletés, reconnaissances ponctuelles) mais aussi des connaissances expertes, difficilement explicites, que le scientifique utilise pour construire un registre empirique s'articulant avec ses modèles explicatifs. L'acquisition d'une telle expertise est un long travail. Si ce constat a des chances d'être valable également pour la pratique expérimentale, le cas des sciences de terrain éclaire particulièrement la question par la complexité des connaissances en jeu.

des choix à faire

- La prise en compte didactique de ces connaissances pratiques reste à travailler! L'absence de telles connaissances empêche de mettre en tension le registre empirique et le registre de modèles, donc de construire un problème. Plusieurs solutions alors, qui ne sont pas exclusives mais doivent être envisagées d'un point de vue curriculaire : se limiter à un travail sur les prémodèles et les obstacles associés en s'appuyant sur des références empiriques préparées (résultats expérimentaux, données de terrain aménagées) ; choisir le terrain et/ou le domaine expérimental parmi ceux où les élèves ont déjà des connaissances pratiques ; penser conjointement construction de problèmes et développement d'une certaine expertise empirique sur des terrains ou des domaines expérimentaux précis, en sachant que cela nécessitera nécessairement un travail dans le temps.

Au bout du compte, la question est toujours la même : l'activité de l'élève, que tout le monde espère, est-elle un simple moyen de lui faire acquérir des savoirs figés (résultats de la science) (13), ou doit-elle viser l'acquisition d'une certaine pratique théorique (modélisation) et d'une certaine pratique empirique?

Christan ORANGE
IUFM des Pays de la Loire
CREN, Université de Nantes

Françoise BEORCHIA
Paulette DUCROCQ
IUFM de l'académie de Caen (St Lô)

Denise ORANGE
Lycée Camus, Nantes
CREN, Université de Nantes

BIBLIOGRAPHIE

- ANTHEAUME, P. & al. (1995). *Découverte du vivant et de la Terre*. Paris : Hachette.
- ASTOLFI, J.-P. & al. (1978). *Quelle éducation scientifique pour quelle société?* Paris : P.U.F.
- ASTOLFI, J.-P. (1992). *L'école pour apprendre*. Paris : E.S.F.
- BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- BARBIER, J.-M. (dir.) (1996). *Savoirs théoriques et savoirs pratiques*. Paris : P.U.F.
- CLARKE, A. & FUJIMURA, J. (Éds.) (1996). *La matérialité des sciences*. Paris : Synthélabo.
- DELBOS, G., JORION, P. (1990). *La transmission des savoirs*. Paris : La Maison des Sciences de l'Homme.
- DELEUZE, G. (1968). *Différence et répétition*. Paris : P.U.F.
- DEVELAY, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 3-15.
- DUHEM, P. (1914). *La théorie physique, son objet, sa structure*. Paris : Chevalier & Rivière.

(13) Pour la critique des méthodes dites actives, voir Rumelhard G., 1986.

- Équipe ASTER (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris : INRP.
- FABRE, M. (1993). De la résolution de problèmes à la problématisation. Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle. *Didactique IV*, 4-5.
- FABRE, M. & ORANGE, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, 24, 37-57.
- GOHAU, G. (1984). Pour un popérisme relatif. *Biologie-géologie* (bulletin de l'A.P.B.G.), 1, 137-143.
- GOULD, St. J. (1989). *La vie est belle*. Paris : Seuil.
- JACOB, F. (1987). *La statue intérieure*. Paris : O. Jacob.
- KUHN, T. S. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion (1962).
- LATOUR, B., WOOLGAR, S. (1988). *La vie de laboratoire*. Paris : La Découverte (1979).
- MARTINAND, J.-L. (dir.) (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- MARTINAND, J.-L. (dir.) (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation*. Paris : INRP.
- MEYER, M. (1986). *De la problématologie*. Bruxelles : Mardaga.
- ORANGE, C. (1994). Le modèle, de la mise en relation au fonctionnement. In Martinand, J.-L. (dir.) (1994) *op. cit.*
- ORANGE, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : P.U.F.
- ORANGE, C. (1998). Débats scientifiques dans la classe et espaces-problèmes. In *Actes du deuxième séminaire sur recherches et formation des enseignants*, Grenoble.
- ORANGE, C. & ORANGE, D. (1993). Problèmes de rupture, problèmes normaux et apprentissage en biologie-géologie. *Les sciences de l'éducation*, 4-5, 51-69, Caen, Cerse.
- ORANGE, C. & ORANGE, D. (1995). Géologie et biologie, analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *Aster*, 21, 27-59.
- ORANGE, D. (1996). L'expérimentation comme révélateur de conceptions. In Orange, C. et Fabre, M. (dir.). *Place du problème dans l'enseignement et l'apprentissage de la biologie-géologie*, Rapport de recherche, IUFM académie de Caen, Cerse Université de Caen.
- RUMELHARD, G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne : Peter Lang.
- STENGERS, I. (1993). *L'invention des sciences modernes*. Paris : Flammarion.
- VERGNAUD, G. (1995). Quelle théorie pour comprendre les relations entre savoir-faire et savoir. In *Les entretiens Nathan 1995, Savoirs et savoir-faire*.

XXII^{es} JOURNÉES INTERNATIONALES
SUR LA COMMUNICATION, L'ÉDUCATION
ET LA CULTURE SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

Elles se dérouleront du lundi 20 au vendredi 24 mars 2000
au Centre Jean Franco à CHAMONIX

L'ÉDUCATION AUX RISQUES

SANTÉ-SÉCURITÉ-ENVIRONNEMENT

Le risque est omniprésent. Risques naturels : tremblements de terre et glissements de terrain, avalanches et tornades, inondations et incendies, sécheresses, épidémies... Risques « techniques » : pannes, accidents, explosions, intoxications, défaillances matérielles et humaines, pollutions chimiques, nucléaires, transgéniques... Risques financiers, économiques, politiques... Risques concentrés ou diffus, majeurs ou éclatés, globaux ou locaux... Risques du travail, de la vie domestique, des loisirs ou de l'école. Pour chacun, partout et à chaque instant, quelque rôle qu'il endosse, vivre, c'est affronter des risques.

Aujourd'hui, nombre de ces risques apparaissent maîtrisables et donc inacceptables ; et certains, qui sont à l'évidence d'origine humaine, suscitent des réactions de plus en plus fortes. La politique, les médias reflètent cette sensibilité aux risques en matière de sécurité, d'environnement, de santé. La recherche scientifique et industrielle, l'éducation initiale et permanente sont sollicitées pour les étudier, qu'ils soient individuels ou collectifs, privés ou publics, pour imaginer et tester des parades, former à de nouveaux comportements.

Cependant, médias et école semblent rencontrer face aux risques de redoutables problèmes d'éducation et de communication : difficultés pour aborder la complexité et l'incertitude dans la représentation, l'explication et la prévision, difficultés à prendre en compte les émotions, l'imaginaire, les réactions individuelles et collectives dans l'information et l'administration. Les comportements des acteurs sont eux-mêmes des facteurs de risques. Et pourtant c'est pour eux et finalement par eux que la maîtrise du risque est nécessaire et possible.

Les instruments objectifs et méthodes rationnelles pour appréhender et anticiper les risques, leurs déterminants et leurs conséquences ont fait des progrès. Il s'agit d'en faire partager usages et résultats, en évitant fatalisme traditionnel et excès d'assurance. Et l'idée que le risque est inhérent à la vie elle-même, affrontement permanent et « négociation » avec les risques est mieux envisagée. Il s'agit alors de former et d'informer pour des comportements de responsabilité, de précaution, sans écraser esprit d'aventure et liberté. Et de l'individu au responsable économique ou politique, il y a un manifestement beaucoup à faire.

Pour ces Journées qui se tiennent pendant l'année du passage à un nouveau millénaire, nous souhaitons rassembler expériences, réflexions, propositions, qu'elles viennent de praticiens de la médiation et de l'enseignement, de responsables de la politique, de l'économie, de « la vie sociale et culturelle », de formateurs et de chercheurs. Dans l'attente de votre contribution, nous vous prions de croire, Madame, Monsieur, à nos sentiments les meilleurs.

André GIORDAN, Jean-Louis MARTINAND et Daniel RAICHVARG

Informations complémentaires et inscriptions

D. RAICHVARG
GHDSO-LIREST, Bât. 407
Université Paris-Sud,
F-91405 ORSAY Cedex

Email : daniel.raichvarg@ghdso.u-psud.fr

SAVOIRS ET SAVOIR-FAIRE ASSOCIÉS À L'UTILISATION D'INSTRUMENTS INFORMATISÉS DANS DES ACTIVITÉS DE TRAVAUX PRATIQUES DE PHYSIQUE

Daniel Beaufile
Hélène Richoux
Chantal Camguilhem

L'ordinateur est utilisé dans les classes de physique et chimie en tant qu'instrument de laboratoire permettant la réalisation de mesures et leur analyse par le jeu des représentations graphiques et la modélisation mathématique. Une telle utilisation de moyens informatiques par les élèves, si elle se veut raisonnée et s'inscrire dans des activités scientifiques, ne peut ignorer l'existence d'un certain nombre de savoirs et de savoir-faire spécifiques qu'il convient alors de faire acquérir aux élèves. Nous présentons ici un travail mené dans le cadre d'une recherche de l'Institut National de Recherche Pédagogique. À partir de l'analyse de fiches de travaux pratiques et d'observations de classe nous avons identifié les savoirs et savoir-faire mis en œuvre. Cette liste a été dans un premier temps utilisée comme grille d'analyse descriptive des activités en travaux pratiques. Le corpus étudié montre essentiellement un appauvrissement de l'implication cognitive des élèves. Ceci nous a conduit, dans un second temps, à élaborer et tester une hiérarchisation permettant, notamment, de proposer un ensemble de savoirs et savoir-faire considérés comme "exigibles" d'élèves en fin de cycle scientifique.

une prise en
compte de
l'évolution

Depuis de nombreuses années l'ordinateur est utilisé dans les classes de physique et chimie en tant qu'instrument de laboratoire permettant la réalisation de mesures et leur analyse par le jeu des représentations graphiques et la modélisation mathématique. Ces utilisations sont d'ailleurs maintenant institutionnalisées puisqu'elles sont mentionnées dans les programmes des classes de lycée d'enseignement général et qu'un sujet de montage (1) spécifique au CAPES de physique et chimie a été instauré pour la session de 1998.

Pour autant, le niveau de compétence et de connaissance attendu des élèves dans l'utilisation de ces instruments informatisés est très variable d'un professeur à un autre et la question de la prise en charge de l'enseignement correspondant par la physique, les mathématiques ou l'informatique n'est pas résolue. Ceci se traduit en particulier au plan

(1) Épreuve orale intitulée exactement : "montage et traitement automatisé de l'information".

de nouvelles
connaissances
à expliciter

de l'évaluation : si l'idée d'une évaluation prenant en compte des compétences relatives à l'utilisation d'instruments tels que l'oscilloscope ou le pH-mètre fait son chemin, celle d'y inclure l'ordinateur de laboratoire est encore généralement repoussée.

Il apparaît pourtant clairement que, si l'on veut que les élèves utilisent de façon raisonnée les moyens informatisés dans des activités scientifiques, il convient de leur faire acquérir un certain nombre de savoirs et savoir-faire spécifiques. Mais pour cela, il faut définir ces connaissances, les enseigner et, *in fine*, pouvoir en évaluer l'acquisition. C'est dans cette optique que nous avons mené un travail d'analyse et d'expérimentation dans le cadre d'une recherche de l'Institut National de Recherche Pédagogique (département Technologies nouvelles et éducation) durant trois années. À partir de l'analyse des activités effectivement proposées aux élèves par des enseignants (fiches de travaux pratiques, observations de classe) nous avons dans un premier temps cherché à identifier les savoirs et savoir-faire mis en œuvre (souvent implicitement). Ce travail d'extraction à partir de situations particulières de physique ou de chimie et d'explicitation des différentes connaissances et compétences nous a conduits à élaborer une hiérarchisation permettant, notamment, de proposer un ensemble de savoirs et savoir-faire considérés comme "exigibles" (2) pour des élèves en fin de cycle scientifique. Cette dernière étape s'est appuyée sur une expérimentation de situations d'évaluation.

1. LES SAVOIRS ET SAVOIR-FAIRE IMPLIQUÉS PAR L'UTILISATION D'INSTRUMENTS INFORMATISÉS DANS LES TRAVAUX PRATIQUES

Notre hypothèse est donc que l'introduction d'instruments informatisés dans les travaux pratiques entraîne des modifications au plan des activités elles-mêmes mais aussi au plan des connaissances et compétences requises. De la saisie de données (au clavier ou automatique) à la résolution d'équations différentielles, de nouveaux savoirs et savoir-faire apparaissent en effet d'emblée : ceux relatifs à l'objet "ordinateur" et son environnement comme ceux relatifs à de nouvelles méthodes (traitement statistique, optimisation de modèles, etc.). Pour aller au-delà d'une simple évocation indicative, il faut être capable d'en faire une liste explicite, qui distingue les connaissances des savoir-faire et différencie ceux qui sont généraux de ceux qui sont spécifiques à un usage scientifique.

(2) Au sens où ce terme est utilisé dans les programmes officiels des classes de collège et de lycée.

l'analyse
des fiches
de travaux
pratiques

1.1. Aspects méthodologiques

Dans la première étape de notre travail nous nous sommes attachés à analyser la situation de fait en nous intéressant aux protocoles proposés sous forme de "fiches-TP" écrites par des enseignants à l'attention de leurs collègues (3).

En deuxième étape, nous avons travaillé une structuration de cet ensemble de façon à faire apparaître clairement ce qui est savoir et ce qui est "savoir-faire" et, dans ce dernier ensemble, à distinguer ce qui est savoir-utiliser de ce qui est savoir-mettre en œuvre.

En troisième étape, nous avons utilisé cette liste structurée comme grille pour ré-analyser sur un plan quantitatif un certain nombre de fiches de travaux pratiques du corpus précédemment défini. Ainsi, en relevant dans les consignes explicites de la fiche celles qui correspondent à un élément de la liste, on peut construire le profil séquentiel des savoirs et savoir-faire que la séance met en jeu, et donner ainsi une image de l'activité prévue. La mise en commun des analyses permet alors un comptage relatif des différents savoirs et savoir-faire.

1.2. Une liste des savoirs et savoir-faire

une liste de
savoirs et de
savoir-faire

Nous donnons ci-dessous un extrait de la liste que nous avons ainsi élaborée (voir tableau 1 ; l'ensemble des items est repris en annexe 1) et pour laquelle nous voulons expliciter les distinctions opérées entre savoirs et savoir-faire et, dans cette seconde catégorie, entre ce que nous avons appelé "savoir-utiliser" et "savoir mettre en œuvre". Si la première distinction est habituelle, il nous paraît tout aussi important de distinguer un premier niveau de connaissance/compétence permettant d'utiliser tel ou tel instrument à la demande explicite de l'enseignant, d'un second niveau de maîtrise, où l'élève est capable de mettre lui-même en œuvre une procédure pour résoudre une question. Cette distinction n'est d'ailleurs pas spécifique à l'utilisation d'instruments informatisés : souhaiter d'un élève qu'il décide d'utiliser une résolution numérique d'équation différentielle pour déterminer la valeur du coefficient de frottement fluide, n'est pas différent que d'attendre qu'il soit capable de décider d'utiliser le mode "xy" d'un oscilloscope pour détecter une résonance puis de repasser en balayage pour répondre à une question du type "mesurer la fréquence de résonance du circuit...".

(3) Le corpus de fiches a été constitué sur la base de *La physique, la chimie, l'ordinateur* (vol. 1 et 2), Ministère de l'Éducation Nationale, 1994 ; *Physique chimie* (Groupe Evariste), Ministère de l'Éducation Nationale, 1995 ; CNERTA, *Réflexions sur l'ExAO*, 1995.

Tableau 1. Extrait de la liste des savoirs et savoir-faire impliqués par l'utilisation d'instruments informatisés

<p>Les savoir-faire (4)</p> <p><i>Savoir-faire généraux relatifs à l'utilisation d'un ordinateur et d'un logiciel</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • i3 – savoir entrer un nombre, une lettre, un mot alphanumérique dans une zone... • i5 – savoir se déplacer dans un menu de commandes, valider une commande <p><i>Savoir-faire relatifs à la manipulation des dispositifs techniques</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • t2 – savoir faire la connexion sur une voie d'entrée d'une interface <p><i>Savoir-faire relatifs à l'exploitation de fonctionnalités logicielles (scientifiques)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • l2 – savoir entrer une expression définie par une fonction mathématique • l6 – savoir utiliser une procédure/commande d'optimisation de modèle <p><i>Savoir-faire relatifs à la mise en œuvre de méthodes et/ou de moyens (scientifiques)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • m2 – savoir déterminer les paramètres d'une acquisition automatique en fonction du phénomène étudié • m5 – savoir mettre en œuvre une méthode d'optimisation de modèle sur un ensemble de données pour déterminer des paramètres <p>Les savoirs</p> <p><i>Savoirs généraux relatifs à l'utilisation d'un ordinateur et d'un logiciel</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • sg1 – connaître des termes de vocabulaire général tels que : valider, fichier, menu, etc. • sg3 – connaître l'existence de paramétrages de représentation graphique <p><i>Savoirs relatifs à l'exploitation de fonctionnalités logicielles (scientifiques)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • sl1 – connaître la commande logicielle de paramétrage d'une acquisition de mesures • sl7 – connaître la commande logicielle d'un traitement spécifique <p><i>Savoirs relatifs à la mise en œuvre de méthodes et/ou de moyens (scientifiques)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • sm1 – connaître le rôle d'une interface en tant que convertisseur analogique • sm4 – connaître le principe d'une méthode de moindres carrés • sm5 – connaître les conditions d'utilisation d'une méthode de moindres carrés
--

(4) Les libellés ci-après sont accompagnés du code que nous avons utilisé pour l'analyse détaillée des fiches et que nous présentons dans la suite.

1.3. Un premier bilan d'analyse des fiches de travaux pratiques

Après cette première phase d'explicitation, nous avons utilisé cette liste comme grille d'analyse descriptive de fiches de travaux pratiques. Le codage a porté sur les consignes écrites : pour chaque terme clé de la consigne (un verbe en général), un code de savoir et/ou savoir-faire a été attribué. Ainsi, pour chaque fiche, l'analyse descriptive conduit à un profil (une séquence) de savoirs et savoir-faire "informatiques" (voir exemple dans tableau 2).

Tableau 2. Profil (séquence) descriptive d'une fiche de travaux pratiques sur l'étude énergétique d'une bobine

t2	sl1	i5	i5	i4	i4	i5	i4	i5	i3	i3	i3	sl7
----	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

un outil pour analyser les activités proposées en travaux pratiques

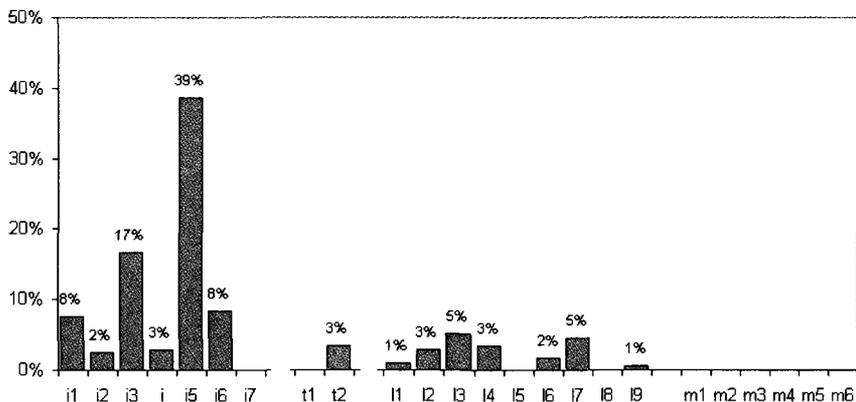
L'application aux vingt-deux fiches du corpus a permis de repérer le détail des savoirs et de comptabiliser les occurrences de chaque élément de la liste des savoir-faire.

Ainsi, pour ce qui concerne les savoirs, les consignes mettent bien évidemment en jeu tout un vocabulaire (codé sg1), dont une partie est constituée de termes "bureautiques" de base : "entrer", "valider", "sauver", "répertoire", "bandeau", etc. Une autre partie est constituée de termes plus "spécialisés" tels que "interface", "paramètre", "synchronisation", etc. Par ailleurs, dans un grand nombre de cas, le vocabulaire renvoie à l'utilisation d'un logiciel particulier (items sl1, sl6) et les consignes sont le plus souvent écrites avec des enrichissements (gras, majuscule, italique) et de façon à faire apparaître le nom de la commande à utiliser, par exemple : "définir une *Variable/Dérivée*", "dupliquer C1 en C3"...

Pour ce qui concerne les savoirs relatifs aux méthodes, quelques rares exemples supposent les élèves capables de paramétrer une acquisition, d'utiliser une dérivation numérique ou d'utiliser une modélisation "automatique". Mais pour autant, aucune question n'est envisagée sur la connaissance ou la compréhension des méthodes utilisées, ni même sur les raisons ou conditions de leur utilisation (5). Enfin, nous avons comptabilisé les différents savoir-faire rencontrés. Le bilan (voir figure 1) montre que les consignes de loin les plus courantes ne concernent que la sélection de commandes dans des menus et l'entrée de nombres dans des fenêtres de saisie (items i3 et i5) et qu'à l'opposé les savoir-faire relatifs à la mise en œuvre de méthodes ou de moyens scientifiques n'apparaissent jamais...

(5) Ni dans la fiche élève ni dans la fiche professeur, ni dans les généralités des ouvrages correspondants.

**Figure1. Taux de répartition des différents savoir-faire
(les pourcentages sont calculés par rapport au nombre total de
consignes ainsi codées qui s'élève à 463)**



1.4. Éléments de conclusion

Force est de constater que, par rapport aux déclarations générales sur l'intérêt des instruments informatisés qui, par le gain de temps sur les représentations et le traitement des données, permettraient de s'intéresser au dispositif expérimental, à la physique du phénomène, etc., les exemples de travaux pratiques qui ont été analysés sont pour l'essentiel à l'opposé.

une situation
paradoxe

L'appauvrissement des tâches confiées à l'élève est indiscutable : le graphique de répartition présenté plus haut montre à quel point les consignes limitent les savoir-faire. Ceci conduit d'ailleurs à une situation paradoxale : ainsi on estime manifestement que les élèves n'ont pas de connaissances particulières en "informatique", mais on utilise largement des termes comme "Copy A :/", "répertoire", "exporter", de même, parce que l'on considère que l'élève n'a rien à connaître en la matière (ou qu'il va apprendre facilement tout ce vocabulaire) on intègre dans la fiche de travaux pratiques des consignes d'entrée au clavier, de création de variable, de paramétrage de graphiques, de calcul de tangentes, etc. qui conduisent à une inflation considérable des "connaissances" !

Notre constat pourrait être la conséquence de la sélection de nos fiches qui, pour certaines, sont relatives à des logiciels un peu anciens et peu conviviaux. Mais le téléchargement de fiches mises à disposition des enseignants sur des sites académiques Internet ne nous a pas donné réellement de contre-exemple. Ce constat pourrait aussi être la conséquence d'une contrainte de diffusion vers un large public : en effet, afin d'être plus précis, plus explicite, la tendance a

peut-être été de rajouter aux fiches ainsi publiées des informations et des guidages supplémentaires, inexistantes dans la fiche originelle. Mais là encore, les observations de classe que nous avons pu effectuer montrent que l'absence de consigne écrite sur la fiche peut être compensée par un guidage oral constant en cours de séance. La raison qui nous paraît ressortir est que, dans tous les cas, les élèves sont considérés comme n'ayant aucune connaissance ou compétence relative à ces instruments informatisés.

On voit donc bien que cette situation relève parfaitement de notre problématique : parce que les savoirs et savoir-faire sont mal définis, parce qu'ils ne sont pris en charge par personne (et en particulier pas par l'enseignant de sciences physiques), on considère que l'élève n'a rien à savoir (ni à apprendre). On élabore alors des guidages qui ramènent finalement l'activité à un suivi de consignes élémentaires qui, non seulement évitent de savoir ce que l'on calcule, mais n'invitent pas les élèves à se poser des questions sur le phénomène étudié... Pour résoudre cette situation, il faut porter le regard au-delà. Au-delà du T.P. particulier avec tel logiciel pour voir la progression possible dans les utilisations au cours d'une année scolaire, voire un cycle d'enseignement ; au-delà aussi de la seule discipline sciences physiques qui ne peut ni rejeter tout sur un autre enseignement (d'informatique, par exemple), ni ignorer ce que les élèves peuvent apprendre au collège ou au lycée, en informatique, mathématique ou biologie...

l'importance
d'une
articulation
avec d'autres
disciplines

2. LES SAVOIRS ET SAVOIR-FAIRE "INFORMATIQUES" À ACQUÉRIR, À ÉVALUER

2.1. Une structuration interdisciplinaire

La mise à plat de tous les savoirs et savoir-faire "informatiques" mis en jeu dans les activités de travaux pratiques soulève immédiatement la question de leur appartenance à telle ou telle discipline d'enseignement. De plus, dans l'hypothèse où l'on aurait confié à d'autres disciplines l'enseignement de savoirs et savoir-faire de base requis pour une utilisation minimale des instruments informatisés, comment les sciences physiques prennent-elles en charge ce qui leur resterait dévolu ? Et plus précisément, quels sont les savoirs et savoir-faire que l'on est capable d'évaluer ? (6)

(6) Dans notre démarche d'analyse, la question de "l'enseignabilité" vient donc en dernière étape : quelle progression et quelles situations peut-on mettre en place pour un tel apprentissage. Un travail d'expérimentation a été mené dans ce sens, en parallèle avec l'analyse des travaux pratiques (voir Ducaté et Cazaux, 1998, Richoux et al., 1998).

Pour apporter des éléments de réponse à ces questions, nous proposons ici une structuration des savoirs et savoir-faire qui fait apparaître d'une part ce qui peut/doit être considéré comme requis pour une utilisation en classe de sciences des lycées, et d'autre part, ce qui peut/doit être considéré comme des savoirs et savoir-faire exigibles à l'issue d'une formation scientifique. Cette structuration est issue d'un double mouvement :

- une "induction" à partir des éléments d'analyse et de conclusion précédents ;
- une "réduction" après confrontation des propositions à la réalité du terrain (à l'occasion de devoirs surveillés ou par une expérimentation spécifique).

2.2. Une grille structurée

Ainsi que nous l'avons indiqué précédemment, un certain nombre de savoirs et de savoir-faire apparaissent clairement comme devant être considérés comme *requis*. Nous entendons par là, qu'en l'absence de ceux-ci, la conduite d'une activité scientifique est illusoire : les informations à donner alors ramènent la tâche des élèves à un suivi de consignes "surdétaillées" et uniquement techniques, effaçant du même coup la compréhension du dispositif expérimental, de la démarche, du phénomène et donc de la physique... Nous avons en fait été amenés à distinguer ce que nous avons appelé des *prérequis de niveau 1 et 2*. Les premiers à l'instar de "savoir calculer et utiliser une calculette", sont à faire acquérir aux élèves au plus tôt et dans d'autres enseignements que la physique, ce sont des savoir-faire tels que : savoir lancer un logiciel spécifié, savoir entrer un nombre, charger un fichier, renseigner une zone de saisie multiple, etc. Les seconds sont ceux qui concernent les logiciels utilisés en classe de science et sont donc utiles pour conduire à bien les activités scientifiques, mais dont l'acquisition, à l'évidence, ne peut pas être considérée comme indispensable. Il s'agit de connaissances du type : connaître la commande de paramétrage d'une acquisition de mesures, savoir obtenir une courbe à partir de l'expression mathématique d'une fonction, etc. (voir détail en annexe 1).

Il reste de nombreux savoirs et savoir-faire qui relèvent alors d'un enseignement de sciences physiques. Parmi ceux-ci, bien évidemment, on trouve (voir liste complète en annexe 1) :

- savoir reconnaître les différents éléments d'une chaîne de mesure informatisée ;
- savoir conduire/contrôler une acquisition semi-automatique ;
- savoir déterminer la précision de la mesure pour une quantification donnée ;
- savoir mettre en œuvre une méthode d'optimisation de modèle sur un ensemble de données pour déterminer des paramètres ;

des savoirs et savoir-faire qui relèvent d'un enseignement scientifique

- connaître le rôle d'une interface (convertisseur analogique numérique) : savoir que les mesures sont faites par échantillonnage et que les mesures sont quantifiées ;
- connaître le principe de la "dérivation numérique" ;
- connaître les conditions d'utilisation d'une méthode de moindres carrés (non pondérée, en particulier la régression linéaire).

Comme nous l'avons expliqué en introduction, une telle spécification des savoirs et savoir-faire ne peut s'envisager sans prendre en considération la question de "l'évaluabilité". En d'autres termes, ayant défini des savoirs et savoir-faire relatifs à l'utilisation d'instruments informatisés en sciences physiques en termes opérationnels, il restait à montrer d'une part, qu'il était possible de trouver des questions de physique et des activités permettant d'en évaluer le degré d'acquisition par les élèves et d'autre part, que les élèves sont capables d'atteindre un degré minimal pour un niveau d'enseignement donné (sections scientifiques des lycées, niveau supérieur).

2.3. La question de "l'évaluabilité"

Nous avons donc travaillé l'élaboration de situations (phénomène physique, moyens d'investigation, protocole et questions) conduisant à des questions explicitement reliées aux compétences sélectionnées, sous une forme telle que les actions de l'élève (actions sur le dispositif et réponses aux questions posées) permettent de décider si les connaissances attendues sont acquises ou non. Ces situations ont été proposées à des élèves ayant suivi un enseignement compatible (le phénomène a été effectivement étudié en cours d'année et ils ont eu l'occasion d'utiliser les instruments informatisés nécessaires). Il convient ici d'attirer l'attention sur le fait que nos essais et nos propositions ne visent pas la mise en place d'une évaluation des élèves. S'il y a évaluation, c'est celle de nos propositions : le fait de faire passer des élèves dans des situations particulièrement contrôlées (dans leur élaboration et leur réalisation) est bien le moyen de tester nos hypothèses et d'ajuster nos futures propositions.

Nous avons pu élaborer cinq sujets pour chacun des niveaux de Première et Terminale scientifiques. Le choix des situations et le libellé des textes fournis aux élèves se sont avérés difficiles. De plus, notre objectif d'évaluation bien ciblée, nous a conduits à une structure particulière dans laquelle le sujet est nécessairement conçu en deux parties fortement corrélées mais devant être traitées en deux temps séparés : une partie papier-crayon pour l'évaluation des savoirs, et une partie sur "paillasse" pour celle des savoir-faire correspondants. Ces sujets ont fait l'objet de séances type "travail en temps limité", soit avec des élèves volontaires venus travailler seuls, durant quarante cinq minutes, avec le maté-

des
compétences
observables,
des
connaissances
évaluables?

la nécessité
d'un
apprentissage
spécifique
des méthodes

riel mis à disposition, soit à l'occasion d'évaluation en classe entière (7).

L'observation des élèves a permis de vérifier leur maîtrise globale de l'outil informatique : aisance dans la manipulation du clavier, familiarité avec les commandes logicielles. Pour ce qui concerne la maîtrise des méthodes informatiques, la situation est plus variable. Si certains élèves connaissent la procédure de modélisation et exploitent de façon satisfaisante l'information obtenue après modélisation sur les coefficients et leurs incertitudes, d'autres achoppent à différentes étapes :

- la modélisation et les "valeurs initiales" ;
- la transcription des affichages en "notation satisfaisante pour le physicien" ;
- la non-détection de problèmes "majeurs" issus de calculs automatiques.

La variabilité des constats a, étant donné le petit nombre d'élèves observés, de nombreuses origines possibles : influence des sujets, influence de l'environnement pédagogique (pour certains élèves de Terminale l'utilisation de l'ordinateur au laboratoire a pu commencer dès la classe de Seconde) et bien évidemment dépendance directe des élèves eux-mêmes (8). Ce "résultat" nous conforte cependant dans notre point de vue : la maîtrise des instruments et méthodes informatisés ne va pas de soi et des apprentissages spécifiques sont nécessaires et n'apparaissent pas plus inaccessibles aux élèves que les connaissances "classiques" de physique et de chimie.

2.4. Des connaissances et compétences "exigibles" ?

À la suite de ces expérimentations, nous avons été amenés à hiérarchiser ces compétences en deux sous-niveaux : le premier contient les connaissances à évaluer en cours de formation, le second, celles que nous considérons importantes au point d'en faire des critères d'exigibilité dans l'hypothèse d'une évaluation sommative en fin de cycle terminal (voir annexe 1).

Ainsi notamment, à l'instar de savoir faire les branchements avec un multimètre, nous considérons qu'un élève sortant de Terminale scientifique devrait savoir faire la connexion sur une voie d'entrée spécifiée d'une interface. De même, s'il est censé savoir faire un goutte-à-goutte en pH-métrie, il devrait savoir conduire/contrôler une acqui-

(7) Réalisées dans les lycées Henri Wallon d'Aubervilliers et Marcel Pagnol d'Athis-Mons. Nous ne pouvons donner ici l'ensemble des sujets qui portent ainsi sur la mécanique, l'électricité, la chimie. Un exemple est donné en annexe 2. L'ensemble figure dans le rapport de recherche correspondant.

(8) Il faut noter ici que les volontaires ne sont pas nécessairement les "meilleurs" élèves du point de vue de la réussite scolaire.

sition semi-automatique (déclenchement, validation clavier, entrée de valeurs au clavier, etc.). De même, encore, si l'on attend d'un élève qu'il sache choisir un calibre ou une base de temps sur un oscilloscope, on peut demander qu'il sache paramétrer une acquisition automatique ou semi-automatique.

des savoirs et savoir-faire exigibles au titre d'une formation scientifique ?

Ces éléments, bien que liés à l'utilisation de l'ordinateur et d'une interface restent ici très proches des manipulations "classiques" et sont donc facilement envisageables. Mais il existe d'autres aspects tout aussi importants bien que plus "informatiques". Ainsi, il nous semble qu'étant donné son taux d'utilisation et son intérêt indiscuté dans les activités scientifiques, la modélisation/optimisation de modèle doit faire partie des outils qu'un élève doit acquérir. (Nos expérimentations nous ont toutefois amenés à rester modestes : nous n'avons retenu que "savoir utiliser une procédure/commande d'optimisation de modèle" et "connaître les conditions d'utilisation d'une méthode de moindres carrés"). Nous avons également mentionné à ce niveau le principe de la dérivation numérique, en raison cette fois des erreurs de compréhension que nous avons pu relever : il nous paraît en effet difficile de laisser planer une confusion entre numérique et analytique, entre méthode numérique et calcul formel, entre calcul approché et définition exacte.

EN CONCLUSION

un outil pour une étude diachronique

Le premier résultat de notre travail est la liste des savoirs et savoir-faire "informatiques" mis en jeu et souvent requis, pour une utilisation des instruments informatisés en classe de physique. Cette liste permet, du point de vue de l'investigation didactique, de construire une grille d'analyse descriptive des fiches de travaux pratiques. Les premières analyses que nous avons ainsi faites ont montré le faible niveau de connaissance et compétence attendu des élèves. Nous pensons que cet outil d'analyse, utilisé sur des corpus plus récents, permettra de repérer les évolutions qui nécessairement doivent se produire, du fait de l'évolution des matériels bien sûr, mais aussi du fait de l'évolution des idées et connaissances didactiques des enseignants (9).

le point de vue curriculaire

Par ailleurs, ce travail d'explicitation constitue une base pour une réflexion à visée curriculaire. Poursuivant dans cette voie, notre démarche nous a conduits à proposer un ensemble de savoirs et savoir-faire qui relèvent d'un enseignement de sciences. Ceci a alors deux conséquences : la

(9) Voir MENRT, 1999.

première est la nécessaire articulation avec d'autres disciplines comme les mathématiques ou l'informatique, et la seconde est la prise en charge, à la fois niveau de l'enseignement et au niveau de l'évaluation, des nouvelles connaissances et compétences attendues des élèves scientifiques.

Les expérimentations que nous avons menées nous ont permis d'ajuster les définitions des savoirs et savoir-faire que les élèves sont capables d'acquérir et que l'on peut inscrire comme "compétences exigibles ou en cours d'apprentissage", pour reprendre le libellé des programmes officiels. Bien évidemment, une évaluation sur un plus grand nombre d'élèves constituerait une meilleure validation de nos propositions, mais cela sous-entend que l'enseignement correspondant soit dispensé et que celui-ci soit équivalent d'une classe à l'autre. La première étape est donc bien de s'accorder sur les objectifs d'acquisition.

Daniel BEAUFILS
IUFM de l'Académie de Versailles

Hélène RICHOUX
INRP – TECNE, Montrouge

Chantal CAMGUILHEM
Lycée Henri Wallon, Aubervilliers

BIBLIOGRAPHIE

BEAUFILS, D. (1992). Construction d'activités scientifiques en classe de lycée : à propos de l'ordinateur outil de laboratoire. In *Actes du colloque Recherches en didactiques des disciplines : contribution à la formation des maîtres*. Paris : INRP, 183-199.

BEAUFILS, D., RICHOUX, H. (1996). *Intégration de l'ordinateur outil d'investigation scientifique dans l'enseignement des sciences physiques au lycée, Documents et travaux de recherche en éducation, n° 20*. Paris : INRP, 136 p.

BEAUFILS, D., RICHOUX, H., CAMGUILHEM, C. (1998). *Les savoirs et savoir-faire "informatiques" mis en œuvre dans des activités scientifiques utilisant des instruments informatisés (sciences physiques), Rapport de recherche interne Inrp-Tecne*. Paris : INRP, 112 p.

BEAUFILS, D., SCHWOB, M. (Éds.) (1997). *Outils informatiques d'investigation scientifique dans l'enseignement des sciences physiques, Actes de l'Université d'été (Nantes, 1995)*. Paris : INRP-UdP, 272 p.

DUCATÉ, A., CAZAUX, B. (1998). Méthodes numériques et incertitudes en terminale scientifique : articulation entre mathématiques et physique. In *Actes des 8^{es} Journées nationales Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*. Paris : UdP-INRP, 109-114.

IGEN, Groupe de physique-chimie (1997). *Évaluation des capacités expérimentales des élèves de Terminale S en physique-chimie*.

MENRT. *Activités expérimentales des élèves en physique-chimie, quels enjeux d'apprentissages ?* Caen : CRDP de Basse Normandie, 140 p.

RICHOUX, H., BEAUFILS, D., CAMGUILHEM, C., FONDÈRE, F. (1998). Évaluation des savoirs et savoir-faire associés à l'utilisation de moyens informatisés dans les classes scientifiques du lycée. In *Actes des 8^{es} Journées nationales Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*. Paris : UdP-INRP, 151-156.

UNION DES PHYSICIENS (1990). *Acquisition et analyse de données*. Paris : UdP.

UNION DES PHYSICIENS (1994). *Une première expérience d'évaluation de la pratique expérimentale en Terminale scientifique*. Paris : UdP.

UNION DES PHYSICIENS (1995). Éléments d'une formation des maîtres à l'utilisation de moyens informatisés dans l'enseignement des sciences physiques ; proposition de l'Union des Physiciens. *BUP*, 778, 21-31.

ANNEXE 1 LISTE (HIÉRARCHISÉE) DES SAVOIRS ET SAVOIR-FAIRE

LES SAVOIRS

		À acquérir en physique-chimie	
Pré-requis niveau 1	Pré-requis niveau 2	Évaluation en formation	Évaluation sommative
<ul style="list-style-type: none"> • sg1 – connaître des termes de vocabulaire général... • sg2 – connaître des termes de vocabulaire spécifique... • sg3 – connaître l'existence de paramètres de représentation graphique... 	<ul style="list-style-type: none"> • sl1 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) de paramétrage d'une acquisition de mesures • sl2 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) de lancement/exécution d'une acquisition • sl3 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) permettant le calcul et la représentation d'un tableau de valeurs • sl4 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) d'obtention/configuration de représentation graphique • sl5 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) de tracé de courbes mathématiques (par fonction ou équation) • sl6 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) permettant l'optimisation de modèle • sl7 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) d'une fonctionnalité ou d'un traitement spécifique • sl8 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) de paramétrage et exécution d'une résolution numérique d'équation différentielle 	<ul style="list-style-type: none"> • sm1 – connaître le rôle d'une interface en tant que convertisseur analogique numérique : savoir que les mesures sont faites par échantillonnage dans le temps et que les valeurs mesurées sont quantifiées (paliers de valeurs) • sm4 – connaître le principe d'une méthode de moindres carrés (non pondérée, telle la régression linéaire) • sm6 – connaître le principe de résolution numérique d'une équation différentielle du premier ordre (calcul approché par accroissement fini) 	<ul style="list-style-type: none"> • sm2 – connaître l'existence de paramètres d'acquisition : durée, intervalle de temps, nombre de points, mode de déclenchement • sm3 – connaître le principe de la "dérivation numérique" • sm5 – connaître les conditions d'utilisation d'une méthode de moindres carrés (non pondérée, en particulier la régression linéaire)

LES SAVOIR-FAIRE

		À acquérir en physique-chimie	
Pré-requis niveau 1	Pré-requis niveau 2	Évaluation en formation	Évaluation sommative
<ul style="list-style-type: none"> • i1 – savoir mettre en route l'ordinateur, l'imprimante... • i2 – savoir lancer/ quitter un logiciel spécifié (dans un environnement connu) • i3 – savoir entrer un nombre, une lettre, un mot dans une zone spécifiée... • i4 – savoir charger un fichier spécifié ou sauvegarder des résultats... • i5 – savoir se déplacer dans un menu de commandes, valider une commande • i6 – savoir renseigner une zone de saisie multiple • i7 – savoir utiliser un environnement Windows • i2 – savoir entrer une expression définie par une fonction mathématique et/ou des opérations arithmétiques • i3 – savoir définir de nouvelles colonnes dans un tableur ou un logiciel équivalent donné • i4 – savoir obtenir une représentation graphique spécifiée à partir d'un tableau de valeurs (pour un logiciel donné) 	<ul style="list-style-type: none"> • 17 – savoir utiliser un pointeur pour obtenir les coordonnées d'un point spécifique d'un graphique • 15 – savoir obtenir une courbe (graphique) à partir de l'expression mathématique d'une fonction donnée (pour un logiciel donné) ; (second ordre) • 19 – savoir utiliser une fonctionnalité spécifique 	<ul style="list-style-type: none"> • t1 – savoir reconnaître les différents éléments d'une chaîne de mesure informatisée • 18 – savoir utiliser une procédure/ commande de résolution numérique d'équation différentielle (entrée de l'expression du second membre et des valeurs "initiales", etc.) • m1 – savoir déterminer la précision de la mesure pour une quantification donnée et un calibre donné • m4 – savoir mettre en œuvre la régression linéaire sur un ensemble de données pour déterminer les valeurs des paramètres • m5 – savoir mettre en œuvre une méthode d'optimisation de modèle sur un ensemble de données pour déterminer des paramètres • m6 – savoir mettre en œuvre une méthode de résolution numérique d'équation différentielle 	<ul style="list-style-type: none"> • t2 – savoir faire la connexion sur une voie d'entrée spécifiée d'une interface ou sélectionner le calibre d'entrée spécifié de l'interface (ou de l'adaptateur de l'interface) • 11 – savoir conduire/contrôler une acquisition semi-automatique (déclenchement, validation clavier, entrée de valeurs au clavier, etc.) • l6 – savoir utiliser une procédure/ commande d'optimisation de modèle (entrer la fonction, sélectionner les bornes, lancer l'exécution, vérifier l'adéquation, réécrire les affichages, etc.) • m2 – savoir déterminer les paramètres d'une acquisition automatique ou semi-automatique • m3 – savoir utiliser une méthode de dérivation numérique ou d'intégration numérique (pour calculer une grandeur)

ANNEXE 2

UN SUJET DE NIVEAU TERMINALE S

(LE RÉGIME TRANSITOIRE DANS UN CIRCUIT R, L)

Nous présentons ici des extraits d'un sujet portant sur le régime transitoire dans un circuit R, L. Parmi les savoirs et savoir-faire que nous avons considérés comme "raisonnablement exigibles", ceux que nous avons visés à travers ce sujet sont les suivants :

- savoir faire la connexion sur une voie d'entrée spécifiée d'une interface ;
- connaître l'existence de paramétrages d'acquisition : durée, intervalle de temps, nombre de points, mode de déclenchement ;
- savoir paramétrer une acquisition automatique ;
- savoir utiliser une procédure/commande d'optimisation de modèles ;
- connaître les conditions d'utilisation d'une méthode des moindres carrés.

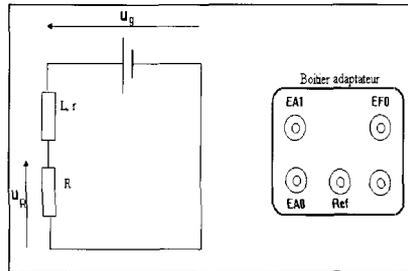
Première partie : évaluation de connaissances de savoir-faire

Dans cette partie les questions portent sur le principe de la mesure et sur les méthodes de modélisation. Par exemple :

Dans le travail expérimental qui vous sera donné ensuite, on demandera d'étudier les variations de l'intensité et de la tension u_b aux bornes d'une bobine, au cours de l'établissement d'un courant.

Pour cela on utilisera le circuit ci-contre.

Représenter sur le schéma les connexions à réaliser pour mesurer u_R sur EA0 et u_g sur EA1.



Dans le circuit donné, comment peut-on, à partir des mesures de u_g et u_R :

- a) obtenir la valeur de l'intensité qui le traverse ?
- b) obtenir la valeur de la tension u_b ?

On demandera de représenter des résultats expérimentaux par une fonction du type :

$$i = a \cdot (1 - \exp(-k \cdot t))$$

Le logiciel permet de calculer les valeurs des paramètres a et k de façon à approcher au mieux les points expérimentaux. Ci-dessous, un exemple de résultat de l'optimisation logicielle :

$$a = 72.514 \text{ m} \pm 190 \mu \qquad k = 121.07 \text{ m}^{-1} \cdot 30$$

$$\text{Écart relatif sur } i = 0.68 \%$$

Quelles sont les valeurs que l'on déduit pour les grandeurs a et k ?

On peut noter que, dans la dernière question, on attend que l'élève soit capable de présenter les résultats de a et k avec les unités et avec une écriture scientifique comportant un nombre de chiffres significatifs qui tienne compte de l'incertitude affichée.

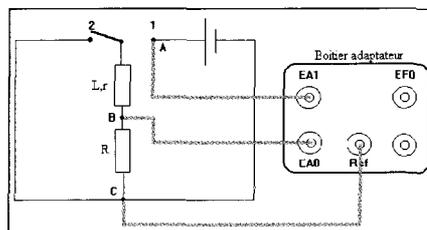
Deuxième partie : évaluation des savoir-manipuler

Dans la seconde partie, il s'agit pour l'élève de montrer ce qu'il sait faire : réaliser le circuit, effectuer les mesures, etc. Les consignes sont notamment :

Réaliser le montage correspondant au schéma ci-contre.

Régler les composants et calibres.

Réaliser une ou plusieurs acquisitions en choisissant les paramètres de façon à pouvoir faire apparaître la phase transitoire et le régime permanent.



Définir la variable $i = u_R/30$

Obtenir la représentation de $i(t)$.

Décrire et expliquer l'allure de $i(t)$.

On propose pour $i(t)$ le modèle suivant : $i = a(1 - \exp(-k.t))$

Donner ci-dessous les valeurs de a et k en utilisant le bon nombre de chiffres significatifs et en précisant les unités.

Quelles sont les conditions requises pour utiliser la méthode d'optimisation ci-dessus ? Sont-elles à votre avis vérifiées ici ?

Que représente a dans le phénomène étudié ? Quelle est son expression en fonction des grandeurs qui caractérisent le circuit ?

Le résultat est-il en accord avec les valeurs indiquées pour le montage ?

En correspondance avec la remarque précédente, on peut noter que, cette fois, la consigne pour l'écriture des résultats de a et k est explicite.

Extrait de la grille d'observation

I. PRÉPARATION

Les élèves choisissent-ils les bonnes voies dans le menu?	oui	non
Cherchent-ils à étalonner?	oui	non
Règlent-ils la durée et le nombre de points?	oui	non

II. MESURES

Vérifient-ils la bonne synchronisation?	oui	non
Discutent-ils la qualité de l'enregistrement?	oui	non
Ont-ils refait l'acquisition pour obtenir un résultat meilleur?	oui	non
Ont-ils su valider Fin pour garder les mesures?	oui	non

III. ANALYSE

Savent-ils définir i par Variable/ Nouvelle/ Fonction	oui	non
Savent-ils définir la variable dérivée?	oui	non
Utilisent-ils la commande Modélisation?	oui	non
Font-ils une sélection raisonnée de points?	oui	non
Entrent-ils bien l'expression littérale?	oui	non

APPRENTISSAGES DE SCHÈMES D'USAGE ET DE SCHÈMES D'ACTION INSTRUMENTÉE ; COMPARAISON DE POPULATIONS D'ÉTUDIANTS ET DE TYPE DE MÉDIATION

Yves Cartonnet

Nous présentons l'évaluation formative de séances de travaux pratiques de Technologie-Mécanique en licence, dans le département de Génie mécanique, à l'École Normale Supérieure de Cachan. Les étudiants, issus à parité de DEUG ou de CPGE, avaient accès aux modes d'emploi soit par un ordinateur et un logiciel multimédia, soit par un photocopie similaire, avec photos. L'évaluation, par observation vidéo systématique et par post-test, avait pour but d'identifier les apports et les difficultés liés à cet accès médiatisé par l'ordinateur à l'information. Elle portait sur la maîtrise du fonctionnement d'un appareil de mesure. Quatre résultats sont observables : les acquis préalables des deux populations d'étudiants en micro-informatique sont similaires ; les performances par binôme ne sont pas influencées globalement par le type - ordinateur ou photocopie - d'accès aux modes d'emploi ; par contre les deux populations obtiennent des scores inverses selon l'utilisation de tel ou tel mode d'accès, le multimédia handicape les DEUG et favorise les CPGE ; enfin, l'accès instrumenté ou non modifie le poste de travail de T.P., influence les communications entre les étudiants et donc les apprentissages de chacun.

1. POURQUOI S'INTÉRESSER AUX AIDES MULTIMÉDIA EN T.P. ?

L'évolution des structures d'enseignement en Sciences et Techniques Industrielles et l'évolution des pratiques industrielles nous ont poussé à effectuer ce travail.

En effet, en premier lieu, depuis 1987, les réformes des filières Sciences et Techniques Industrielles (STI) donnent un horaire prépondérant, au moins 50 %, aux T.P. Il s'agit d'un glissement de ces enseignements de l'atelier vers le laboratoire. Y. Legoux [1972] a montré que ce phénomène est apparu dès les années 1960. Les enseignants de STI doivent donc enseigner l'utilisation des appareils de mesure pour analyser le fonctionnement des machines existantes. Cela constitue une étape préalable à la conception de machines nouvelles. Et souvent l'enseignant est seul pour gérer une séance au cours de laquelle jusqu'à douze groupes d'élèves travaillent sur des T.P. parfois tous différents.

Par ailleurs, les évolutions des pratiques industrielles, leur informatisation imposent la généralisation de la Conception

les réformes
de l'éducation
imposent les T.P.

l'évolution
des pratiques
professionnelles
impose
l'ordinateur
multimédia

Assistée par Ordinateur (CAO). Par conséquent, les enseignants de STI doivent apprendre le maniement des ordinateurs et des logiciels de CAO, à leurs élèves. En effet, avec l'introduction de l'informatique dans les services techniques, l'accès aux documents passe maintenant largement par l'ordinateur. Et "la CAO demande des capacités de conducteur de machine, et impose les opérations correspondantes en plus des tâches habituelles du projeteur", [Poitou, 1989, p. 142]. Voilà donc le concepteur au prise avec une médiation par un dispositif constitué de matériel, boutons et écrans, et de logiciels avec leurs fonctionnalités et leurs interfaces.

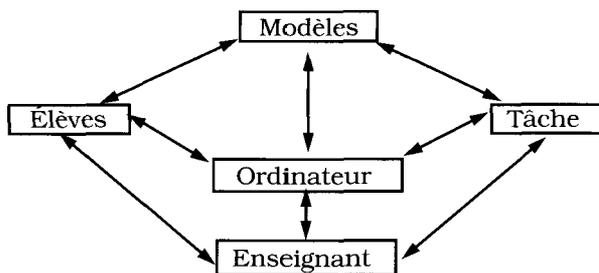
L'étudiant, pour être un concepteur, doit connaître l'existant technique. Les T.P. ont cet objectif de lui faire analyser des machines industrielles. Dans les pratiques industrielles similaires, de maintenance par exemple, l'accès à la documentation est également informatisé. Les dépanneurs consultent les schémas et plans, des photocopieurs par exemple, sur leur ordinateur portable.

Nous avons donc voulu étudier, d'une part, les conséquences de l'introduction massive des activités de T.P. pour les élèves, et d'autre part, de l'informatisation des pratiques industrielles et précisément les apports ou difficultés éventuellement liés à une présentation multimédia des modes d'emploi en T.P. En particulier, est-ce une aide pour la gestion des débuts de séances de T.P., moment où il faudrait expliquer les fonctionnements d'appareils différents, à tous les étudiants en même temps ? Et existe-il des difficultés éventuelles liées à l'utilisation d'un ordinateur pour accéder aux documents multimédia de mode d'emploi ?

2. QUESTIONS DE RECHERCHE

On peut donc, maintenant, caractériser les situations d'enseignement en STI par le schéma suivant :

Document 1. Caractérisation des situations d'enseignement en T.P., en STI



Le groupement élèves-modèle-ordinateur-tâche se répète avec le nombre de groupes de T.P. que l'enseignant doit encadrer.

l'ordinateur
médiatise
systématiquement
la relation de
l'élève à sa tâche

On constate donc que les dispositifs matériels, et l'ordinateur en particulier, sont des médiateurs obligés dans les situations d'enseignement actuelles en Sciences et Techniques Industrielles. Nous nous occuperons ici, uniquement de cet aspect de la situation d'enseignement décrite ci-dessus. C'est donc l'accès, médiatisé par un ordinateur ou non, aux documents auquel nous nous intéressons.

Médiateur est souvent synonyme de facilitateur. Mais on parle aussi de relation médiate, chère à Bachelard [1938, p. 23] car opposée à immédiate, celle entre le médecin et le patient par le stéthoscope, par exemple. Et l'interposition du médiateur peut alors ne pas être exempte de difficulté pour le sujet. Le but de ce travail est donc d'évaluer expérimentalement la qualité de l'apprentissage de l'utilisation des appareils de mesure associés, avec accès médiatisé par ordinateur ou non, et d'en comprendre les difficultés.

L'expérimentation a eu lieu auprès d'étudiants de licence de Technologie-Mécanique, au département de Génie mécanique, à l'E.N.S. de Cachan, en travaux pratiques (T.P.) de technologie. Le premier contenu d'enseignement visé dans ce T.P. est la maîtrise de l'utilisation du banc d'essai et des appareils de mesure. Il est très important car il conditionne la suite des apprentissages visés dans le T.P. : objectivation et modélisation, maîtrise des algorithmes de dimensionnement en bureau d'études mécaniques.

3. CADRE DE RÉFÉRENCE : ACQUIS SUR L'INSTRUMENTATION

La maîtrise de l'utilisation des appareils de mesure, bien que préalable aux autres apprentissages, a peu été étudiée en didactique. Par contre, en psychologie cognitive et du travail, un cadre d'analyse de l'utilisation des machines a été développé. Nous allons voir comment nous pouvons l'utiliser pour cerner les obstacles liés aux ordinateurs et aux logiciels en T.P.

maîtriser
un appareil ?
son fonctionnement
ou
son utilisation ?

Deux auteurs [Bisseret et Enard, 1969] ont comparé différentes façons de présenter les appareils de leur poste de travail à de futurs contrôleurs aériens : soit selon une logique de construction, soit selon une logique d'utilisation. J.-F. Richard [1983] a repris ces travaux et conclu qu'une présentation selon une logique de fonctionnement, apporte une aide limitée pour l'utilisation d'un appareil.

Par ailleurs, P. Vermersch [1976] a étudié l'acquisition de la maîtrise de l'oscilloscope. Et il a montré qu'avec une présentation complète du fonctionnement, les sujets n'arrivent initialement pas à régler l'appareil.

Dans cette lignée, nous concevons la maîtrise des modes opératoires à partir de la notion d'instrument que définit Pierre Rabardel [1995]. Cet auteur propose de "considérer

deux niveaux de maîtrise de l'utilisation : l'élaboration de schèmes d'usage ou de schèmes d'action instrumentée

quelle influence du type d'accès aux modes d'emploi sur la maîtrise des appareils ?

l'instrument comme une entité mixte qui tient à la fois du sujet et de l'artefact [par exemple, l'ordinateur multimédia ou l'appareil de mesure]. L'instrument comprend dans cette perspective : un dispositif matériel ou symbolique [...] ; un ou des schèmes d'utilisation résultant d'une construction propre ou de l'appropriation de schèmes sociaux préexistants." (op. cit., p. 11). Deux types de schèmes sont à construire. Les schèmes d'usage et les schèmes d'actions instrumentées. Les schèmes d'usage sont relatifs aux tâches secondes, " *c'est-à-dire celles relatives à la gestion des caractéristiques et propriétés particulières de l'artefact, [...], par exemple, les schèmes d'utilisation élémentaires de manipulation du bouton de commande*" (op. cit., p. 113). Les schèmes d'action instrumentée incorporent les schèmes d'usage et sont relatifs aux tâches premières, c'est-à-dire aux tâches qui sont " *principales, orientées vers l'objet de l'activité, et pour lesquelles l'artefact est un moyen de réalisation*" (op. cit., p. 114).

Maîtriser les modes opératoires signifie donc pour nous, avoir construit les schèmes d'usage et les schèmes d'action instrumentée pour les différents appareils à utiliser en T.P. Nous avons étudié l'effet de deux facteurs sur l'apprentissage évalué.

– Un premier facteur est l'accès aux documents par une machine ou non. Le support du mode d'emploi est donc soit un ordinateur, soit un polycopié. Face au développement des aides multimédias, nous avons voulu évaluer leur impact sur cette nécessité pour l'utilisateur d'utiliser un ordinateur. Est-ce que l'utilisation d'un mode d'emploi multimédia sur ordinateur est plus difficile à utiliser qu'un mode d'emploi identique sur support papier avec des photos en couleur ? Notre hypothèse est que l'ordinateur obligera à l'élaboration des schèmes d'utilisation et rendra l'apprentissage de l'utilisation des dispositifs de mesure plus difficile. Nous avons conçu le logiciel multimédia pour une présentation selon une logique d'utilisation des appareils à utiliser pendant le T.P.

– Le deuxième facteur est l'origine scolaire récente des étudiants. La moitié de la centaine d'étudiants de licence concernés est issue de premier cycle universitaire, détenteurs du DEUG, l'autre moitié de Classes Préparatoires aux Grandes Écoles (CPGE), ayant réussi le concours d'entrée à l'ENS de Cachan. On s'attend traditionnellement à des différences entre de telles populations. Peut-on garder cet *a priori*, et si oui, sur quels acquis précisément ?

4. MÉTHODOLOGIE

Nous présentons ici la façon dont nous avons préparé les séances de T.P. : les tâches, l'accès au mode d'emploi, la

répartition des étudiants par groupes et les interventions de l'enseignant. Le but est de recueillir les données qui devraient nous permettre de préciser les acquis des étudiants en ce qui concerne leur construction intellectuelle des schèmes d'usages et des schèmes d'action instrumentée.

4.1. Les tâches

Trois séries de tâches ont été proposées aux étudiants.

une tâche
préalable :
utiliser
les appareils
de mesure

Pendant le T.P., comme on l'a vu dans le contenu d'enseignement, ils devaient utiliser les appareils et planifier une expérimentation pour obtenir les courbes phénoménologiques relatives au frottement de glissement entre des matériaux utilisés dans des machines comme les freins, les embrayages, les guidages, les cames. Ils devaient ensuite, à partir de ces courbes, résoudre deux problèmes techniques de vérification d'un dimensionnement.

À la fin du cycle de T.P., qui dure deux mois, les étudiants passent un examen de T.P. Il comporte trois types de questions : sur les fonctions des boutons des appareils montrés en photographie ; sur les ordres de grandeurs obtenus pendant les T.P. ; sur la résolution algorithmique de problèmes techniques de dimensionnement d'un embrayage et d'un arbre à came.

Enfin, cinq mois après l'examen de T.P., nous avons fait passer un test individuellement à chaque étudiant. Il s'agissait de régler et d'utiliser une chaîne de mesure d'effort pour mesurer le poids d'un cylindre d'acier. Les composants de la chaîne de mesure étaient ceux utilisés pendant le T.P. Mais pendant le T.P., cette chaîne mesurait un effort de frottement au lieu d'un effort de pesanteur.

4.2. Les accès aux modes d'emploi

L'accès aux modes d'emploi du banc d'essai et des différents appareils de mesure se fait de deux façons, médiatisé par un ordinateur ou non.

ordinateur
multimédia...

Nous avons utilisé, d'une part, un logiciel d'Assistance MultiMédia Interactives (AMMI), développé en projet avec des étudiants de licence. Le premier écran (voir en annexe) présente des cadres indiquant la succession des actions à effectuer pour réaliser une mesure. Seule la première action est décrite, pour accéder à la suite il faut cliquer sur un bouton "*suite de la démonstration*". L'utilisateur peut obtenir des explications supplémentaires relatives à la mise en œuvre de chaque action en cliquant sur un autre bouton "*plus d'informations*".

...ou livre
à renvois

D'autre part, nous avons rédigé un cahier de T.P. concernant uniquement le fonctionnement de la machine de T.P. et des appareils de mesure. Nous avons fourni ces informations sous forme procédurale, exactement sur le modèle des

écrans de l'AMMI. Seulement, au lieu d'accéder aux "hyperpages" par un "clic" on indique pour chaque action, " pour plus d'information aller page numéro tant".

Les étudiants disposent d'un deuxième document (le cahier de T.P.) qui rappelle le problème technique à résoudre et fournit des renseignements pratiques, comme des courbes d'étalonnage.

4.3. Les populations

cohabitation
d'étudiants
issus des
deux premiers
cycles
universitaires
français

Comme nous l'avons dit plus haut les étudiants sont issus de deux origines scolaires : soit ils ont un DEUG et sont étudiants de l'Université Paris VI ; soit ils ont réussi le concours d'entrée après leur CPGE et sont élèves de l'École Normale Supérieure (ENS) de Cachan. Ils préparent tous une licence de Technologie-Mécanique.

Nous avons réparti aléatoirement les étudiants selon les deux modalités d'accès au mode d'emploi. Mais chaque sous-groupe par modalité contient le même nombre d'étudiants d'une même origine scolaire. Les binômes ou trinômes d'étudiants ont été constitués par affinité.

Nous avons voulu connaître le niveau d'"alphabétisation informatique" des étudiants de chaque population, en faisant passer individuellement un questionnaire aux étudiants.

peu de
différence
sur les acquis
en micro-
informatique

On constate que le taux d'utilisation des micro-ordinateurs n'est pas très éloigné entre les deux populations et que les prescriptions officielles d'ExAO n'ont été vécues et retenues que par 12 % des étudiants issus de CPGE (voir ci-contre document 2).

4.4. Le scénario d'intervention de l'enseignant

Nous avons un seul protocole d'enseignement pour les deux situations expérimentales (accès au mode d'emploi par l'ordinateur ou par le photocopie). Tout d'abord, l'enseignant explique le but du T.P. : obtenir les lois de variation du coefficient de frottement de glissement en fonction de l'effort normal et de la vitesse de glissement pour différents échantillons de matériaux. Ensuite, il expose les problèmes techniques que ces connaissances permettent de résoudre et qui seront à résoudre. Enfin, il signale qu'une aide – soit l'Assistance MultiMédia Interactive (AMMI), soit le photocopie – permet d'apprendre à faire fonctionner les appareils. Il s'éloigne en disant qu'il "lance" le travail des autres groupes et qu'ensuite il reviendra. Il revient au bout de cinquante minutes, comptées depuis le début de la séance.

4.5. Méthodes d'observation et d'analyse

observation
vidéo
systématique

Nous avons filmé en vidéo les 18 séances de T.P. de trois heures in extenso. Le caméscope était monté sur un pied fixe pendant toute la durée du T.P. Les étudiants étaient deux ou trois par poste de travail. La caméra était installée

de telle sorte que son "champ visuel" couvre en permanence la zone de travail.

Document 2. Résultats d'un questionnaire sur les acquis des étudiants en micro-informatique

ÉTUDIANTS ISSUS DE DEUG		ÉTUDIANTS ISSUS DE CPGE	
41 sujets		36 sujets	
ayant déjà fait un T.P. de frottement 4,9 %	n'ayant pas fait de T.P. de frottement 95,1 %	ayant déjà fait un T.P. de frottement 0 %	n'ayant pas fait de T.P. de frottement 100 %
ayant un micro-ordinateur chez eux 65,85 %	n'ayant pas de micro-ordinateur chez eux 34,15 %	ayant un micro-ordinateur chez eux 44,4 %	n'ayant pas de micro-ordinateur chez eux 55,6 %
ont utilisé un micro-ordinateur pendant leurs études 87,8 %	n'ont pas utilisé un micro-ordinateur pendant leurs études 13,2 %	ont utilisé un micro-ordinateur pendant leurs études 94,4 %	n'ont pas utilisé un micro-ordinateur pendant leurs études 5,6 %
Type de logiciels : jeux : 22 % math : 3 % multimédia : 15 % bureautique : 15 % DAO/CAO : 9 % programmation : 23 % physique ExAO : 0 %		Type de logiciels : jeux : 13 % math : 13 % multimédia : 6 % bureautique : 14 % DAO/CAO : 20 % programmation : 22 % physique ExAO : 12 %	
ont un e-mail 85,4 % (il suffit de le demander)	n'ont pas de e-mail 14,6 %	ont un e-mail 100 %	n'ont pas de e-mail 0 %
ont utilisé Internet 92,7 %	n'ont pas utilisé Internet 7,3 %	ont utilisé Internet 97,2 %	n'ont pas utilisé Internet 2,8 %

et
dépouillement
par
actigramme

Ensuite, pour établir l'actigramme de chaque vidéo [Cartonnet, Durey, 1996], nous portons en ordonnée les types d'activités (prise d'information, discussion entre étudiants, appel à l'enseignant, discussion avec l'enseignant, action sur le matériel) repérées par le dépouillement d'une première cassette vidéo. Puis, le temps étant en abscisse, nous traçons un segment en face de l'activité concernée, dont la longueur est proportionnelle à la durée de l'activité. Comme les étudiants étaient plusieurs par groupe, parfois ils agissaient simultanément. Nous avons pris le principe de noter l'activité

qui concernait l'avancement du travail expérimental, en particulier de la prise de mesure. Dans les cas, rares, où deux étudiants agissaient dans ce sens simultanément, nous notions les deux activités sur l'actigramme.

Comment interpréter ce recueil de données relativement à l'élaboration des schèmes d'usage et des schèmes d'action instrumentée ?

deux phases
de tests
des capacités
des étudiants

Résumons les données recueillies. Nous avons distingué deux moments de recueil de données : pendant la séance de T.P. et cinq mois après l'examen, lors d'un post-test. Les tâches ont été données à effectuer : soit à des groupes de deux ou trois étudiants, pendant la séance de T.P., soit à chaque étudiant, seul, pendant le post-test.

L'élaboration des schèmes d'usage sera évaluée, pour les groupes, par la mesure du nombre de mesures correctes réalisées pendant le T.P., et les difficultés d'élaboration par le nombre de questions posées à l'enseignant à propos du matériel. Individuellement, la performance réalisée lors du post-test (voir 4.1) – ne rien faire ou réaliser une mesure incorrecte – a également été retenue comme descripteur d'un manque d'élaboration des schèmes d'usage.

Le descripteur de l'élaboration des schèmes d'action instrumentée est la capacité à réutiliser un des appareils de mesure dans un contexte différent de celui de l'apprentissage, lors du post-test, cinq mois après la formation.

Document 3. Descripteurs observés pour évaluer la construction des schèmes d'usage, et d'action instrumentée par les étudiants, et les difficultés à cette construction

Moment \ Acquis visés	Pendant la séance de T.P.	Pendant le post-test, cinq mois après l'examen
Schèmes d'usage	– nombre de mesures effectuées – nombre de requêtes auprès de l'enseignant	– nombre d'étudiants ne sachant rien faire – nombre d'étudiants ayant su faire une mesure mais de valeur incorrecte
Schème d'action instrumentée		– nombre d'étudiants ayant su faire une mesure et de valeur correcte

5. RÉSULTATS

Le travail expérimental présenté maintenant a été réalisé avec l'aide de Pierre-Emmanuel Vinand [1997].

5.1. Élaboration des schèmes d'usage

• Conduite des groupes pendant les séances de T.P.

Nous nous intéressons ici aux résultats obtenus par les binômes, ou trinômes, d'étudiants, formant un groupe de travail sur le poste de T.P.

Variation du nombre de mesures

Nous avons retenu le nombre de mesures réalisées comme descripteur de l'élaboration des schèmes d'usage. Nous avons donc compté le nombre de mesures correctes réalisées par chaque groupe de T.P. (2 ou 3 étudiants dans un groupe) au bout de deux heures de T.P. et au bout de trois heures, durée de la séance de T.P.

Au bout de deux heures, on constate que les étudiants issus de CPGE ont des scores doubles de ceux obtenus par les étudiants de DEUG et que par contre, l'accès, médiatisé ou non par ordinateur, ne modifie pas le nombre de mesure, réalisées (cf. tableau 1).

Tableau 1. Moyenne des nombres de mesures obtenus par groupe au bout de deux heures

	Étudiants issus de DEUG	Étudiants issus de CPGE	Moyenne
Mode d'emploi multimédia	13	20	17
Mode d'emploi photocopié	10	26	19
Moyenne	11,5	23	

différences dues aux populations, pas aux modes d'accès aux modes d'emploi

Au bout de trois heures, on observe encore une différence importante liée aux origines des deux populations d'étudiants. Ceux issus de DEUG réalisent 26 mesures contre 49 pour ceux issus de CPGE. Le mode d'accès aux modes d'emploi ne différencie pas beaucoup, comme précédemment, le nombre de mesures : 32 mesures avec une médiation par l'ordinateur contre 45 sans (cf. tableau 2).

Tableau 2. Moyenne des nombres de mesures obtenus par groupe au bout de trois heures

	Étudiants issus de DEUG	Étudiants issus de CPGE	Moyenne
Mode d'emploi multimédia	26,5	37,6	32,6
Mode d'emploi photocopié	26,2	60,2	45,1
Moyenne	26,4	48,9	38,9

Variation du nombre des requêtes à l'enseignant au cours du déroulement de la séance

Nous avons retenu le nombre de requêtes comme descripteur des difficultés à élaborer des schèmes d'usage. Nous avons compté le nombre de requêtes que les étudiants ont adressées à l'enseignant au sujet du fonctionnement du matériel.

deux fois plus de questions à l'enseignant selon les populations

Les étudiants de DEUG appellent deux fois plus l'enseignant. Ils formulent 5,6 requêtes alors que ceux de CPGE en formulent 3,2, après les cinquante premières minutes (cf. tableau 3).

Tableau 3. Moyenne des nombres de requêtes des étudiants, par groupe, à l'enseignant relativement au matériel

	Étudiants issus de DEUG	Étudiants issus de CPGE	Moyenne
Mode d'emploi multimédia	6	3	4,5
Mode d'emploi photocopié	5,3	3,4	4,2
Moyenne	5,6	3,2	4,3

Nous présentons ici les résultats en distinguant le moment auquel les requêtes ont eu lieu, avant de mesurer ou pendant les mesures, afin de mettre à jour d'éventuelles différences de comportement vis-à-vis du matériel, entre les deux populations.

surtout des questions sur le matériel avant de commencer à mesurer

Voyons donc d'abord la différence du nombre d'appels à l'enseignant avant que les étudiants ne commencent à mesurer. Ceux issus de DEUG appellent 4,25 fois et ceux de CPGE 1,9 fois. Les étudiants issus de DEUG posent donc beaucoup de questions avant de commencer à mesurer (cf. tableau 4).

Tableau 4. Moyenne des nombres de requêtes des étudiants à l'enseignant relativement au matériel (questions posées avant que les étudiants ne mesurent)

	Étudiants issus de DEUG	Étudiants issus de CPGE	Moyenne
Mode d'emploi multimédia	5	1,8	3,2
Mode d'emploi photocopié	3,5	2	2,7
Moyenne	4,25	1,9	2,9

En comptant le nombre d'appels des étudiants pendant leur période de mesure, on constate que les questions ont été

posées principalement avant le début des mesures. Les étudiants issus de DEUG posent le même nombre de questions que ceux issus de CPGE (cf. tableau 5).

Tableau 5. Moyenne des nombres de requêtes des étudiants à l'enseignant relativement au matériel (questions posées pendant la période de mesure)

	Étudiants issus de DEUG	Étudiants issus de CPGE	Moyenne
Mode d'emploi multimédia	1	1,2	1,1
Mode d'emploi photocopié	1,5	1,4	1,4
Moyenne	1,2	1,3	1,3

• Conduites individuelles : difficultés ou non lors du post-test

Nous relatons ici les résultats relatifs à la capacité ou l'incapacité de chaque étudiant, à réussir à utiliser la chaîne de mesure d'efforts lors du post-test.

Les résultats au post-test montrent que l'on peut distinguer trois niveaux acquis par les étudiants. Le premier niveau signifie que l'étudiant ne sait plus rien faire. Le niveau 2 signifie que l'étudiant sait obtenir une mesure, mais incorrecte car il ne règle pas la sensibilité et le calibre de l'amplificateur. Enfin, le niveau 3 est celui de l'étudiant qui obtient une mesure correcte.

Le niveau 2 correspond donc pour nous à l'élaboration et la réutilisation des schèmes d'usage et le niveau 3 aux schèmes d'action instrumentée. Nous donnons ici la répartition des étudiants ayant atteint les niveaux 1 et 2 selon les deux variables.

Pour l'absence de schèmes d'usage, la proportion d'étudiants de niveau 1 dans chaque population (70 % issus de DEUG et 33 % issus de CPGE) est bien contrastée. Par contre, 55 % des étudiants ayant eu accès aux modes d'emploi par ordinateur et 47 % de ceux ayant utilisé le photocopié sont de niveau 1. Le mode d'accès a donc peu d'influence globalement. Mais il n'a pas le même effet sur les deux populations. 90 % des étudiants issus de DEUG n'arrivent à rien faire lors du post-test s'ils ont eu accès aux modes d'emploi par ordinateur contre 20 % d'échec parmi ceux issus de CPGE. Le photocopié, par contre, donne le même taux d'échec quelle que soit l'origine des étudiants (cf. tableau 6).

En ce qui concerne la construction de schèmes d'usage relatifs à l'acquisition d'une mesure sans réglage (atteinte du niveau 2, i.e. oubli de l'étalonnage et du réglage des calibre), on remarque une différence selon l'origine des étudiants

les acquis cinq mois après la formation diffèrent surtout selon les populations...

... et peu selon le mode d'accès aux modes d'emploi

mais pas selon le mode d'accès aux modes d'emploi. On constate également que pour ce niveau d'apprentissage le type de support de mode d'emploi n'a pas le même effet sur les deux populations. C'est le multimédia qui handicape le plus les étudiants issus de DEUG alors que c'est le photocopié qui handicape le plus ceux issus de CPGE (cf. tableau 7).

Tableau 6. Pourcentage d'étudiants de chaque groupe expérimental de niveau 1 (n'ayant rien su faire lors du test de rappel)

en %	Étudiants issus de DEUG	Étudiants issus de CPGE	Moyenne
Mode d'emploi multimédia	90	20	55
Mode d'emploi photocopié	50	45	47
Moyenne	70	33	

Tableau 7. Pourcentage d'étudiants de chaque groupe expérimental de niveau 2 (ayant su faire une mesure incorrecte, lors du test de rappel)

en %	Étudiants issus de DEUG	Étudiants issus de CPGE	Moyenne
Mode d'emploi multimédia	10	60	35
Mode d'emploi photocopié	50	36,4	43
Moyenne	30	47,6	

5.2. Élaboration des schèmes d'action instrumentée

Comme nous l'avons vu plus haut, nous considérons que les schèmes d'action instrumentée sont élaborés par un étudiant s'il parvient à utiliser les appareils pour une autre action que celle apprise pendant la séance de T.P.

Trois niveaux sont atteints selon les étudiants. Ceux du niveau 1 ne savent plus rien faire avec l'appareil de mesure. Ceux du niveau 2 effectuent une mesure incorrecte car ils ne règlent pas le calibre et n'étalonnent pas l'amplificateur. Enfin, ceux du niveau 3 réalisent une mesure correcte.

Nous donnons, dans le tableau 8, les résultats de chaque étudiant et nous reconstituons les binômes, ou trinôme, à partir des résultats obtenus individuellement lors du post-test.

Nous reprenons ces résultats dans le tableau 9. Nous constatons que l'atteinte du niveau 3 (réaliser une mesure

pas
d'élaboration
des schèmes
d'action
instrumentée
pour
la population
issue de DEUG

correcte) n'est pas influencée par le support des modes d'emploi mais l'est par les différences entre populations.

Tableau 8. Niveau des élèves pour chaque groupe de T.P.

Groupe n°	Élève 1	Élève 2	Élève 3
6	1	1	2
3	2	2	
7	1	1	3
1	1	1	
8	1	1	
15	1	1	1
5	2	3	
16	2	3	
4	2	3	
13	1	2	
2	2	2	
18	1	2	
11	1	2	
12	1	1	2
9	1	1	2
14	1	2	
10	1	2	
17	1	2	

peu
d'homogénéité
des acquis dans
les groupes

Tableau 9. Pourcentage d'étudiants de chaque groupe expérimental ayant atteint le niveau 3 (ayant su faire une mesure correcte, lors du test de rappel)

en %	Étudiants issus de DEUG	Étudiants issus de CPGE	Moyenne
Mode d'emploi multimédia	0	20	10
Mode d'emploi photocopié	0	18,1	9,5
Moyenne	0	19	

5.3. Homogénéité des acquis dans les groupes de T.P.

Le post-test nous a également permis d'étudier la question : qu'est-ce que chacun a appris dans un binôme ou trinôme d'étudiants ayant effectué le T.P. ensemble ? En particulier, chacun a-t-il élaboré des schèmes d'action instrumentée, et sinon pourquoi ?

En reportant les résultats individuels des étudiants au sein des groupes de T.P. (cf. tableau 8), on observe que trois types de répartition des acquis entre étudiants apparaissent. Le tableau 8, ci-dessus, montre que, lors du post-test, pour les trois groupes (n^{os} 1, 8 et 15) aucun étudiant ne sait mesurer (tous au niveau 1). Nous nommerons A cette répartition des acquis dans un groupe. Pour les cinq groupes (n^{os} 3, 5, 16, 4 et 2) tous atteignent le niveau 2 ou 3. Nous nommerons B ces groupes dans lesquels tous ont des acquis. Et pour les dix groupes restant, un seul étudiant sait encore mesurer au niveau 2 ou 3. Nous nommerons C ces groupes dans lesquels un seul étudiant a acquis la maîtrise du fonctionnement de l'appareil de mesure.

Nous reportons ici les types de répartition des acquis (A, B ou C) selon les populations et le type d'accès aux modes d'emploi.

On remarque alors (cf. tableau 10), qu'avec le photocopié, la répartition des acquis de type C, selon lequel un seul étudiant sait encore mesurer, est majoritaire (78 %) alors qu'avec le multimédia ce n'est pas le cas (33 %).

Pour la répartition des acquis de type A, selon lequel aucun étudiant ne sait encore mesurer, les différences sur les deux variables sont également importantes : 38 % de type A pour les étudiants issus de DEUG contre 0 % pour ceux issus de CPGE et 33 % avec le multimédia contre 0 % avec le photocopié.

un effet du mode d'accès aux modes d'emploi sur l'homogénéité des acquis dans les binômes

Tableau 10. Pourcentage des groupes de T.P. par type de comportement de groupe de T.P., relativement à la population de cette situation expérimentale

en %	Étudiants issus de DEUG			Étudiants issus de CPGE			Moyenne		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Mode d'emploi multimédia	75	0	25	0	60	40	33	33	33
Mode d'emploi photocopié	0	25	75	0	20	80	0	22	78
Moyenne	38	13	50	0	40	60			

6. BILAN ET DISCUSSION

6.1. Différences entre les deux populations

Un premier résultat provient du questionnaire préalable. Il apparaît que l'expérience d'utilisation d'un micro-ordinateur n'est pas très différente d'une population à l'autre. On relèvera également le peu d'ExAO mentionné par les élèves issus de CPGE, malgré les prescriptions officielles.

En ce qui concerne l'élaboration des schèmes d'usage, les différences de populations ont un effet toujours important :

- moitié moins de mesures pour les étudiants issus de DEUG ;
- le double de questions avant de commencer à mesurer pour ces mêmes étudiants ;
- et les groupes dans lesquels aucun étudiant ne sait mesurer lors du post-test sont tous issus de la population issus de DEUG.

Ce résultat peut permettre de gérer le passage de l'enseignant auprès des différents groupes. Il semble nécessaire d'aider notablement les étudiants issus de DEUG. En effet, 26 mesures en moyenne pour ce T.P. ne suffisent pas pour répondre correctement à la suite des questions relatives au phénomène de frottement et à l'utilisation de sa quantification pour concevoir des machines. On ne peut donc pas négliger la maîtrise, même procédurale, des appareils de mesure.

Une constitution des groupes de T.P. mélangeant des étudiants d'origines différentes pourrait peut-être permettre un tutorat favorable à l'apprentissage de tous.

Relativement à l'élaboration des schèmes d'action instrumentée, les deux populations se distinguent également : aucun étudiant issu de DEUG ne parvient à réutiliser l'appareil de mesure d'effort. Mais ce ne sont seulement que 20 % des étudiants issus de CPGE qui y arrivent.

6.2. Différence d'accès aux modes d'emploi

Le support des modes d'emploi – multimédia ou polycopié – n'a pas d'influence, en moyenne, sur la construction des schèmes d'usage et des schèmes d'action instrumentée relatifs à l'appareil de mesure d'effort.

Néanmoins, le mode d'emploi multimédia semble créer des difficultés pour les étudiants issus de DEUG pour l'apprentissage à long terme. En effet, 90 % des étudiants et 75 % des groupes issus de DEUG, ayant utilisé le mode d'emploi sur ordinateur multimédia, n'arrivent plus à rien mesurer lors du post-test, contre 50 % des étudiants, et 0 % des groupes, également issus de DEUG et ayant utilisé le polycopié. On notera également que ces étudiants posent plus

l'enseignant
peut gérer
son premier
passage auprès
des groupes
selon
leur histoire

l'ordinateur multimédia est un nouvel appareil à instrumenter également

de questions avant de mesurer lorsqu'ils utilisent le multimédia que lorsqu'ils utilisent le polycopié.

Par contre, pour la mise en œuvre à court terme, concernant les étudiants issus de DEUG, le type de support n'a pas d'effet (26 mesures dans les deux cas).

L'utilisation de tel ou tel support de mode d'emploi n'a pas la même influence selon les populations d'étudiants. Les scores des tableaux 6, 7 et 10-colonne A (étudiants ne sachant plus mesurer) montrent que le multimédia désavantage les étudiants issus de DEUG alors qu'il favorise ceux issus de CPGE. La nécessité d'instrumenter le dispositif multimédia fournissant le mode d'emploi accroît sans doute la difficulté d'élaboration des schèmes d'usage, pour les étudiants issus de DEUG ayant sans doute été moins entraînés à des épreuves de T.P. en temps limité.

6.3. Homogénéité des acquis dans les groupes

l'utilisation d'un ordinateur multimédia pour accéder aux modes d'emploi modifie la communication au sein des binômes et favorise donc l'apprentissage de chaque étudiant

Un autre point de vue est l'évaluation des apprentissages individuels plutôt que des acquis par groupe de T.P. On constate alors que l'utilisation d'un polycopié ou d'un ordinateur et son logiciel multimédia a une influence importante sur la répartition des apprentissages au sein des groupes de T.P. Avec le polycopié, dans 78 % des groupes, un seul étudiant sait encore utiliser l'appareil lors du post-test. Avec le multimédia, il y a autant de groupes où un seul étudiant atteint un niveau acceptable que de cas où tous les étudiants atteignent le même score. Le mode d'emploi sur polycopié semble favoriser un étudiant du groupe dans l'apprentissage des modes opératoires. L'observation des vidéos permet en effet de constater une dissymétrie des rôles dans le cas de l'usage du polycopié. Le polycopié ne peut être pris que par un seul étudiant. Ce dernier le tient à côté de l'appareil de mesure et ainsi il peut lire le mode d'emploi et agir sur l'appareil. Alors qu'avec le mode d'emploi sur ordinateur, un étudiant se poste devant l'appareil de mesure, un autre devant l'ordinateur donnant le mode d'emploi, situé à environ 1,5 mètres, et ainsi ils communiquent pour effectuer le réglage.

On a vu que pour plus de la moitié des groupes, un seul étudiant sait mesurer lors du post-test. En regardant les séquences vidéos des T.P., on constate que l'unique étudiant qui sait encore mesurer est celui qui a pris l'initiative, la responsabilité d'effectuer la première mesure. Parfois d'autres étudiants de son groupe ont également mesuré, mais seulement après lui. Cela nous renvoie aux distinctions entre connaissances et compétences. Il ne s'agit pas seulement de présenter les modes d'emploi de façon à mettre en jeu des constructions cognitives plus ou moins simples. L'apprentissage de l'utilisation des appareils de mesure réclame que

l'étudiant ose agir et ose risquer de casser quelque chose. Cette capacité à décider d'agir est évidemment plus essentielle en T.P.

Yves CARTONNET
LIREST-ENS de Cachan

Remerciements : cette recherche a bénéficié d'une subvention de l'IUFM de Créteil dans le cadre d'une convention de recherche de trois ans.

BIBLIOGRAPHIE

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

BISSERET, A., ENARD, C. (1969). Le problème de la structuration de l'apprentissage d'un travail complexe. *Bulletin de Psychologie*, 23, 632-648.

CARTONNET, Y., DUREY, A. (1996). Une assistance multimédia interactive pour les séances de travaux pratiques? *Évaluation. Sciences et Techniques Éducatives*, 3, 4.

LEGOUX, Y. (1972). *Du compagnon au technicien*. Paris : Technique et vulgarisation.

POITOU, J.-P. (1989). *30 de CAO en France*. Paris : Hermès.

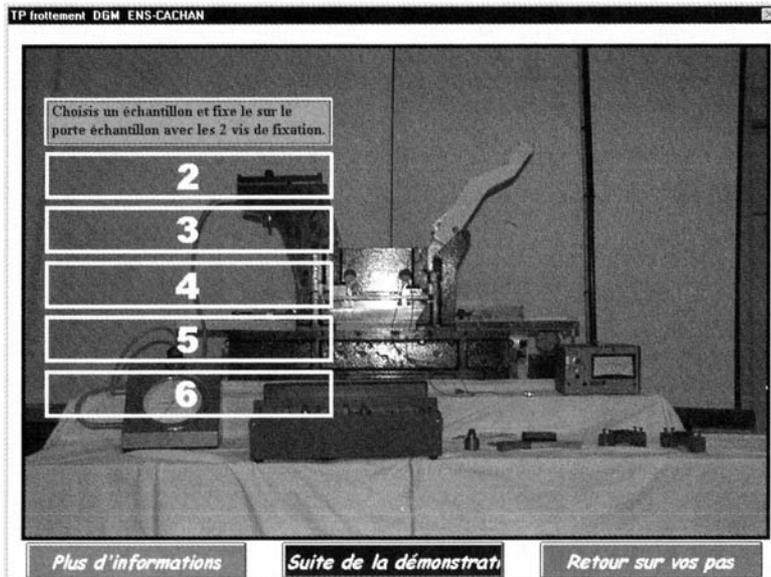
RABARDEL, P. (1995). *Les hommes et les technologies*. Paris : Armand Colin.

RICHARD, J.-F. (1983). *Rapport de recherche interne*. INRIA.

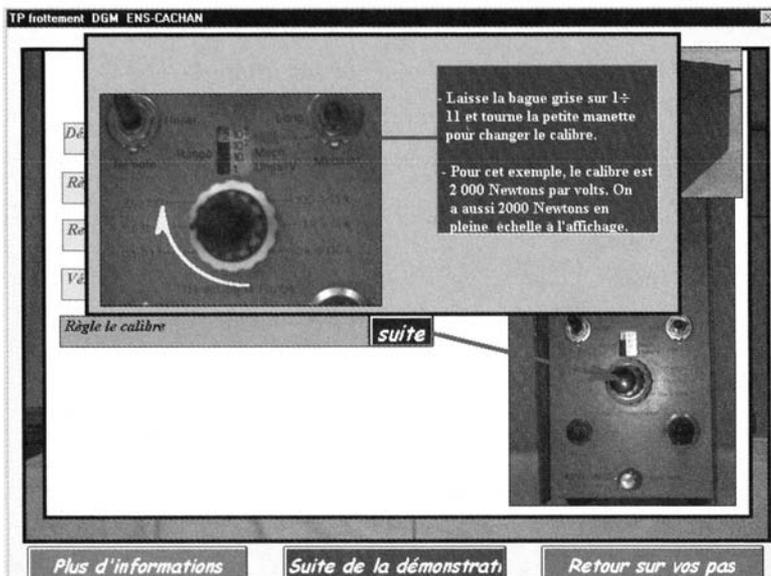
VERMERSCH, P. (1976). Apprentissage du fonctionnement de l'oscilloscope. *Travail humain*, 39, 2, 357-368.

VINAND, P.-E. (1997). *Comparaison de deux protocoles d'enseignement en séances de travaux pratiques*, mémoire de D.E.A. de didactique, LIREST.

ANNEXE PRÉSENTATIONS DES MODES D'EMPLOI



Écran présentant le mode opératoire.
Pour chaque opération l'utilisateur peut obtenir plus d'informations.



Exemple d'écran donnant plus d'information pour la 5^e opération.

UN CADRE POUR RECONSIDÉRER L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES DISTINGUER EXPÉRIMENTATION ET EXPÉRIENCE

Vasilis Koulaidis
Anna Tsatsaroni

Dans cet article, nous tentons de renouveler la réflexion sur les notions d'expérience et d'expérimentation, considérées comme centrales dans les pratiques scientifiques courantes à l'école. Pour ce faire, nous discutons :

- les distinctions entre théorie et observation qui sous-tendent quatre images de la science ;
- l'introduction de la virtualité dans la constitution du champ épistémique, qui enrichit les images de la science et aide à délimiter les champs de la théorie, de l'observation, de la pratique et de la communication.

L'analyse indique que la simulation est un élément essentiel dans le champ de la pratique, l'expérimentation étant envisagée comme un cas particulier de simulation. L'expérience est, elle, intrinsèquement liée au champ de la communication, lui-même associé au champ de la pratique.

L'article examine ensuite les implications de ces analyses pour l'enseignement des sciences, conçu comme un effort dirigé visant à aider les élèves à (re)construire des explications scientifiques qui enrichissent leur expérience. Cela demande avant tout une compréhension du réel à travers le virtuel et nécessite que les élèves, tout en se plaçant dans les limites du réel, soumettent leur compréhension aux conditions (et aux limites) du champ de la pratique.

1. INTRODUCTION : DÉLIMITATION DU CHAMP

au cœur des
critiques des
changements
des cursus
scientifiques...

Les points de vue en faveur d'une réforme des cursus scientifiques ne sont ni nouveaux ni spécifiques à certains pays (Jenkins, 1994), mais quelles que soient les tentatives visant, ces quelques vingt-cinq dernières années, à introduire des changements, elles ont soulevé de graves critiques. On peut dire que les notions d'expérience et d'expérimentation sont au cœur de ces critiques.

... les notions
d'expérience et
d'expérimentation

Par expérimentation, nous entendons un élément ordonné de la pratique scientifique caractérisé par le fait que "sa répétition conduit à un effet identique" jusqu'au moment où les phénomènes peuvent être déduits régulièrement (Hacking, 1983, pp. 220-232). Par expérience, nous désignons la connaissance commune que les enfants acquièrent à travers leur participation aux activités quotidiennes et leur interaction avec les enfants de leur âge et les adultes, par l'intermédiaire de codes quotidiens de communication.

Nous considérons que les critiques formulées à l'égard de l'enseignement et des tentatives d'innovation ne contribuent pas à clarifier ces notions, et que cela crée des confusions quant au rôle de l'expérience et de l'expérimentation dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences. Nous nous proposons donc tout d'abord de faire une analyse des critiques et de construire un cadre dans lequel ces termes peuvent être abordés de façon satisfaisante.

• **Premier niveau de critiques**

Les critiques relient les résultats insatisfaisants des élèves aux processus d'enseignement et d'apprentissage et au manque d'installations et/ou d'opportunités permettant un travail expérimental et un travail de recherche dans les écoles. Elles relèvent les problèmes suivants : effectifs des étudiants déséquilibrés dans les cours d'enseignement scientifique (1), manque d'objectifs clairement définis concernant les compétences à développer à travers l'enseignement scientifique, difficultés des élèves à appliquer la pensée rationnelle à des contextes d'action quotidiens, et de façon plus générale difficulté à relier tout ce qu'ils apprennent à l'école à leur représentation quotidienne du monde.

Mais les critiques concernent aussi l'image de la science qui sous-tend les cursus scientifiques : production et validation de la connaissance scientifique, lien entre connaissance et expérience commune.

Les solutions proposées par rapport aux critiques de ce premier niveau évoquent des changements dans l'infrastructure (en particulier des laboratoires plus nombreux et/ou mieux équipés, afin de valoriser la pratique expérimentale dans l'enseignement) mais aussi un effort de repérage des compétences intellectuelles et sociales complexes à travers lesquelles la connaissance scientifique se construit. Tel est le cas, par exemple, de l'objectif "Science Expérimentale et Science de la Recherche" (SCAA, 1994) du programme d'enseignement national d'Angleterre et du pays de Galles.

Elles encouragent aussi une promotion des résultats des recherches, spécialement de la recherche qui s'intéresse à l'exploration des représentations des élèves. On croit en effet que si les professeurs connaissaient mieux ces représentations, leur enseignement serait de meilleure qualité, que les élèves comprendraient mieux les sciences. Cette deuxième proposition est très proche de la recommandation de considérer, dans l'apprentissage scientifique, "la science comme une activité effectuée par tout le monde en tant que partie intégrante de la vie quotidienne" (réforme du

difficultés
pour les élèves
de relier
apprentissages
scolaires
et contexte
quotidien

différentes
directions dans
les solutions
proposées...

... en particulier
la connaissance
des représentations
des élèves

(1) Nous devrions noter que ce même argument est souvent invoqué en ce qui concerne les mathématiques scolaires. Voir le Rapport Cockcroft, 1982.

cursus scientifique en Nouvelle Zélande, Ministère de l'Éducation, 1993); ou celle d'aider les élèves à assimiler "*l'attitude scientifique critique*" qui consiste à suspendre "*le jugement en l'absence de preuves crédibles et d'arguments logiques*" et à l'appliquer dans "*la vie quotidienne*" (Projet 2061 aux États-Unis, AAAS, 1993 ; Jenkins, 1996, p. 147).

Si l'usage des laboratoires est de toute façon important dans l'enseignement des sciences (Millar, 1989), le repérage des compétences pose plus de problème. Il nécessite en effet d'identifier ce qui caractérise le mieux la science.

En ce qui concerne les représentations des élèves, il existe actuellement un important corpus de connaissances dont la diffusion retentit sur les écoles puisque, par exemple, elles sont prises en compte dans la production des ressources pour l'enseignement scientifique. Toutefois, la manière d'utiliser ce type de résultats de recherches est loin d'être évidente. Un passage sans problèmes des représentations quotidiennes des enfants au savoir scientifique scolaire et vice-versa est largement contesté dans les analyses critiques des sciences ainsi que d'autres matières scolaires (Muller & Taylor, 1995 ; Jenkins, 1996).

l'utilisation
de cette
connaissance
n'est cependant
pas évidente

• *Deuxième niveau de critiques*

L'histoire, la philosophie et la sociologie des sciences énoncent des points de vue concernant la rationalité, l'objectivité, le rôle du langage dans la construction de sens scientifique, donc concernant la production, la validation et le statut du savoir scientifique. Ces points de vue vont dans le sens de conceptions épistémologiques qui, selon Jenkins (1996) sont en conflit avec "*les descriptions confiantes de la 'méthodologie' scientifique et les énumérations rituelles de processus ou compétences supposés scientifiques qui caractérisent une grande partie de l'enseignement scientifique*" (p. 145).

la question de
l'épistémologie...

Une telle critique soulève différents problèmes car il y a des différences considérables entre les comptes rendus scientifiques des savants et les comptes rendus méta-théoriques offerts par la philosophie, la sociologie et l'histoire des sciences. Il s'agit donc de savoir si la question de l'épistémologie des sciences a sa place dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences. Trois solutions semblent envisagées : l'enseignement de la science en tant que méthode scientifique ; l'adjonction de cours de STS (Science Technologie et Société) ; l'intégration dans le cursus scolaire scientifique d'une dimension épistémologique, en espérant que l'absence de consensus à propos des différents aspects de la nature de la science encouragera les étudiants à explorer ces différentes idées et points de vue (Jenkins, 1996, p. 146).

... a-t-elle
sa place dans
l'enseignement
des sciences ?

Ces critiques s'inscrivent dans des problématiques plus générales.

conjoncture
actuelle
favorable à
repenser cette
construction

1. La construction du savoir scientifique

Aux différentes approches épistémologiques de la relation entre théorie et expérimentation, et au débat sur le registre théorique et le registre de l'observation, il faut ajouter la dimension du virtuel dont les derniers progrès technologiques ont fait repérer l'importance. La conjoncture actuelle est spécialement favorable pour repenser la question de la construction des connaissances scientifiques ainsi que des questions plus spécifiques telles que le rôle et le statut épistémologique de la simulation dans les sciences et dans l'enseignement scientifique.

le savoir scolaire
n'est pas
une version
simplifiée
du savoir
scientifique

2. La construction des connaissances scientifiques scolaires

L'importance de cette question est évidente si l'on admet que le savoir scolaire n'est pas une version simplifiée du savoir scientifique mais une construction complètement différente (Bernstein, 1990, 1996). La façon dont chacun perçoit cette construction dépend de sa position épistémologique (Koulaidis & Tsatsaroni, 1996) et surtout de la distinction qu'il fait entre registre théorique et registre de l'observation (Koulaidis, 1994). Car ce sont ces points de vue qui implicitement ou explicitement organisent et légitiment le choix des éléments fondamentaux autour desquels s'articule l'enseignement scientifique.

l'expérience,
instrument
pédagogique
fondamental

3. Le discours pédagogique

Le discours pédagogique conçoit depuis longtemps l'expérience comme un instrument pédagogique fondamental en s'appuyant sur les travaux de Dewey (1938) à Piaget (1969, 1974). En didactique des sciences en particulier, la notion d'expérience renvoie à la pratique expérimentale d'une part et à la connaissance commune d'autre part. Ce dernier aspect est particulièrement pris en compte dans les recherches sur les représentations des élèves à propos des concepts scientifiques (Driver, 1981 ; Driver & Easley, 1978) (2). De façon plus générale, le discours pédagogique actuel, sous l'influence des courants épistémologiques du constructivisme (Mahoney, 1989 ; Matthews, 1993), a renforcé les points de vue traditionnels à propos de l'expérience en réaffirmant son importance et sa valeur fondamentale.

l'expérimentation,
notion liée
aux débats
épistémologiques
sur la théorie
et l'observation

Des trois points ci-dessus il ressort que l'expérience et l'expérimentation sont des notions à travailler pour rénover l'enseignement scientifique. L'expérimentation, notion que nous considérons comme centrale dans les pratiques de l'enseignement scientifique à l'école, est liée aux débats épistémologiques sur la théorie et l'observation. L'expérience, liée selon les définitions aux représentations des élèves à propos de la science ou à leur engagement actif

(2) Il est utile de noter un mouvement parallèle dans l'enseignement des mathématiques, où une importance considérable est accordée à la connaissance commune des mathématiques chez les enfants.

dans la pratique expérimentale, est sous-jacente aux débats sur la relation entre registre théorique et registre de l'observation et sur le lien entre théorie et pratique. Expérience et expérimentation sont associées à la représentation de la connaissance, et à la construction de l'objet de la science même.

Cet article se propose d'analyser ces notions :

quatre
directions
d'analyse

- en distinguant quatre conceptions de la science selon la relation qu'elles établissent entre théorie et observation ;
- en introduisant le "virtuel" dans la discussion sur la distinction entre théorie et observation ; cette introduction contribuant à enrichir l'image de la science ;
- en reprenant la problématique théorie/observation afin de délimiter les champs de la théorie, de l'observation et de la pratique ;
- en prenant en compte les limites de ces champs pour reconsidérer les notions d'expérience et d'expérimentation et de simulation, et tenter de relier la notion d'expérience à son contexte de communication.

2. LE DÉBAT SUR LA THÉORIE ET L'OBSERVATION. QUATRE CONCEPTIONS DE LA SCIENCE

Le débat entre philosophes des sciences à propos de la nature de la connaissance scientifique a porté principalement sur les points suivants (Koulaidis, 1994) :

- méthodologie,
- critères de délimitation,
- modèles d'évolution de la connaissance scientifique,
- validité de la connaissance scientifique.

trois aspects
de la relation
théorie-
observation

Les positions adoptées dépendent en partie du lien qui est établi entre théorie et observation, qui organise, dans une large mesure, l'image ou la conception du savoir scientifique. Trois aspects de la relation entre théorie et observation apparaissent d'une importance considérable pour l'analyse et permettent de repérer des positions épistémologiques distinctes :

- existence d'une distinction entre théorie et observation ;
- nature et caractère de cette distinction ;
- hiérarchie entre théorie et observation.

Quatre courants épistémologiques sont ainsi distingués : empirico-inductif, hypothético-déductif, contextualiste et relativiste (Koulaidis, 1987).

courant
empirico-
inductif

• La tradition empirico-inductive de la science souligne le rôle central du raisonnement inductif et soutient que la distinction entre théorie et observation est fondamentale. Elle suppose que, pour formuler une théorie, il est nécessaire d'accumuler des observations, et par conséquent, d'être capable de distinguer les deux. La théorie est définie

courant
hypothético-
déductif

comme une accumulation d'observations qui se condensent en suivant les principes méthodologiques de l'induction, seule méthode fiable d'investigation scientifique.

- On peut dire que le courant hypothético-déductif défend la rationalité dans le champ scientifique. Critique par rapport à l'héritage scientifique empirico-inductif ; il défend une rationalité basée sur le réalisme contre les tendances relativistes. Ainsi les rationalistes, tels que Popper (1963, 1979) et Lakatos (1970, 1978), affirment l'existence de critères éternels, universels et par conséquent a-historiques qui permettent le choix entre des théories scientifiques rivales. Ce courant opère lui aussi une distinction entre théorie et observation, puisque les observations sont utilisées pour falsifier des théories (rivales). Cette distinction n'est cependant pas aussi nette que le courant empirico-déductif le soutient et n'est pas sans restrictions (voir plus bas). En outre c'est la théorie, qui dans ce cas, occupe une position privilégiée.

courant
contextualiste

- Le courant contextualiste, représenté par Kuhn, met l'accent sur l'importance de l'examen impartial de l'histoire et de la pratique scientifique pour formuler une image de la science. Pour les tenants de ce courant, toute observation reposant sur la théorie, une distinction entre théorie et observation ne pourrait être qu'arbitraire.

courant
relativiste

- Enfin, le relativisme, tout comme la pensée contextualiste, nie l'existence de modèles de rationalité universelle et a-historique mais va même au-delà du contextualisme puisqu'il utilise la notion d'incommensurabilité, qui implique la relativité du raisonnement. Feyerabend, principal représentant du relativisme, affirme que cette question de la distinction entre théorie et observation est dépourvue de signification mais propose néanmoins un schéma contre-inductif (voir plus bas) dans lequel la distinction entre registre théorique et registre de l'observation peut en fait être opérée.

pour les
inductivistes,
observations
privilégiées...

Si l'on veut, comme le font les inductivistes, défendre la position selon laquelle la distinction entre théorie et observation est une différence de nature et non de niveau (les observations étant privilégiées), il faut défendre le point de vue que les observations sont privilégiées soit sémantiquement, soit épistémologiquement, soit les deux :

... soit
sémantiquement...

- Sémantiquement, l'observation est complètement indépendante des assomptions théoriques. Or de nombreux arguments venant à l'appui des assertions du type "*des théories clairement formulées sont une condition nécessaire pour des énoncés d'observation précis*" (Kuhn, 1970 ; Chalmers, 1982, p. 29) sont cependant formulées. Le point de vue du courant inductif selon lequel les affirmations universelles (théories, lois) dérivent d'affirmations singulières (observations) semble remis en question.

- Épistémologiquement la distinction entre théorie et observation implique que les observations constituent l'unique

... soit
épistémologique-
ment

en fait la théorie
peut précéder
et dominer
l'observation

pour Popper
c'est une théorie
qui dirige
notre attention

importance
de la forme
et de la fonction
des énoncés

essayer
de réfuter
les théories

base solide pour établir des théories et des lois scientifiques. Or l'histoire des sciences fournit quantité d'exemples qui s'opposent à cette affirmation. Ainsi Feyerabend (1975, p. 126) se réfère à une observation astronomique effectuée par Kepler, au moyen d'un télescope galiléen : "*Mars est carré et intensément coloré*". Si l'on admet la probité intellectuelle de Kepler, et puisque la fausseté de l'affirmation est bien établie aujourd'hui, on ne peut que reconnaître que les énoncés d'observation peuvent être erronés. En fait la théorie prédominante dirige l'attention de l'observateur vers des aspects spécifiques de l'objet observé ; une telle thèse s'oppose avec la thèse inductive. Des exemples comme celui-ci indiquent que la théorie peut précéder et dominer l'observation (Rozen, 1959). Pour les contre-arguments du courant inductif, cf. Carnap (1962) et Feigl (1970).

Pour Popper (1979, voir aussi Hacking, 1983), il existe une distinction entre observation et théorie, mais cette distinction ne signifie pas pour autant que les énoncés d'observation sont épistémologiquement privilégiés par rapport aux énoncés théoriques, comme le soutient le courant inductif. Il considère que le contraire est tout aussi vrai, car même la plus humble des observations présuppose (explicitement ou implicitement) une sorte d'assomption théorique. Par exemple, pour l'affirmation "Ceci est un cube de glace", on doit faire appel à des parties de théorie sur ce qu'est la glace ou à des considérations géométriques sur les cubes (Newton-Smith, 1981, p. 73). De plus, c'est une théorie, dit Popper, qui dirige notre attention vers ce qui semble constituer les aspects pertinents du phénomène considéré et nous fait délaisser les aspects non pertinents. C'est dans ce sens-là que la proposition "l'observation repose sur la théorie" doit être entendue.

Dans le paragraphe ci-dessus, il était question des aspects à éliminer d'une distinction entre théorie et observation. Les aspects à conserver pour cette distinction concernent, selon ces auteurs, la forme et la fonction des énoncés. L'exemple d'énoncé d'observation préféré de Popper est le suivant : "*Il y a un corbeau dans la région spatio-temporelle K.*" Les énoncés d'observation sont dans leur forme "*des assertions existentielles à propos d'une région spatio-temporelle définie*" (Newton-Smith, 1981, p. 49) ; dans leur fonction, ce sont les falsificateurs potentiels d'une théorie.

La réfutation a une importance primordiale. En effet, ce qui permet aux partisans du courant hypothético-déductif de renverser la succession "observation suivie de construction de la théorie" (sur laquelle repose le courant inductif), c'est l'assertion suivant laquelle on doit essayer de réfuter les théories au lieu de chercher à les vérifier. Elle est fondée sur l'affirmation que la distinction entre théorie et observation n'a pas de signification épistémologique.

C'est précisément l'observation qui permet de remettre en question la pensée hypothético-déductive. Car, comme le

certaines
réfutations
peuvent se révéler
basées sur des
observations
fausses

pour Feyerabend
le principe de
la prolifération
des théories
scientifiques...

... à mi-chemin
entre empiristes
et rationalistes...

fait observer Putnam (1981, pp. 68-69), même si une théorie est réfutée par un essai expérimental qui tient compte de la position hypothético-déductive selon laquelle observations et théories peuvent être faillibles au même degré, la théorie peut toujours être correcte et l'observation fausse. Par conséquent, les théories ne peuvent pas être définitivement réfutées, les énoncés d'observation qui forment la base de la falsification pouvant s'avérer faux à la lumière de développements ultérieurs (Chalmers, 1982, p. 63).

Le relativisme, également, tel qu'il est exprimé par Feyerabend (1975), remet en question à sa manière le principe hypothético-déductif de réfutation. Afin de remettre en question la confiance accordée au rôle des preuves empiriques pour adopter ou rejeter une théorie scientifique donnée, Feyerabend substitue à ce qu'il appelle le principe de consistance un processus contre-inductif (*ibid.*, p. 29). Pour que le progrès scientifique ne soit pas entravé, des théories en opposition avec les théories actuellement admises doivent proliférer : *"des hypothèses contredisant des théories bien confirmées, nous fournissent des preuves empiriques qui ne peuvent pas être obtenues autrement"* (*ibid.*, p. 35). Ce principe de la prolifération de théories scientifiques constitue une des thèses principales de Feyerabend à propos du renouvellement scientifique. Pour appuyer sa thèse, Feyerabend invoque l'histoire des sciences. Son argumentation procède *grosso modo* de la sorte : tout argument scientifique, par exemple l'argument de la tour aristotélicienne utilisé pour réfuter le mouvement de la Terre, implique une interprétation de l'observation en connexion étroite avec les théories dominantes. Par conséquent, le premier pas consiste toujours à déceler les principes sur lesquels repose l'observation.

Ayant débrouillé les vieilles notions théoriques implicites des observations pertinentes, on peut exprimer des observations en utilisant un nouveau langage d'observation, qui évidemment est soutenu par un nombre d'idées théoriques implicites tirées de la nouvelle théorie proposée (Feyerabend, 1975, chap. 5 & 6).

Feyerabend se place en quelque sorte à mi-chemin entre les empiristes et les rationalistes. Il est proche des premiers, puisque, pour lui, il doit y avoir une expérience (c'est-à-dire une donnée sensible) qui est en principe indépendante de sa caractérisation (c'est-à-dire le langage d'observation) et il est proche des seconds car une telle caractérisation repose sur la théorie ; elle intègre toujours la théorie. Cependant il diffère des premiers, car selon lui, on ne peut séparer le langage d'observation de ses présuppositions théoriques qu'en le remplaçant (implicitement ou explicitement) par une autre théorie.

Cette position de Feyerabend peut nous permettre de dégager quelques points importants concernant le débat en cours sur la distinction entre théorie et observation. En effet, en dépit de son relativisme, le lien que Feyerabend entretient

... ce qui crée
des paradoxes
provocants

importance de
l'interprétation
de
l'observation...

... condition
pour que
l'observation
soit significative

avec des points de vue opposés crée des paradoxes provocants : il remet en question la prédominance et le statut de la théorie, puisque les théories reposent sur des croyances et qu'en outre il peut y avoir des anti-théories pour la même "chose" ; il fait appel à une prolifération de théories comme condition du renouvellement et du progrès scientifique ; il souligne, tout comme les autres courants épistémologiques (et à l'exception du courant inductif), le fait que toute observation repose sur la théorie, mais son image de la science n'est pas dominée par les effets qu'entraîne cette position, à savoir l'idéalisme (Barnes, 1982). Il est du côté de l'empirisme, puisqu'il insiste sur des distinctions entre observation, langage d'observation et termes théoriques, en ayant l'intention de n'en privilégier aucune. Si l'on s'en tient à sa position selon laquelle "toute observation requiert une interprétation", il est aisé de conclure que lui aussi finit par être idéaliste, mais on ne peut manquer de noter qu'il cherche à introduire une différence au moyen de sa distinction entre observation, ou expérience sensible, et expérience significative. Ce que nous retenons n'est pas son acceptation de la distinction entre observation et langage d'observation, qui de toute façon est problématique, mais plutôt l'importance qu'il donne à l'affirmation que l'interprétation d'une observation est la condition pour qu'une observation soit significative.

3. LA CONSTITUTION DU CHAMP ÉPISTÉMIQUE : UNE TENTATIVE POUR COMPLÉTER LES CONCEPTIONS DE LA SCIENCE

examen du réel
à travers le
couple validé/
non-validé

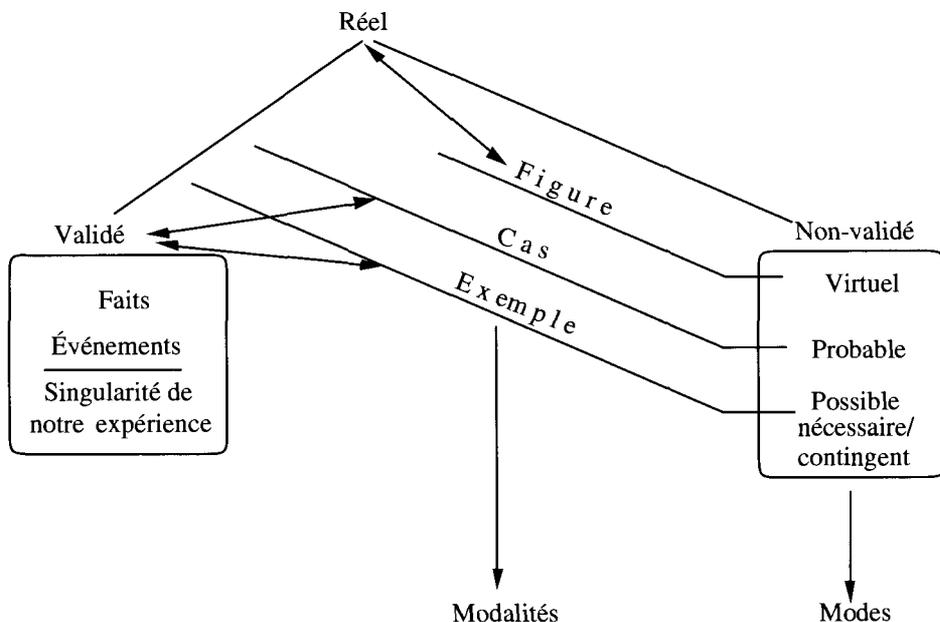
Notre analyse de la constitution du champ épistémique reposera sur l'examen du réel à travers le couple validé/non-validé (3). Les modes constitutifs du non-validé sont le possible, le probable et le virtuel. Comme le montre la figure 1, le premier mode, à savoir le possible, est en rapport avec le validé, et est exprimé à travers la distinction entre nécessaire et contingent. Le second mode, le probable, étant dans un rapport indirect avec le validé, est une sorte de validation, une validation qui ne se réfère pas directement à des événements ou à des objets. Enfin, le mode du virtuel est celui

(3) Cf. Granger, Gilles-Gaston (1995). Nous devrions noter ici que ces catégories introduisent une dimension temporelle dans la conception de la science, habituellement entendue seulement en fonction de sa dimension spatiale.

N. de T. : les termes "*actual*" et "*non actual*" qui renvoient à l'idée de ce qui est éprouvé vs non éprouvé, avec une valeur de validité par rapport au monde réel ont été traduits par "validé" et "non validé". Ceci ne permet pas de rendre compte à chaque usage de l'idée qui le sous-tend. Les traduire par les termes "réel" et "non réel" aurait entretenu une ambiguïté avec l'usage de "*real*" en anglais et n'aidait pas à la compréhension du texte. Ce choix a le mérite de se repérer facilement et de permettre de se placer dans un contexte de langue anglaise...

des figures ou représentations d'objets et d'événements qui sont détachés des conditions d'une expérience complète, et n'a aucun besoin de se référer au valide.

Figure 1. La constitution du champ épistémique



Cela suggère que le champ épistémique, se constituant essentiellement à travers les modes du non-validé, dont chacun est en relation spécifique avec le valide, s'éloigne en fait du valide comme source exclusive d'expérience. Cela ne signifie pas pour autant qu'il est moins réel ou non réel, car son cadre de référence est le réel. Tel est le paradoxe que l'analyse de la constitution du domaine épistémique, mieux que toute autre analyse, révèle si clairement : le savoir scientifique envisage la réalité alors qu'il est situé, en partie, dans le domaine du non-validé.

Cela implique que l'objet scientifique est en partie une configuration abstraite, en ce sens que :

- il est incomplet par rapport aux singularités de notre expérience (4) (voir figure 1, ci-dessus et notre discussion au paragraphe 4).

l'objet
scientifique, une
configuration
abstraite

(4) À un autre niveau de théorisation, comme nous le verrons, cette condition de lacune crée la possibilité structurelle de la suppléance, c'est-à-dire la possibilité que la théorie – déterminée par les éléments constitutifs mentionnés dans le texte – devienne un programme pratique, dépassant ainsi les limites de la théorie. En effet, comme le remarque Kambouchner (Kambouchner 1980, p. 153), le "telos" (le but final) d'un programme scientifique – au moment où ce programme semble contrôlable, et semble, par conséquent, alimenter la soumission à un programme pratique ou pragmatique – n'est plus interne à la théorie.

- il n'y a pas de constitution qui ne soit pas conçue selon l'opposition entre le général et le particulier et, réciproquement, il n'y a aucune occurrence de cette opposition qui ne soit pas fondée à l'intérieur d'un cadre de référence constitutif ; en effet, la constitution en tant qu'acte implique qu'un point de vue général donne le point de départ pour la définition de structures et de catégories, principalement de concepts et de valeurs ; en tant que structure fondamentale, elle peut admettre seulement des fonctions et des valeurs générales dans lesquelles les éléments et les faits sont contenus et constitués ; cela garantit que le particulier est constamment comparé au général et constitué par rapport à lui ;
- l'objet scientifique est théorique aussi bien qu'empirique dans sa modalité ; la dimension empirique est révélée au niveau de la constitution puisque deux des modes essentiels du non-validé sont en rapport avec le validé, entendu comme événements, objets ou singularités de l'expérience.

cette
constitution
du champ aide
à comprendre
autrement...

... les différentes
positions
épistémologiques
traditionnelles

une conception
alternative
de la science
introduit
le virtuel

Nous pensons que la conception du domaine épistémique en termes de modes constitutifs peut nous aider à comprendre autrement les images traditionnelles de la science - c'est-à-dire le positivisme logique, Popper et Lakatos, le contextualisme et le relativisme. Ces images sont similaires par rapport à un aspect fondamental : elles situent (correctement) la constitution de l'objet scientifique au niveau de la relation entre le validé et le non-validé, mais elles définissent le non-validé par rapport à deux de ses expressions seulement, à savoir le possible et le probable. Les différences de chaque conception résident alors dans la manière dont chacune de ces approches permet de concevoir la relation entre le validé et le couple probable-possible du non-validé. C'est cela, tout autant que l'importance accordée à la temporalité qu'introduit la distinction entre le possible et le probable comme éléments du non-matériel, qui définit et distingue les différentes positions épistémologiques, du positivisme logique au relativisme. Ainsi, par exemple, pour la position empirico-inductive, l'induction est l'instrument méthodologique qui contribue à assurer le passage entre le possible, le probable et la configuration abstraite. Au contraire, pour les relativistes, c'est précisément la difficulté d'indiquer un moyen nécessaire et rationnel pour assurer la connexion entre le couple possible/probable et la configuration abstraite qui compromet l'ensemble de l'opération. La troisième position épistémologique, celle de Popper, a cherché à dépasser ce problème en construisant le troisième monde poppérien et ce faisant est retombée dans l'idéalisme. Une conception alternative de la science (qui n'est pas incompatible avec le contextualisme) se distingue des conceptions traditionnelles par sa volonté de présenter le virtuel comme un élément constitutif du non-validé. En effet, cet élément qui, par définition, n'est pas en rapport avec le validé, est déterminé seulement en fonction des deux

autres éléments du non-validé. C'est par conséquent une expérience non matérialisée qui, précisément parce qu'elle ne se rapporte pas au validé, clarifie la contribution du couple possible/probable, en relation avec le validé, à la constitution de l'objet scientifique (5). Il est clair alors qu'en englobant dans cette conception le virtuel comme élément constitutif, la distinction entre validé et non-validé devient possible, car les éléments qui avaient été intégrés dans le couple possible/probable et qui créaient une confusion dans les conceptions traditionnelles, sont à présent attribués au virtuel (6).

4. LA CONSTITUTION DU CHAMP DE LA PRATIQUE : INTERSECTION DE LA THÉORIE ET DE L'OBSERVATION

Sur la base de la présente discussion, nous chercherons à développer la relation entre théorie et observation, d'une part, et théorie et pratique de l'autre, pratique et observation étant entendues comme distinctes.

Le point de départ de notre analyse est la constitution du champ épistémique, dont les principaux éléments sont présentés dans le paragraphe précédent, et qui pourrait aboutir aux catégories analytiques de l'exemple, du cas et de la figure. L'exemple est défini comme un élément concret qui remplit une certaine fonction ou occupe une certaine place; le cas, comme une possibilité structurellement définie ou comme un cas exceptionnel vu comme typique ou atypique mais non comme indéfinissable (Kambouchner, 1980, p. 154); et la figure, comme leur 'expression' (ou inscription) dans un langage/code.

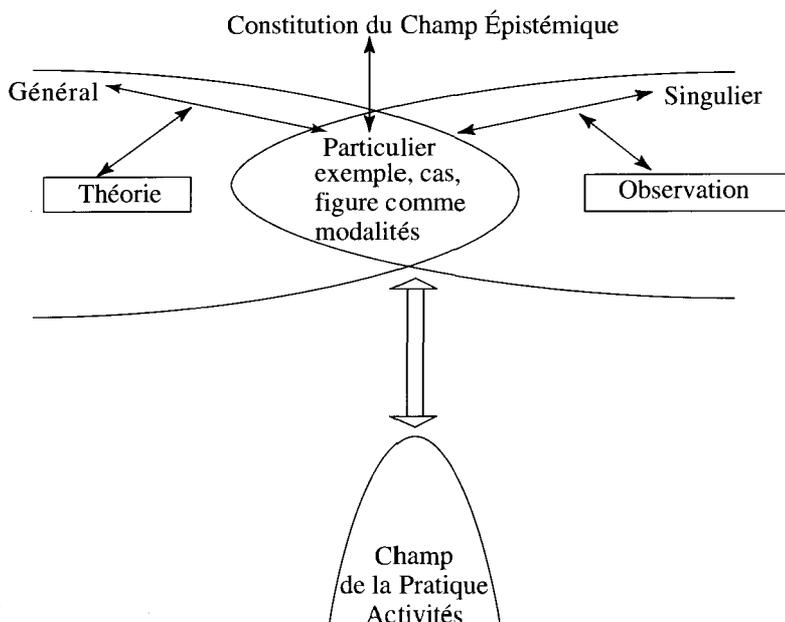
Nous procéderons en considérant ces trois catégories comme conçues à travers les couples général/particulier d'une part, et singulier/particulier de l'autre. L'exemple, le cas et la figure, conçus soit comme des modes (général) ou des modalités (particulier), appartiennent au champ de la théorie. D'autre part, ces catégories conçues à travers le couple particulier/singulier appartiennent à l'observation. Ce réseau de relations est illustré dans le figure 2.

l'exemple, le cas
et la figure...

...dans
un réseau
de relations

-
- (5) Cet élément peut aussi contribuer à spécifier la différence entre l'objet scientifique et l'objet de connaissance mathématique. Ceci pourrait être particulièrement intéressant pour l'enseignement, puisque la coopération entre les domaines de mathématiques et d'enseignement scientifique pourrait être facilitée.
- (6) Comme nous le dirons plus loin, ces distinctions nous permettent de spécifier le rôle de l'expérience et des activités pratiques, l'utilisation de modèles mathématiques, la simulation etc., en d'autres termes ces éléments qui se rapportent à l'expérience, et qui sont essentiels non seulement pour la construction des sciences mais aussi pour la construction de l'enseignement scientifique.

Figure 2. Les champs de la théorie, de l'observation et de la pratique



à l'intersection
de la théorie et
de l'observation,
le champ
de la pratique

Notre propos étant de clarifier les notions d'expérimentation et d'expérience, il est essentiel, dans notre approche, de délimiter le champ de la pratique, fondé sur les éléments constitutifs du champ épistémique. Les modalités de l'exemple, du cas et de la figure se trouvent à l'intersection de la théorie et de l'observation et délimitent le champ de la pratique. Considérée en ces termes, la pratique, puisqu'elle est en correspondance avec les deux couples (c'est-à-dire, particulier/général et singulier/particulier) est distincte de la théorie et de l'observation mais en même temps en relation avec elles (7).

une analyse
qui permet
de reconsidérer
l'observation...

Cette analyse nous permet de reconsidérer l'activité d'observation. Comme déjà mentionné, cette activité, tout en étant confrontée à la complexité naturelle, passe par les modalités de l'exemple, du cas et de la figure pour mettre en relation et élaborer l'objet scientifique. De plus, les conditions nécessaires à l'observation dérivent du caractère des modalités mêmes. Cela signifie que :

- du fait de leur position à l'intérieur du couple général/particulier (c'est-à-dire, du fait de leur lien à la théorie) leur élaboration ne devrait produire aucun résidu appréciable, ce qui signifie que durant l'observation, aucun

(7) Autrement dit, notre approche repose non pas sur l'opposition entre théorie et observation, mais sur leur intersection.

...et
l'interprétation...

élément constitutif ne devrait rester non traduit (non interprété);
– ce qui résulte de la traduction ou de l'interprétation devrait être assimilable par la théorie.

D'autre part, du fait du lien de ces conditions avec le couple particulier/singulier, l'interprétation devrait justement garder sa fonction d'observation, qui est de respecter leurs singularités.

Ainsi l'observation/interprétation apparaît à la fois comme un ensemble d'opérations à travers lesquelles les modalités de l'exemple, du cas et de la figure se situent par rapport au général (théorie) et comme une activité qui cherche à les élaborer, c'est-à-dire à leur permettre de révéler leur propre singularité.

... activités
étroitement
liées

Nous pouvons à présent justifier notre point de vue selon lequel, épistémologiquement, l'observation et l'interprétation sont étroitement liées (8), ou constituent les aspects essentiels d'une activité visant à élaborer les modalités de l'activité scientifique.

l'interprétation,
essentiellement
activité de
description et
de traduction...

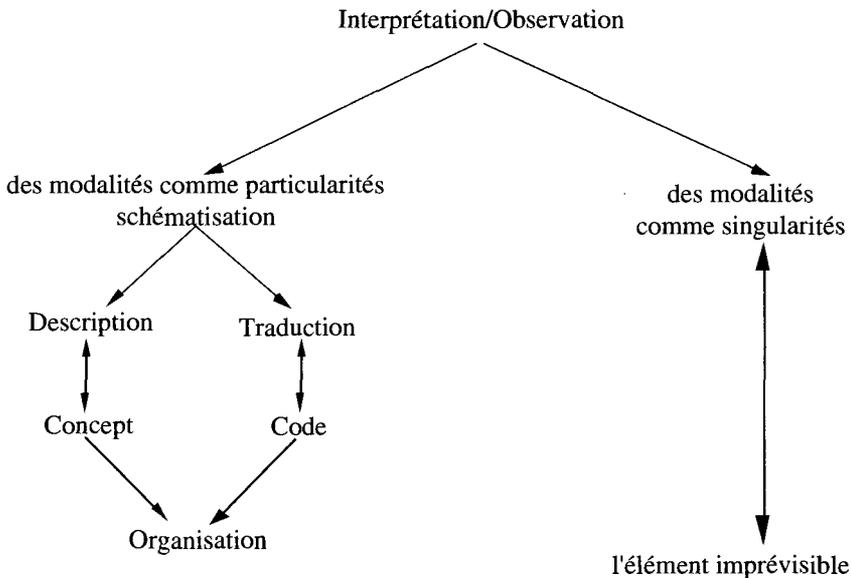
Dans une interprétation, la théorie s'occupe de ce qui peut être soit décrit en termes généraux soit traduit dans un système de significations. Ainsi, la théorie subsume le particulier sous le général. L'interprétation, dans la mesure où elle utilise des éléments élaborés à l'intérieur d'un cadre théorique, est essentiellement une activité de description et de traduction qui détermine les modalités en fonction de la généralité seulement. Chaque interprétation tire parti de schémas de description et de traduction à travers lesquels la forme d'une modalité est liée à certains catégories/signes généraux alors que sa complexité signifiante est liée à certains ordres de sens fondamentaux.

... mais confrontée
à la complexité,
elle requiert deux
autres types
d'opérations

Mais lorsqu'une interprétation est confrontée à la profondeur, la densité et la complexité générale d'une modalité, elle devrait, pour prendre en compte cette complexité ou pour se situer par rapport à elle, effectuer deux types d'opérations qui n'appartiennent ni à la description (concepts) ni à la traduction (codes). La première est une opération à travers laquelle un élément jugé signifiant est noté ou reformulé, sans être lié à aucune généralité, la seconde, une opération à travers laquelle deux ou plusieurs éléments sont associés et déterminés l'un par rapport à l'autre, à travers une affinité de sens (Kambouchner, 1980, pp. 161 et suivantes).

(8) Dans notre analyse de ces deux termes, nous suivons Kambouchner (1980).

Figure 3. Observation et Interprétation



construction de sens en tenant compte à la fois de la rigueur nécessaire et de l'événement imprévisible

les opérations singulières : dimensions essentielles et non pas accidentelles de l'observation/interprétation

Comme illustré dans la figure 3, l'observation/interprétation qui a lieu au cours de la construction de sens peut être vue à la fois comme une forme, c'est-à-dire un travail de description et de traduction (schématisation), et comme une opération singulière (l'observation conçue comme non prévisible, non établie par une loi). De même, la construction de sens à travers l'observation/interprétation peut seulement être entendue en fonction de ces deux dimensions, c'est-à-dire en tenant compte de la rigueur nécessaire, et de l'événement imprévisible qui est une force active dans sa production. En effet, les opérations singulières ne serviraient en rien à l'aspect de schématisation de l'interprétation (détermination), si elles ne constituaient que les préliminaires nécessaires à la description et à la traduction.

Il apparaît que l'observation/interprétation requiert une capacité d'attention qui peut atteindre sa cohérence dans une théorie établie : "ceci et cela doit être noté", mais, en même temps, l'observation/interprétation a lieu seulement si quelque chose de singulier et d'imprévisible est découvert. L'attention que demandent les modalités ne peut jamais être absolument programmée, et l'observation/interprétation est autant un événement imprévisible que le produit de la rigueur. Le point fondamental est ici que les opérations singulières sont des dimensions essentielles, et non pas tout simplement accidentelles, de l'observation/interprétation. Cela signifie qu'elles sont liées à l'observation/interprétation, comme une activité ou un événement au statut singulier. C'est pour cela que cette activité demeure insubordonnée

au statut de détermination théorique. Mais, en même temps, le statut épistémologique de l'observation est transformé puisque celle-ci est présentée comme étant fondamentalement une activité d'interprétation (lecture) plutôt qu'un exercice des sens.

5. CHAMP DES PRATIQUES : MODÈLES ET SIMULATIONS

Nous pouvons à présent achever la figure 1 (paragraphe 3), qui illustre la constitution du domaine épistémique (9), au moyen de l'introduction des pratiques associées aux modalités du non-validé. Le champ des pratiques a été délimité par l'intersection de la théorie et de l'observation. Dans cette intersection, le particulier doit être entendu dans les deux sens, à savoir, dans son lien avec le général, et dans son lien avec le singulier.

les modèles et les simulations appartiennent au champ des pratiques...

Nous pouvons à présent considérer la notion de simulations et de modèles. Les modèles et les simulations sont, en même temps, des articulations de théories (conçues comme le répertoire de techniques à disposition), et des représentations approximatives de phénomènes (Hacking, 1983 ; Lenoir, 1988). Ainsi, ils appartiennent au champ des pratiques comme défini plus haut, puisque, dans leur constitution, les éléments de théorie et d'observation se rencontrent.

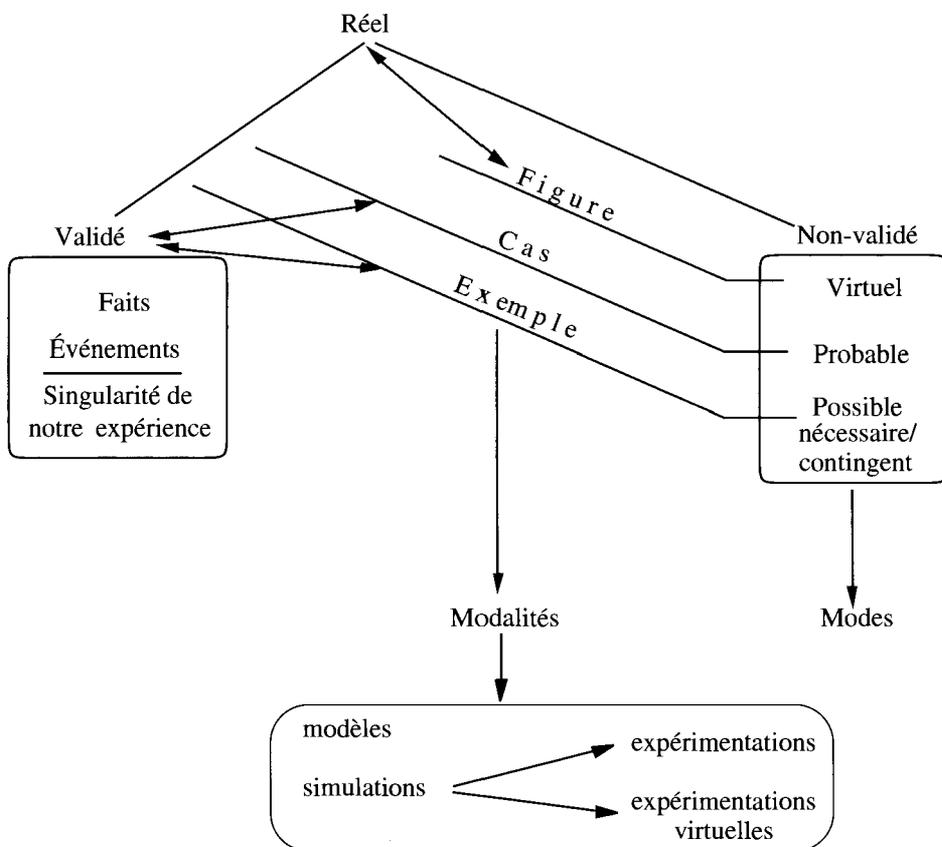
... à l'intersection de la théorie et de la complexité naturelle

La figure 4 est, par conséquent, un remaniement de notre point de vue sur la relation entre théorie et observation, et de notre analyse de l'effort scientifique en termes de distinction entre théorie et pratique, développés dans les parties précédentes. Contrairement aux thèses qui maintiennent l'opposition entre théorie et pratique expérimentale (10), et qui introduisent ainsi une confusion dans la localisation des modèles et simulations, cette figure les place à l'intersection de la théorie et de la complexité naturelle (événements et faits). Il faut distinguer cette dernière du terme "phénomène scientifique", lequel, au moyen de l'utilisation des appareils et techniques disponibles, est construit comme "pur", isolé, fiable et répétable (Hacking, 1983, pp. 220-232). Ceci est un

-
- (9) Dont la référence est le réel scientifique, construit à travers ses éléments constitutifs (le validé et le non-validé), ses modes épistémiques (le virtuel, le probable et le possible), et ses modalités (exemple, cas et figure).
- (10) Lenoir (1988), exactement à cause de cette opposition, ne peut voir en Hacking (1983) que des arguments qui l'aident à formuler sa propre position. À savoir : "le contexte pratique du laboratoire, et la culture de la vie de laboratoire sont essentiels à la production de savoir"; et : "le contexte est un facteur constitutif de la production de savoir" (p. 6). Mais un tel contextualisme plutôt que de clarifier le domaine de la science, le rend plus confus.

effet du travail effectué avec les modèles et simulations, c'est-à-dire avec des structures mathématiques, des techniques de calcul, des analogies etc., à savoir, des expressions ou des codes d'un genre particulier. Ainsi, modèles et simulations sont, à la fois, des articulations de théories en fonction des techniques disponibles, et des représentations de phénomènes.

Figure 4. Simulations dans le champ épistémique



Modèles et simulations sont caractérisés par la rencontre de la théorie, de l'observation et de la pratique ; par l'interaction entre les couples général/particulier et particulier/singulier; et par l'articulation de la théorie et des techniques disponibles, dans le but de former une représentation approximative (re)production) d'un phénomène scientifique. Par conséquent, les expérimentations sont également des cas de simulation. Et en effet dans la notion d'expérimentation, nous trouvons tous les éléments qui caractérisent les simulations.

les
expérimentations,
des cas de
simulation

6. LE RÉSEAU DE COMMUNICATION : L'EXPÉRIENCE RECONSIDÉRÉE

construction
de connaissance
scientifique et
construction
de connaissance
commune

Dans la construction de la connaissance scientifique, il faut chercher à approcher et à comprendre le réel, en se tenant dans le champ du validé, en opérant à travers le non-validé et en participant au champ des pratiques – spécifiées ici comme modèles et simulations. C'est exactement cette complexité qui produit l'expérience associée à la science et pertinente par rapport à la science. La construction de la connaissance commune diffère de la connaissance scientifique en ce que l'inclusion des modalités du non-validé pour l'interprétation du validé n'est pas conditionnée par leur sujétion systématique aux éléments du champ des pratiques. En d'autres termes, la connaissance commune n'est certainement pas basée directement sur des données sensibles mais elle est caractérisée par l'incorporation inconditionnée d'anciennes théories. C'est ce qui distingue la connaissance scientifique de la connaissance commune et creuse un abîme épistémologique entre les deux.

élaboration
de catégories
conceptuelles
et production
de signification
scientifique

La notion d'expérience peut être discutée sous une autre perspective, en définissant un réseau de communication. Si nous revenons à la figure 2 (paragraphe 4), nous pouvons repérer le réseau de communication produit par les activités de simulation. La communication est définie en ce lieu comme l'élaboration de catégories conceptuelles et la production (active) de signification scientifique. Il faudrait noter que cette élaboration n'est pas supplémentaire ou extérieure à la formation de concepts car, comme l'a soutenu Bachelard (1984), les concepts scientifiques intègrent en eux-mêmes les conditions de leur réalisation, c'est-à-dire dans notre terminologie, les conditions pour leur localisation dans le champ des pratiques. Cette position peut être spécifiée par les points suivants.

les simulations
présupposent
l'emploi
de codes ou
de signes...

- Les activités de simulation présupposent l'emploi de codes spécifiques. Cela signifie que pour qu'une simulation soit effectuée, un code ou un signe est présupposé. La condition déterminant le code est la faculté de celui-ci à être réitéré ou modifié (Derrida, 1988, spécialement pp. 111-154; Staten, 1985, pp. 114-123). Cela signifie que :
 - pour qu'un signe fonctionne comme signe, il doit pouvoir se répéter (c'est-à-dire, se détacher de la pensée qui l'a produit) et être reconnaissable (par autrui) ;
 - lorsqu'un signe est répété dans un autre contexte, son sens sera déterminé, au moins de façon marginale, par son nouveau contexte ; ceci parce que le nouveau contexte fait ressortir de nouveaux aspects de ses possibilités signifiantes ;
 - puisque ce contexte ne peut être déterminé de manière exhaustive, on ne peut préciser jusqu'à quel degré un contexte peut transformer un signe.

... qui jouent
un rôle essentiel
dans
la production
de sens

• Les codes utilisés dans les simulations jouent un rôle essentiel dans la production de sens ; et par conséquent la manière dont on conçoit la constitution du champ de communication influe sur la manière dont on conçoit la production de connaissances scientifiques. Ce point de vue s'oppose aux points de vue classiques où la communication est conçue comme le transfert ou "transport" d'un sens "pré-produit" ou "pré-constitué", c'est-à-dire, d'un sens constitué au niveau des concepts (ou théorie).

Ainsi, à travers les simulations, les concepts sont élaborés et spécifiés. Des codes différents créent des contextes différents, autant qu'il y a une multiplicité de sens.

• L'expérience n'est qu'un effet de ces activités de simulation et du réseau de communication.

simulations
lisibles et non
pas seulement
perceptibles,
de même
l'expérience

Or, si les simulations sont lisibles (du fait de leur lien avec l'utilisation de signes et de codes) et pas seulement perceptibles – c'est-à-dire visibles ; l'expérience est un effet de la lecture de ces voix multiples, qui correspondent aux différents codes. Cette vision de l'expérience s'oppose aux visions qui lient l'expérience avec l'expérience sensible ou vécue. Cela nous permet aussi de remettre en cause, sans le renier complètement, un des principes fondamentaux du discours pédagogique : la méthode d'apprentissage la plus efficace est l'expérience et la participation active des enfants aux activités.

7. CONCLUSION ET DISCUSSION SUR LES CONSÉQUENCES POUR L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

Nous avons commencé par nous demander quels changements devaient avoir lieu dans les cursus scolaires afin d'aider les enfants à apprendre les matières scientifiques. Nous avons soutenu qu'il était nécessaire de clarifier l'image de la science sur laquelle est fondé l'enseignement scientifique et en particulier les notions d'expérimentation et d'expérience.

rôle de
l'expérience
dans
l'enseignement
pas clairement
défini

En ce qui concerne ces notions, nous avons soutenu que, bien qu'elles soient employées ou présupposées dans les discussions et les débats en cours sur les réformes de l'enseignement scientifique, leurs significations semblent reposer sur des sens communs ou des sens établis par des paradigmes épistémologiques plus anciens. Elles prêtent à confusion ou induisent en erreur à beaucoup d'égards. Ainsi, alors même que les professeurs de sciences acceptent l'idée de l'importance de la participation des élèves à des expériences, l'objectif de cette participation, le rôle de l'expérience dans l'enseignement des sciences ne sont pas clairement définis. Alors que nous disposons à présent d'un important corpus de résultats de recherches sur les représentations des élèves et

proposition
d'une
conception
alternative
de la science

la connaissance commune concernant les phénomènes scientifiques, leurs rôles dans les processus d'enseignement et d'apprentissage, et en particulier la relation entre la connaissance commune et la connaissance scolaire n'ont pas été explorés de manière pertinente.

Une conception alternative de la science a été proposée. Afin de construire cette conception, nous avons discuté la question de la constitution de l'objet de science, nous avons analysé ses modes et modalités épistémiques, et essayé de délimiter les champs de la théorie, de l'observation, de la pratique et de la communication. En nous appuyant sur cette analyse, nous pouvons avancer que le savoir scientifique est produit à travers un mouvement alternatif entre la théorie et l'observation, contrôlé par les éléments du champ de la pratique.

À la suite de cette analyse, on peut soutenir qu'enseigner les matières scientifiques revient à aider les enfants à construire des interprétations scientifiques de façon à enrichir leurs expériences. Cette construction repose sur une tentative de compréhension du valide à travers le non-valide, tout en se plaçant dans le réel et en assumant les conditions (et limitations) propres au champ des pratiques.

Ce point de vue permet de concevoir pourquoi il est "difficile" de comprendre les sciences. Car comme toute activité qui utilise le non-valide, elle n'est pas intuitive.

des segments
de
connaissance
commune
comme
ressource pour
la construction
de cursus

Nous pensons que dans un cadre différent et en des termes différents, les discours pédagogiques – aussi bien anciens que contemporains – qui affirment l'importance de l'expérience sont conscients de cette difficulté. Mais la notion d'expérience utilisée dans les discours pédagogiques est semblable à celle qui est associée à la connaissance commune. Une référence à la position de Bernstein (1996) sur cette question peut contribuer à clarifier ce point. Bernstein remarque que ces dernières années, de nombreuses matières scolaires tendent à utiliser des segments de la connaissance commune comme ressources pour la construction de leur cursus. Cette connaissance commune "constitue une ressource cruciale pour le populisme pédagogique puisqu'au nom du pouvoir de la connaissance, des voix qu'elle libère du silence et de l'accès à la participation, elle combat l'élitisme et le prétendu autoritarisme des discours verticaux [i.e. les formes de savoir scientifique]" (1996, p. 181, n. 6). Comme d'autres auteurs l'ont aussi remarqué (Dowling, 1994, 1995), des segments de connaissance commune deviennent des ressources pour des cursus qui s'adressent aux étudiants non universitaires.

Si l'on veut se fonder sur la notion d'expérience dans un but éducatif, il faudrait répondre aux deux questions suivantes.

- De quelle manière la connaissance commune – dans laquelle l'interprétation du réel n'est pas assujettie systéma-

représentations
et
transformation
graduelle
des couches
de sens

tiquement au champ de la pratique – peut-elle être utilisée pour la construction du savoir scientifique, dans laquelle la dimension du non-validé est un élément nécessaire et constitutif ? Une des hypothèses serait que la connaissance commune des élèves peut être exploitée en vue d'une suppression graduelle des couches de sens associées à des théories plus anciennes, enregistrées dans leur expérience commune sans avoir été soumises à la rigueur des pratiques scientifiques. Cette hypothèse souligne l'importance pour l'enseignement scientifique du corpus de recherches concernant les représentations des enfants et de la tradition herméneutique du changement conceptuel entendu comme une transformation graduelle des couches de sens.

construire la
compréhension
scientifique
en participant
au champ
des pratiques

• Si nous sommes convaincus de l'importance de l'expérience, pouvons-nous mettre en œuvre dans les écoles ce travail de compréhension scientifique du validé, partant du non-validé, l'utilisant et participant au champ de pratiques ? Dans ce cas, la métaphore "l'élève comme un scientifique" pourrait être entendue de façon très spécifique comme l'engagement dans un effort pour construire la compréhension scientifique en participant au champ des pratiques (simulations, incluant expérimentations) et en communiquant à travers ce réseau.

les simulations
sont nécessaires
pour
deux raisons

Selon les autres éléments de notre analyse, il semble correct de conclure que les simulations (en partie techniques), qui sont constitutives de la science, sont très importantes pour le passage de la nature sensible dans toute sa complexité à une compréhension scientifique, et donc devraient être des pratiques essentielles dans l'enseignement. Ainsi, l'expérience n'est pas indépendante des techniques qui sont disponibles à un moment donné. Le recours aux simulations en science n'est pas seulement utile mais nécessaire pour deux raisons :

- les simulations sont les conditions nécessaires, sur le plan méthodologique, pour atteindre le réel (scientifique) en partant du validé et en utilisant le non-validé ;
- elles participent de la formation de l'expérience (scientifique), celle-ci étant nécessairement connectée aux techniques disponibles.

Dans ce cadre, le rôle de l'expérimentation est différent de celui que lui assigne le discours pédagogique traditionnel. En particulier, l'expérimentation doit être comprise dans une acception plus large, non pas comme "purement pratique" (une activité de faire au sens littéral) et en opposition à un travail théorique, et sûrement pas comme une expérience sensible associée seulement aux données des sens.

En conclusion, nous dirons que la discussion précédente a mis en évidence un point plus général : elle a montré, nous l'espérons, l'importance d'une orientation épistémologique pour l'éducation scientifique. Les éléments suivants viennent conforter ce point de vue.

entre sciences
humaines et
sciences de la
nature, frontière
atténuée

Dans cet article, la construction de la connaissance scientifique a été discutée à deux niveaux : en termes de constitution d'un champ épistémologique et, d'une façon plus descriptive, en termes de quatre images de la science qui correspondent aux différents courants qui se sont développés dans le champ de l'épistémologie. C'est en vertu de la première approche, c'est-à-dire d'une implication explicite dans l'objet épistémologique et dans les catégories d'analyse, que la seconde peut être clarifiée. Une telle clarification a des implications que nous pensons pertinentes pour l'éducation scientifique. Cela nous permet de faire une distinction importante entre deux types de modèles de la science. Le premier modèle est lié à ces images de la connaissance scientifique qui construisent l'objet de la science, la nature, comme un objet en principe transparent pour le scientifique. Le second modèle de la science construit ses objets selon deux caractéristiques qui aident à repérer la distinction entre sciences de la nature et sciences de la société/sciences de l'homme. Selon la première caractéristique, l'objet scientifique est le produit d'un réseau de schèmes interprétatifs ; selon la seconde caractéristique, la science, en liant ses pratiques et son réseau de communication diffère des autres disciplines en ce sens qu'elle spécialise ses pratiques. Ainsi la frontière, jusqu'à présent infranchissable entre les sciences humaines et les sciences de la nature, attribuée à la nature expérimentale de ces dernières, est atténuée. Nous pouvons maintenant commencer à en voir les implications pour l'enseignement des sciences. L'épistémologie peut non seulement aider à clarifier les relations entre histoire des sciences et enseignement scientifique, et entre enseignement des sciences et autres sujets du curriculum, mais aussi contribuer à clarifier ce qu'on attend de la classe de science elle-même, et en particulier de l'intégration de sujets scientifiques et de l'abolition des frontières entre des sous-disciplines.

Vasilis KOULALIDIS
Anna TSATSARONI
Université de Patras, Grèce

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AAAS (1993). *Benchmarks for science literacy*, New York : Oxford University Press.
- BACHELARD, G. (1984). *Le Nouvel Esprit scientifique*, trad. A. Goldhammer. Boston : Beacon Press. Première édition 1934.
- BARNES, B. (1982), *T.S. Kuhn and Social Science*, Londres : The Macmillan Press.

- BERNSTEIN, B. (1990). *Class, codes and control : The structuring of pedagogic discourse* (Vol. 4), Londres : Routledge.
- BERNSTEIN, B. (1996). *Pedagogy, symbolic control and identity : theory, research, critique*. Londres : Taylor and Francis.
- CARNAP, R. (1962). *Logical Foundations of Probability*. Chicago : Chicago University Press (2^e édition).
- CHALMERS, A.F. (1982). *What is this thing called science*. Milton Keynes : Open University Press.
- DERRIDA J. (1988). *Limited Inc.*, trad. S. Weber. Evanston IL : Northwestern University Press.
- DEWEY, J. (1938). *Experience and Education*, traduction grecque. Athènes : Éditions Glaros.
- DOWLING, P. (1994). Discursive saturation and school mathematics texts : A strand from a language of description. In P. Ernest (Ed.). *Mathematics, education and philosophy : An international perspective*. Londres : The Falmer Press.
- DOWLING, P. (1995). Discipline and Mathematics : the myth of relevance in education. *Perspectives in Education*, 16, 2, 209-226.
- DRIVER, R. (1981). Pupils' Alternative Frameworks in Science. *European Journal of Science Education*, 3, 1, 93-101.
- DRIVER, R. et EASLEY, J. (1978). Pupils and Paradigms : A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- FEIGL, H. (1970). The Orthodox View of Theories. In M., Radner et S., Winokur (Eds.). *Analyses of Theories and Methods of Physics and Psychology*. Minneapolis : University of Minnesota Press.
- FEYERABEND, P. (1975). *Against Method*. Londres : New Left Books.
- HACKING, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge : Cambridge University Press.
- JENKINS, E.W. (1994). HPS and school science education : remediation or reconstruction? *International Journal of Science Education*, 16, 6, 613-623.
- JENKINS, E.W. (1996). The 'nature of science' as a curriculum component. *Journal of Curriculum Studies*, 28, 2, 137-150.
- KAMBOUCHNER, D. (1980). The Theory of Accidents, *Glyph*, vol.7
- KOULAUDIS, V. (1987). *Philosophy of Science in Relation to Curricular and Pedagogical Issues : A study of science teacher's opinions and their implications*. Thèse de Doctorat inédite, University of London.
- KOULAUDIS, V. (1994). Science Teaching and Epistemology : The selection/construction of content. In *Proceedings of European Physical Society : History Teaching Physics*. Hongrie : Université de Szobathely.

- KOULAIDIS V. & TSATSARONI, A. (1996). A pedagogical analysis of science textbooks : how can we proceed? *Research in Science Education*, 26, 1.
- KUHN, T. (1970). *The structure of scientific revolutions*. Chicago : Chicago University Press (2^e édition).
- LAKATOS, I. (1970). Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes. In I., Lakatos et A., Musgrave, A. (Eds.). *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge : Cambridge University Press.
- LAKATOS, I. (1978). The Methodology of Scientific Research Programmes. In J., Worrall et G., Currie (Eds.). Cambridge : Cambridge University Press.
- LENOIR, T. (1988). Practice, Reason, Context : The dialogue between theory and experiment. *Science in Context*, 2, 1.
- MAHONEY, M. J. (1989). Participatory Epistemology and Psychology of Science. In B., Gholson, W.R., Shadish Jr., R.A., Neimeyer et A.C., Houts (Eds.). *Psychology of Science : Contributions to Metascience*. Cambridge : Cambridge University Press.
- MATTHEWS, M. R. (1993). Constructivism and Science Education : Some epistemological problems. *Journal of Science Education and Technology*, 2, 1, 359-370.
- MILLAR, R. (1989). Bending the Evidence : The Relationship between Theory and Experiment in Science Education. In R., Millar (Ed.). *Doing Science : Images of Science in Science Education*. Londres : The Falmer Press.
- Ministry of Education (New Zealand) (1993). *Science in the New Zealand curriculum*. Wellington : Ministère de l'Éducation.
- MULLER J. et TAYLOR N. (1995). Schooling and everyday life : Knowledges sacred and profane. *Social Epistemology*, 9, 3, 257-275.
- NEWTON-SMITH, W.H. (1981). *The rationality of Science*. Londres : Routledge and Kegan Paul.
- PIAGET, J. (1969). Le langage et les opérations intellectuelles. In H. G., Furth (Ed.). *Piaget and knowledge*. New Jersey : Prentice-Hall.
- PIAGET, J. (1974). *La compréhension de la causalité*. New York : Norton & Co.
- POPPER, K.R. (1963). *Conjectures and Refutations*. Londres : RKP.
- POPPER, K. P. (1979). *Objective Knowledge*. Oxford : Oxford University Press (Édition Revue).
- PUTNAM, H. (1981). In I., Hacking (Ed.). *Scientific Revolutions*. Oxford : Oxford University Press.
- Rapport Cockcroft (1982). *Mathematics Counts, Report of the Committee of Inquiry into the Teaching of Mathematics in Schools*. Londres : H.M.S.O.
- ROSEN, E. (1959). *Three Copernican Treatises*. New York : Dover.
- SCAA (1994). *National Curriculum Orders*. Londres : School Curriculum and Assessment Authority.
- STATEN H. (1985). *Wittgenstein and Derrida*. Oxford : Basil Blackwell.

LA REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE DE LA RÉALITÉ : EXPÉRIENCE ET EXPÉRIMENTATION À L'ÉCOLE PRIMAIRE

Maria Arcà

Avant même d'envisager la précision de la réalisation ou des résultats, il est méthodologiquement important de s'interroger sur la signification conceptuelle des expérimentations. Si certaines d'entre elles permettent de recueillir des données sur une réalité qui, au niveau expérimental, est en train de prendre forme, d'autres représentent (de manière déformée, schématique et analogique) des aspects particuliers de la réalité. À l'école, les expérimentations ont généralement une existence autonome et peuvent être exécutées correctement même si elles ne sont pas conceptuellement rapportées à la complexité des phénomènes qu'elles devraient interpréter. Savoir procéder à ces expérimentations est certainement utile mais la connaissance consciente de ce que l'on voudrait montrer ou démontrer ne va pas automatiquement de soi. Il est donc nécessaire de développer, parallèlement, tout un éventail de stratégies cognitives permettant d'établir une relation cohérente entre les faits et leurs explications.

Dès l'école primaire, il est possible de développer des activités de modélisation abstraite à partir d'évidences quotidiennes, en valorisant souvenirs et associations, déductions et inductions issus de l'expérience des enfants. Même les modèles les moins raffinés, dans la mesure où ils sont élaborés de manière cohérente par les enfants, peuvent constituer une trame de références conceptuelles susceptibles de soutenir et de donner une signification même aux activités expérimentales les plus complexes.

“La science n'est pas un simple ensemble de lois, un catalogue de faits indépendants. C'est une création de l'esprit humain doté d'une liberté d'invention au plan des idées et des concepts. Les théories physiques tentent de construire une représentation de la réalité et d'établir des relations avec le vaste monde des impressions sensorielles.”

A. Einstein, L. Infeld : *“The evolution of Physics”*

En Italie, mais pas seulement

Dans les lycées italiens, les élèves (15-18 ans) étudient généralement la physique, la chimie et la biologie d'une façon livresque, et la possibilité de faire des travaux pratiques – que la section soit littéraire ou scientifique – est souvent réduite à une ou deux fois par an. Dans ces conditions, il est difficile que les élèves puissent “prendre leur temps” et travailler par eux-mêmes. En général les lycéens ne disposent pas d'un niveau d'abstraction qui leur permettrait de se passer d'expérimenter eux-mêmes. Ainsi, conformément à une forme d'enseignement exclusivement basée sur la transmission du savoir, on considère que les adolescents

dans les lycées :
formes
d'enseignement
basées sur
la transmission
du savoir...

doivent connaître des règles et des définitions correspondant, *a priori*, à une vérité scientifique absolue, vérité qui doit être assimilée et ne peut être remise en question.

...de même
au collège...

Au collège, on enseigne également les sciences aux élèves (11-14 ans) à travers des leçons théoriques ou en étudiant dans les manuels. Les phénomènes sont décrits, catalogués, expliqués synthétiquement et définis à l'aide d'un langage scientifique dont la terminologie est éloignée du langage courant. Comme on estime que les enfants sont suffisamment grands, on ne leur laisse même pas le temps d'imaginer ce qui peut – ou pourrait – arriver réellement, et la problématique scientifique liée à toute interprétation est bien souvent considérée comme hors de propos.

...et à l'école
primaire

À l'école primaire (6-11 ans), nombreux sont encore les enseignants qui, en science, expliquent le sujet choisi et dictent des définitions guère plus compréhensibles que celles d'un livre. Les enfants les écrivent, les apprennent parfois par cœur, et s'en servent pour cocher la bonne case dans les fiches distribuées de temps en temps pour vérifier leurs connaissances. Si l'on examine de nombreux manuels (et cahiers), il semble qu'une bonne partie de l'enseignement des sciences se développe à partir de propositions "déclaratives" où les mots possèdent une valeur métaphorique que seuls les adultes peuvent saisir. On parle encore de "règne" animal et végétal (que signifie le mot "règne" pour un enfant ?) ; les plantes "se divisent en..."; les lombrics "appartiennent" aux invertébrés annélides ; les objets plongés dans l'eau "obéissent" au principe d'Archimède et, dans d'autres conditions, aux lois de Newton. Dans le cadre de l'éducation scientifique, un nombre croissant d'enseignants proposent toutefois aux enfants des activités concrètes : manipulation de matériaux, germination de graines, construction de jardins potagers, exploration de l'environnement... jeux physiques qui vont du tir à la corde aux courses de vitesse. Comme toujours, le problème n'est pas de jouer (ou de travailler) dans le concret, mais de tirer d'une expérience des interprétations, des réélaborations et des explications qui embrassent des secteurs plus vastes de la réalité ; autant d'activités susceptibles de conduire à l'usage conscient de stratégies de raisonnement abstrait.

cependant
une évolution
s'amorce
à ce niveau

1. SCIENCE ET EXPÉRIENCE

Il semble important de distinguer l'idée de science en tant que produit culturel élaboré au fil du temps, de l'idée de science en tant que processus de construction, en tant qu'activité de la pensée visant à l'interprétation des phénomènes du monde. Pour engager ce processus, surtout chez les jeunes enfants, on propose souvent des expériences

pratiques conduisant à observer plus attentivement des événements sélectionnés du quotidien.

il y a toujours une relation entre l'expérience des faits et leur interprétation : l'important, c'est de la rendre explicite

Comme le savent tous les bons enseignants, passer – au plan conceptuel – d'une activité de manipulation (ou d'une activité expérimentale) à une réflexion scientifique est tout sauf simple, car cela présuppose l'intervention consciente de capacités cognitives de schématisation, d'interprétation, de généralisation... Mais cela présuppose aussi de préciser les significations d'une expression toute simple, à savoir "faire de la science", en fonction de différents contextes.

Nous pouvons alors nous demander : quelles références empiriques sont nécessaires (ou suffisantes) pour engager la première élaboration d'une connaissance scientifique ? Quelle part la pensée scientifique occupe-t-elle naturellement dans la pensée commune ? Quelle part et quel type de pensée abstraite doivent être impliqués dans la médiation entre les données de l'expérience et leur reconstruction rationnelle ? Comment tirer des faits la connaissance sur les faits ? Il y a en effet beaucoup de moyens – à tout âge et en fonction des objectifs – pour s'interroger sur "comment est fait et comment fonctionne" le monde, de même que les réponses et les niveaux d'approfondissement sont tout aussi nombreux.

les nombreux objectifs du fait de "faire de la science"

Nous omettons volontairement les questions de type épistémologique ou philosophique sur "ce qu'est la science aujourd'hui" et nous commençons donc par nous demander comment, dans différents contextes, "faire de la science" comporte des significations et des objectifs divers. Nous nous proposons ensuite d'analyser, au niveau du concret didactique, certains problèmes qui se posent lorsqu'on tente d'engager, chez les jeunes enfants, un processus d'éducation scientifique visant à stimuler des capacités de raisonnement autonome et cohérent à partir de leur expérience de phénomènes observables. Le contexte de cette recherche est donc représenté par quelques classes de l'école primaire italienne (6-11 ans) et par quelques stages de formation auxquels ont participé les enseignants de l'école obligatoire (6-14 ans).

la science en tant que recherche de nouvelles idées et la science en tant que contenu pour l'enseignement-apprentissage

Notre réflexion peut débuter en analysant les différences entre "faire de la science" à l'école et "faire de la science" dans un laboratoire de recherche. Il est différent d'enseigner la science en pensant que ce qui se fait à l'école constitue une propédeutique destinée uniquement au métier de scientifique, ou de concevoir la science comme une discipline servant également à développer chez l'individu une attitude mentale de type scientifique pouvant lui être utile dans la vie quotidienne. Voilà pourquoi il est important d'encourager l'aspect recherche créative permettant d'élaborer des interprétations originales sur les phénomènes ; il est aussi important de privilégier la "reconnaissance" de ce qui a déjà été assimilé culturellement, c'est-à-dire les connaissances scientifiques organisées qu'il est nécessaire de maîtriser .

2. LA SCIENCE DANS LES LABORATOIRES DE RECHERCHE

la science
comme
découverte :
l'élaboration de
nouvelles idées

des modèles
expérimentaux
en tant que
simulations

comprendre
la réalité en
perfectionnant
les modèles...

On peut penser que la science "professionnelle" est une recherche compétitive, sur un sujet donné, de réponses plus ou moins définies et cohérentes à des questions précises émanant des différents groupes de travail, ceci à partir d'une connaissance approfondie des faits. On ne connaît pas, *a priori*, les résultats mais chaque recherche s'engage après que l'on a pris acte (sur la base d'une bibliographie précise) de ce qu'on pense – à ce moment et dans le monde – sur un sujet donné; des interprétations nouvelles et plausibles se développent. On propose des explications et des modélisations efficaces, mais même les hypothèses les plus acceptées laissent des zones inexplorées dans la connaissance précise des phénomènes : on constate souvent des incongruités, des détails échappant aux schémas connus, des argumentations peu convaincantes... Bien qu'inexpliqués des aspects stimulent la réflexion et la créativité personnelles, conduisent à suggérer de nouveaux modèles, mais comportent toujours une marge de doute ou exigent d'être précisés. Avec l'activité de laboratoire, on cherche des preuves expérimentales entérinant des suppositions ébauchées au plan théorique, on élabore les conditions (artificielles et technologiquement contrôlées) où la simulation des phénomènes se déroulera de manière à confirmer les interprétations. On bâtit des théories complexes en s'appuyant expérimentalement sur la ressemblance entre les modèles et la réalité ; on étend à des systèmes naturels, des données recueillies (ou provoquées) dans des systèmes construits artificiellement, de structure très simplifiée mais adaptés à la mise en évidence d'aspects sélectionnés et autrement invisibles. Théorie et pratique expérimentales sont étroitement liées et se renforcent mutuellement. La connaissance avance à tâtons, projetée vers l'inconnu, mais reposant fermement sur les différentes hypothèses ou théories qui, sur un sujet spécifique, sont discutées, argumentées et défendues par différents groupes. La confirmation de la réponse découle d'un ensemble d'indices, d'un ensemble d'événements qui se réalisent selon les prévisions. Dans le laboratoire, on participe aux discussions, à l'évolution des idées, aux frustrations et aux succès, à l'ajustement continu des expérimentations modifiées pour confirmer des résultats... Tout ceci montre que la recherche ne se déroule aucunement selon les étapes canoniques de la méthodologie scientifique (observation, hypothèse, expérimentation, vérification). Il semble donc impossible de reconnaître l'activité scientifique réelle dans sa description conventionnelle, comme toujours déformante et schématique.

En dépit de l'existence d'une créativité individuelle, la recherche en biologie est encore aujourd'hui un phénomène collectif : on aborde souvent des problématiques à la mode ;

... avec des instruments coûteux...

on utilise ou on se laisse tenter par des technologies d'avant-garde impliquant l'achat d'appareillages de plus en plus automatisés et souvent très coûteux. Avec de tels équipements, chaque laboratoire s'efforce de définir toujours mieux des particularités ou des détails qui, au niveau mondial, dessinent à travers les efforts (compétitifs et pas toujours coordonnés) des projets de recherche différents et financés de diverses manières.

...qui construisent de nouvelles réalités

Les groupes et les chercheurs isolés interagissent dialectiquement ; ils utilisent ou contestent les résultats des autres ; ils imaginent et expérimentent des éventualités imprévues ; ils défendent à l'aide de leurs argumentations les représentations (expérimentales ou mentales) des phénomènes. En laboratoire, l'originalité est indispensable : il faut décrire des faits nouveaux, noter des détails nouveaux, construire d'autres réalités qui dépendent souvent des équipements disponibles. Parfois, dans les laboratoires, prend forme une sorte d'univers parallèle à l'univers réel et qui procède selon des règles qui lui sont propres (on étudie par exemple des souches de cellules cancéreuses cultivées *in vitro* depuis des dizaines d'années, des souches de bactéries et de drosophiles qui n'ont plus d'équivalent dans la nature, des organismes transgéniques, des molécules de synthèse expressément isolées, des fragments d'ADN insérés dans des plasmides ou reproduits à l'aide d'une PCR...). La validité de telles pratiques expérimentales n'est généralement pas remise en question dans la phase de réélaboration cognitive. En biologie, on ne s'interroge pas toujours sur les différences entre ce qui se passe *in vitro* dans des conditions contrôlées, et ce qui se passe effectivement *in vivo*. Ainsi, de nombreuses difficultés surgissent lorsqu'on essaie d'appliquer les résultats obtenus en laboratoire à l'être vivant dans toute sa complexité : l'introduction expérimentale de gènes dans un génome, par exemple, est devenue une pratique courante tandis que la thérapie génique demeure encore assez problématique.

défendre, argumenter, communiquer les résultats obtenus

Les modalités de communication des résultats varient d'une discipline à l'autre, et même si les programmes informatiques sont d'une grande aide en ce qui concerne l'élaboration des données, il est utile de rappeler que seuls certains secteurs de la biologie se servent de modèles mathématiques. Schémas fonctionnels, dessins, élaborations graphiques sont beaucoup plus fréquents et constituent un langage perceptif efficace pour la schématisation et la description des nouveaux résultats.

3. LA SCIENCE À L'ÉCOLE

La science à enseigner ou à apprendre à l'école fait partie d'un patrimoine de connaissances et d'interprétations

la science
en tant que
connaissance
d'un patrimoine
acquis : ce qu'il
faut savoir sur le
monde dont
nous faisons
partie

programmes
et manuels
comme
synthèse
du savoir à
partager...

... sans être
trop créatif

élaborées par l'humanité au cours de son histoire. Parmi celles-ci, certaines semblent encore évoluer tandis que d'autres, particulièrement satisfaisantes, sont considérées comme établies une fois pour toutes et paraissent stables (du moins provisoirement). Par exemple, on retient que les "lois" de la physique, formulées de façon plus ou moins élaborée, sont valables dans n'importe quel temps et dans n'importe quel espace, du moins à notre échelle (certes, il y a la relativité... il y a la mécanique quantique... mais pour le moment, on n'enseigne pas cela à l'école). Justement parce qu'elles semblent se référer à des conceptualisations largement partagées, il est bon que certaines lois et certaines connaissances de base soient connues et assimilées par les nouvelles générations. Nous pensons que, de cette manière, et dans un avenir imprévisible, les enfants seront prêts à interpréter scientifiquement certains aspects de la vie quotidienne, qu'ils acquerront une attitude rationnelle à l'égard des événements habituels et qu'une fois grands, ils seront éventuellement en mesure de développer de nouvelles connaissances.

Les connaissances essentielles et indispensables sur lesquelles reposent les sciences sont définies de manière plus ou moins détaillée dans les programmes ministériels qui indiquent, en fonction de l'âge, ce que tout élève d'aujourd'hui devrait savoir. À quelques nuances près, l'Italie s'aligne sur les contenus européens autour desquels s'organisent les programmes des matières scientifiques, tandis qu'on note des différences importantes quant à l'usage et à la fonction du laboratoire et des activités expérimentales. Pour chaque discipline, les références théoriques considérées comme essentielles et les argumentations qui soutiennent les interprétations élémentaires des phénomènes sont résumées dans des textes ou dans des manuels décrivant schématiquement des explications largement partagées. La "recognition" du savoir est déjà fin prête. Les thèmes sont classés selon un ordre standardisé ; ils suivent une logique didactique qui, en général, ne reflète pas l'histoire de la pensée scientifique, et ils ne mettent pas non plus en évidence la méthodologie qui lie les explications à l'expérience concrète. Chaque argument induit le suivant, jusqu'à la brusque chute de la conclusion, du moins à ce niveau d'apprentissage.

Les contenus se succèdent de page en page en séquences souvent linéaires, et les élèves doivent apprendre synthétiquement et en peu de temps ce que d'autres (les scientifiques) ont mis des centaines d'années à comprendre dans un contexte culturel bien différent de celui d'un cours de science. Dans ce type d'apprentissage, il importe de ne pas être trop "créatif" et de ne pas se poser trop de questions parce que, de toute façon, on n'aurait pas le temps de leur apporter une réponse. La pensée divergente – un talent rare, synonyme de non homologation culturelle – est pénalisée ou

considérée comme une attitude frisant l'extravagance. Ainsi, pour démontrer leurs connaissances, les élèves doivent savoir faire leurs exercices – plutôt que d'affronter des questions – en adaptant leurs réponses à celles qu'accréditent les textes.

les laboratoires
pour démontrer
ce qui doit
arriver...

Dans les salles de travaux pratiques, il règne généralement une atmosphère bien différente de celle qui caractérise les laboratoires de recherche. Ici, on répète des procédures standardisées qui, quand "ça marche", produisent des résultats attendus, déjà définis, visant à la compréhension d'un concept bien précis. Une recherche portant sur les expériences proposées par les manuels de biologie, à différents niveaux scolaires, démontre que les activités décrites s'élèvent environ au nombre de 200 et que celles-ci – substantiellement identiques – sont présentées de la même manière. Mais les indications fournies pour les exécuter sont souvent erronées dans la mesure où elles dérivent de la copie, de la simplification ou de la synthèse d'une même description faite par un auteur qui avait lui-même résumé une description précédente... et ainsi de suite. Quant aux démonstrations, elles sont le plus souvent lues ou racontées selon une curieuse inversion du processus qui devrait consister à partir de la pratique pour arriver au récit et non le contraire. Même lorsqu'on va effectivement en travaux pratiques, c'est presque toujours l'enseignant qui explique et tire au clair ce qu'il faut faire ou regarder ; et les élèves, de leur côté, font de leur mieux pour voir ce qu'il doivent voir. Le temps de la démonstration est toujours très limité et, à cette occasion, les divergences de pensée doivent être opportunément bridées. Pour plus de sécurité, on a l'habitude – à l'école primaire – de dicter les résultats et les conclusions de l'expérimentation afin que les enfants les écrivent correctement dans leur cahier. Au lycée (mais aussi à l'université) les expérimentations faites par autrui font l'objet d'une étude livresque, et les élèves s'entraînent à les répéter mot à mot, en utilisant la terminologie appropriée : ils peuvent ainsi avoir une bonne note aux divers contrôles. Pour ce qui est de la maîtrise des connaissances biologiques, il suffit, dans la plupart des cas, de savoir distinguer et nommer les figures, de savoir reconnaître et décrire les schémas, en somme un exercice de mémoire. Il est évident que tout cela peut être utile – mais peut-être pas nécessaire – mais ce genre d'activité conforte chez les enfants la conviction selon laquelle les explications et les expérimentations ont une vie propre, bien éloignée des faits qu'il faudrait comprendre.

... dans un
temps limité...

... et pour
répondre aux
vérifications

tout le monde
sait que dans
l'enseignement
des sciences,
quelque chose
ne va pas,
mais changer
les choses est
extrêmement
ardu

Le plus étonnant c'est que tout le monde s'accorde – y compris les enseignants – sur des méthodes de travail aux résultats plus que modestes. Mais modifier un enseignement à l'évidence stérile exige des efforts considérables (ce dont le travail de l'INRP témoigne à merveille). Aussi n'est-il peut-être pas inutile de retravailler des situations que tout le monde

connaît pour différencier toujours mieux l'idée de la science en tant que construction de la pensée, de l'idée assimilant la science à une simple pratique, ou pire, à la description d'activités pratiques nommées "expérimentations".

3.1. Mais qu'est-ce qu'une expérimentation ?

En réalité, il n'existe pas de frontière nette entre l'expérience, entendue comme contact initial avec la réalité concrète, et l'expérimentation, c'est-à-dire la réalisation d'un projet de connaissance conformément à une intention préétablie. Cela ne dépend pas seulement du fait que – du moins selon Piaget – les élèves de l'école primaire n'ont pas acquis les capacités de raisonnement formel nécessaires. Mais cela dépend plutôt de l'attitude mentale et des buts explicites à l'aide desquels on met en place des situations dont on observe l'évolution. De fait, en changeant l'objectif cognitif, un même phénomène peut être vécu comme une démonstration, comme une expérience nécessaire pour prendre acte d'une certaine réalité, ou encore comme une intervention sur les faits afin de les expliquer et de les interpréter. Il est important de recueillir des données mais, surtout en biologie, il n'est pas toujours possible (ni même nécessaire) de faire des mesures ou de formaliser le phénomène à l'aide d'instruments mathématiques. Il importe, en revanche, que le développement des structures cognitives se base sur l'expérience concrète en regardant, en vérifiant, en modifiant certains aspects de la réalité, tandis que les finalités qui président aux actions deviennent au fur et à mesure plus claires, et que les interprétations se font plus riches et significatives. Les objectifs de l'expérimentation peuvent être variés comme nous le montrerons à travers les exemples ci-dessous.

le développement des structures cognitives doit se baser sur l'expérience concrète

On peut observer :

- ce qui se passe si... ou ce qui se passe quand... on intervient de manière précise sur un phénomène ;
- comment un phénomène évolue dans le temps selon sa propre nature ou suite à des interventions programmées.

On peut comparer :

- l'évolution de certains processus mis en place dans des conditions différentes ;
- l'efficacité d'une intervention dans des situations différentes ;
- les variations d'une ou de plusieurs variables d'un phénomène.

On peut agir sur la réalité :

- en essayant de la modifier sur la base de connaissances préalablement acquises ;
- en essayant d'en reconstruire certains aspects pour voir si ce que l'on attend arrive (ou pas).

variété des objectifs de l'expérimentation

On peut explorer une situation réelle ou reconstruite en laboratoire :

- en cherchant des relations avec d'autres situations ;
- en procédant à des vérifications pour étayer ou pour élaborer des hypothèses : si cette chose arrive, alors ça veut dire que...

Du point de vue cognitif, on peut superposer à l'expérience (celle-ci correspond à une première et nécessaire prise de conscience des faits) l'expérimentation qui, pour des raisons heuristiques, se propose de modifier la réalité afin de mieux la connaître et l'expliquer, ou afin de réaliser des projets d'interprétation de plus en plus élaborés. Dans ce but, il est souvent utile de rassembler des données quantitatives et qualitatives, de faire des mesures précises, des graphiques, d'opérer des formalisations... sans confondre la fin avec les moyens.

Ainsi, les expérimentations peuvent être associées à des moments d'expérience ; elles peuvent s'enchaîner logiquement afin de vérifier des connexions causales, d'étudier et de modéliser l'évolution des processus, d'établir une distinction entre variables fondamentales et conditions annexes. Toutefois, il semble qu'une participation cognitive personnelle au processus étudié soit toujours nécessaire : de nombreuses expérimentations didactiques ne sont en réalité que des démonstrations ne répondant pas aux vraies questions. Une procédure plus ou moins complexe se substitue, bien souvent, à l'esprit et au but d'une expérimentation. Voilà pourquoi il serait important de trouver des mots différents pour expliquer : a) l'usage des équipements du laboratoire ; b) les expérimentations démonstratives dont les résultats sont d'ores et déjà connus ; c) les expérimentations de recherche, conçues et élaborées pour comprendre quelque chose qu'on ne connaît pas encore (ces expérimentations peuvent être faites même avec des petits). Dans le langage scolaire le terme "expérimentation" est d'une extraordinaire polysémie car il signifie à la fois expérience, démonstration, travail pratique, utilisation d'un appareillage complexe, expérimentation réalisée par tel ou tel scientifique...

C'est justement à cause de cette polysémie qu'il n'est pas facile d'imaginer quelles attentes suscite, dans l'esprit des élèves et du professeur, la phrase rituelle : "et maintenant, on va faire une expérimentation".

3.2. De l'expérience à l'expérimentation

Comme nous le verrons mieux dans les exemples qui suivent, il est clair que n'importe qui peut facilement apprendre et suivre une pratique expérimentale, c'est-à-dire est capable d'apprendre à utiliser un appareil ou à répéter une suite de gestes nécessaires pour obtenir les résultats prévus. Tout le monde peut observer l'évolution programmée d'une séquence de faits, noter les conséquences de certaines actions, dire à quoi sert ce qu'on est en train de faire en

être conscient
de la polysémie
du terme
expérimentation

lisant tout ça dans un livre ou en écoutant le professeur : "Couvrir les feuilles avec du papier d'aluminium, ça sert à voir la photosynthèse" ; "on met le mercure dans le tube pour observer la pression" ; "on laisse le jus de raisin dans l'armoire pour faire du vin" ...

il faut des connexions logiques entre expérimentation et réalité...

Mais tous les élèves ne comprennent pas, au contraire, un point fondamental, c'est-à-dire la connexion logique entre le plan de la reconstruction contrôlée d'un événement et ce qui se passe dans la réalité. Il ne s'agit pas uniquement d'engager des procédures visant à recueillir des données ou à faire des mesures. Ici, la réflexion épistémologique est nécessaire et les questions qu'on doit se poser ne sont pas banales. Pourquoi une expérimentation (organisée matériellement dans un contexte artificiel) démontre-t-elle quelque chose d'autre, c'est-à-dire donne une signification à un phénomène qui advient dans la réalité ? Comment ce qu'on provoque peut-il donner des indications sur ce qui, dans certaines conditions, arrive naturellement ? De quels instruments conceptuels faut-il disposer pour comprendre comment un événement qui se passe dans un appareil ou dans une éprouvette représente une réalité qui, souvent, lui ressemble si peu ?

... mais il faut également des informations et des théories de référence...

Le parcours entre ce que l'on voit et ce que l'on pense est plutôt complexe et varie en général d'un individu à l'autre. Mais il y a des difficultés objectives que tout monde doit affronter et qui peuvent éventuellement être dépassées si l'on domine un entrelacs de connaissances générales renvoyant à des connaissances particulières et vice-versa. On a besoin de stratégies cognitives qui, comme nous le verrons plus loin, permettent d'articuler les raisonnements sur la base d'indices, d'interpréter le monde macroscopique à partir de processus microscopiques, de lier un fait particulier à une théorie plus générale.

... autrement les démonstrations ne démontrent rien

Par exemple, pour assimiler l'idée que, dans la photosynthèse, l'énergie lumineuse se transforme en énergie chimique, il n'est pas suffisant de couvrir les feuilles des plantes avec du papier d'aluminium. De la même manière, la coloration qui apparaît lorsqu'on traite la feuille avec de l'iode ne témoigne pas automatiquement de la présence d'amidon. Même l'enseignant qui connaît parfaitement le mécanisme de la photosynthèse ne s'attarde pas toujours à réactiver les connaissances nécessaires pour que la démonstration démontre quelque chose, pour que des faits expérimentaux donnent une signification à ce qui passe au niveau de la feuille verte d'une plante. Plus généralement, les enseignants ne se rendent pas compte de la problématique intrinsèque aux processus expérimentaux à laquelle l'élève se trouve confronté. Il n'est pas dit qu'une coloration bleue (provoquée) soit plus significative qu'une coloration verte (naturelle) pour imaginer l'évolution d'une transformation chimique aussi complexe. Et pour l'enfant, il n'est vraiment pas facile de comprendre que (c'est seulement à la lumière... seulement là

ou se trouve le “vert” ...) des particules invisibles d'eau et de dioxyde de carbone s'unissent chimiquement (ou miraculeusement) pour former quelque chose qu'on appelle du sucre (mais un sucre bien différent de celui qu'on met dans son bol de lait le matin !). Et puis, à ce qu'il semble, les plantes ne sont pas faites en sucre ! Et le bois, comment se forme-t-il ? Pourquoi les transformations successives, qui sont également importantes pour rendre compte de ce qui – au niveau de la perception – va donner une plante, ne sont-elles jamais ni démontrées ni expliquées ? Au lycée, l'expérimentation sur la photosynthèse est – ainsi que quelques autres – incontournable, mais elle y est réalisée avec plus de soin. Ces expérimentations, certes utiles, ne sont pas suffisantes pour forger une pensée et une trame de connaissances, permettant d'envisager la complexité de la vie végétale, les problèmes de différenciation, la relation entre les éléments vivants et les éléments morts, l'efficacité des engrais... ainsi que des problèmes plus généraux tels que la désertification, la monoculture, la culture transgénique, la pollution.

Si l'on ne parvient pas à comprendre quels aspects de la réalité sont représentés dans les expérimentations, ou pourquoi certains aspects ne méritent pas d'être démontrés, les résultats demeurent peu compréhensibles et se présentent comme de minuscules détails de phénomènes infiniment plus compliqués. Certains processus du monde réel sont déformés, schématisés, ralentis, exagérés pour être étudiés. Si les procédures expérimentales ne sont pas comprises, elles ne donnent pas d'accès cognitif à la réalité. Et une expérimentation n'est presque jamais comprise si l'on ne dispose pas déjà d'un modèle mental – articulé et complexe – de la réalité que l'on cherche à interpréter.

les activités
concrètes
peuvent
développer
une pensée
abstraite,
mais il faut
des modèles
mentaux
pour donner
une signification
aux faits

4. APPROCHES DIDACTIQUES

4.1. Comparaison entre des liquides au cours préparatoire

Des enfants du cours préparatoire travaillent depuis longtemps avec des carafes et des verres ; ils transvasent l'eau, s'amusent à faire des gouttes, à verser l'eau dans des filtres ou du tissu. Suivons donc le parcours didactique pour rendre compte des difficultés cognitives cachées dans un phénomène banal, et notons comment, du point de vue méthodologique, on peut élaborer des interprétations à partir de l'expérience.

L'enseignant propose : *verse trois gouttes sur la serviette et après, récupère-les et remets-les dans le verre.*

Les enfants s'y emploient ; évidemment ils n'y arrivent pas et tentent d'expliquer :

une méthodologie
de recherche :
stimuler les
interprétations
plausibles

- *La serviette, c'est ce qui essuie les gouttes, alors si on les met dans la serviette, l'eau sèche et on ne voit pas les gouttes.*
- *Évidemment, parce que l'eau est encore plus fine que les petits trous du filtre, et les gouttes vont finir dans les poils de la serviette.*
- *L'eau n'a pas séché dans la serviette ; elle est encore toute mouillée, elle restera toujours mouillée.*

Mais cette eau a-t-elle séché (et a-t-elle donc disparu dans le néant) ; a-t-elle été séchée par la serviette (et est-elle donc restée dedans) ou a-t-elle été absorbée par les poils, laissant ainsi la table toute sèche ? Quelles sont les différences, non pas seulement linguistiques, entre les termes "sécher" et "absorber" ? Quand donc introduire le verbe "évaporer" ?

L'enseignant propose d'observer ce qui se passe avec l'alcool et en verse un peu dans une assiette en plastique.

- *L'alcool qui est dans l'assiette s'en va.*

Enseignant - *Et où va-t-il ?*

- *Il sèche, l'alcool a séché !*

Enseignant : - *Il est parti quelque part ? Où ça, d'après toi ?*

- *Il a disparu.*

- *Il a été absorbé dans l'assiette.*

L'idée de conservation de la matière est plutôt lointaine. Mais parler du linge qui sèche sans se poser trop de questions sur l'évaporation ou sur ce que devient l'eau fait partie de l'expérience commune.

De nombreux enfants disent que dans le linge sec il y a de l'eau sèche, de l'eau qui n'est pas mouillée, et qui redevient liquide (qui mouille à nouveau) lorsqu'elle entre en contact avec une autre quantité d'eau. De quelle expérience peut bien naître une idée pareille ? Peut-être des taches d'encre sur le cartable qui colorent en bleu l'eau quand on essaye de les ôter ? Quelles expériences scientifiques et quelles analyses quantitatives seraient nécessaires pour corriger ces idées ?

Peut-être que dans l'assiette il y a des petits trous invisibles où va se loger l'alcool, des trous analogues aux poils de la serviette. Pour donner au mot "évaporation" une signification, est-il raisonnable d'imaginer des trous minuscules et invisibles dans un air lui aussi invisible ?

L'enseignant verse quelques gouttes d'alcool dans les mains des enfants : l'alcool sèche (s'évapore) rapidement en provoquant une sensation de froid.

Enseignant : - *Et alors, qu'en avez-vous fait, de l'alcool que je vous ai donné ?*

- *C'est l'air propre qui l'a pris, c'est l'air qui l'a enlevé.*

- *Il a été absorbé par la main, par les petits trous de la peau.*

- *Comment ça se fait qu'il est parti ? On ne sait pas.*

- *Si on met un mouchoir dessus, alors il s'en va dans le mouchoir...*

mais où est
passé l'alcool ?

L'eau sèche
existe-t-elle ?

est-ce que l'air
est comme un
essuie-mains ?

– *Et comment est-ce qu'il peut s'en aller du mouchoir ?*

Les observations et les questions montrent la perplexité des enfants : il n'est guère aisé de leur expliquer ce qu'ils voient, et de nombreuses choses devraient être "vérifiées" pour arriver à une explication acceptable. Comment se convaincre, en effet, que les mains n'absorbent même pas un tout petit peu d'alcool? Seraient-elles sans petits trous? Et le froid ne pourrait-il être une conséquence du mélange entre le sang et l'alcool? À l'aide de quelles expériences peut-on démontrer que ce n'est pas cela qui se passe ?

se sécher,
être absorbé
ou s'évaporer?

Et maintenant l'enseignant met l'eau et l'alcool dans des petits flacons bien fermés et dans des assiettes de porcelaine, en espérant qu'il n'y ait ni "petits trous" ni "poils" qui absorbent le liquide. On observe encore ce qui se passe. Dans l'assiette, l'alcool sèche rapidement, tandis qu'il semble rester à l'identique dans le récipient.

– *Si on le met dans une petite bouteille avec un bouchon, le bouchon l'oblige à rester dans la bouteille ; il ne le fait aller ni en haut ni en bas.*

– *Il a besoin de trous pour sortir.*

– *L'air va l'absorber.*

– *Dans l'assiette, l'air a emporté l'eau et les gouttelettes.*

– *Il a aussi emporté l'alcool, il ne reste que l'odeur.*

Dans cet extrait des conversations entendues pendant une activité qui se déroule sur deux ou trois mois, on peut noter l'attitude propositionnelle de l'enseignant : il fait en sorte que les enfants soient en mesure d'observer des faits différents et de les comparer, sous sa houlette, les élèves découvrent les contradictions ou la véracité de leurs opinions ; mais il se laisse également guider par les observations et les idées des enfants ; il suit un fil logique mais il est capable d'ajuster, au coup par coup, ses propositions en fonction de ce qui ressort de la discussion, ceci pour contester certaines opinions ou pour les entériner.

La méthode de cet enseignant est de type hypothético-déductif mais la phrase "si tu dis ceci, comment est-ce que tu fais pour justifier cela?" est presque toujours implicite dans ses suggestions et dans la recherche d'observations toujours plus précises de la part des enfants. Les enfants ne proposent pas encore d'éventuelles expériences pour vérifier ou confirmer leurs opinions, mais on sent que certains sont prêts à le faire. Pendant ce temps, ils apprennent à suivre l'exemple qu'on leur propose, à partager une façon problématique de travailler et de penser les choses. La constatation progressive de nouveaux faits évidents, la comparaison de situations analogues les conduisent à apprécier l'exigence de cohérence manifestée par l'enseignant et à essayer de la faire leur.

Les attentes de l'enseignant sont, dans ce cas, de faire partager un répertoire phénoménologique assez large à travers l'expérience directe des différents événements pouvant survenir (ou

faire de la science sans avoir hâte de conclure

pouvant être faits par opposition) en explorant un domaine plutôt vaste. Les conclusions qui formalisent le phénomène sont encore lointaines, et il faut y parvenir doucement, en donnant aux enfants le temps qui leur est nécessaire. Pendant ce temps-là, les pensées prennent forme, certaines d'entre elles sont implicitement écartées, d'autres sont partagées parce qu'elles semblent plus convaincantes. Lorsqu'on choisit de procéder à une interprétation plausible, l'activité expérimentale – même lorsqu'elle est menée par un adulte – prend la forme d'une activité scientifique. Et en tant que telle, elle stimule la réflexion individuelle et le dialogue collectif, elle suggère des modèles causaux, elle conduit à imaginer des structures microscopiques responsables des comportements macroscopiques observés.

observer les détails pour généraliser l'expérience

Il semble donc important de faire en sorte que les enfants s'efforcent de trouver par eux-mêmes des explications aux petits détails d'un phénomène déjà connu dans ses grandes lignes. Si le contexte didactique éveille chez l'enfant le désir de mettre en jeu ses propres idées, l'angoisse et la peur de se tromper s'estompent. Si l'ambiance est calme, les multiples ressources intellectuelles des enfants convergent sur un but qui est à leur portée, et plus le détail à observer semble de peu d'importance, plus l'aptitude à expliquer devient importante. Pour commencer, il faut noter les multiples modalités selon lesquelles un phénomène général (en l'occurrence l'évaporation) se réalise et prend forme dans des situations diverses. Puis on peut établir une relation – par le biais d'un récit unique et plausible – entre les nombreux aspects observés, en veillant surtout à ce que l'explication ne contredise pas ce qui a été observé et ce qui est déjà considéré comme certain.

regarder pour savoir raconter ce qui se passe

L'observation attentive de différents cas sert justement à saisir les relations entre l'objet de la recherche et ce qui se passe tout autour, à déterminer le début de chaque transformation, à lier en un récit logique l'enchaînement des changements observés en remarquant que ce qui arrive avant modifie le contexte et conditionne ce qui arrivera après. Ainsi, les stratégies de la pensée temporelle (succession, durée, simultanéité...) peuvent se transformer en stratégies de la pensée causale (dans sa forme la plus simple) et, au niveau cognitif, on passe du ça arrive quand... à ça arrive si...

4.2. Le cycle de l'eau au cours élémentaire première année

les changements d'état...

Nous nous trouvons maintenant dans une autre école, une autre situation. L'enseignant a un problème : il veut faire comprendre aux enfants le cycle de l'eau et les différents changements d'état de l'eau elle-même. Pour commencer, les enfants ne savent pas ce que signifie le mot état (certains d'entre eux pensent aux glaciers se trouvant à la frontière

... pourquoi
ne pas valoriser
l'expérience ?

entre les États italien et français), mais ils ont une grande expérience de glaces qui fondent, de neige qui se transforme en eau, d'eau qui bout, de linge qui sèche, de sueur qui s'évapore. Il suffirait peut-être de réorganiser tous ces phénomènes connus et d'établir un lien logique entre eux, de trouver des ressemblances et des différences, de chercher et de définir les conditions dans lesquelles se manifestent des phénomènes analogues... et l'on peut aussi essayer d'élaborer un modèle d'eau qui, comme toutes les autres substances, a une structure "en particules", plus ou moins bien attachées entre elles. Les particules de l'eau se rapprochent et s'éloignent, s'unissent et se séparent plus facilement que d'autres : elles sont sensibles aux variations de la température, poussées à modifier leurs interactions par apport de chaleur... Il ne s'agirait donc pas d'expliquer des choses nouvelles, mais de rattacher de manière cohérente des phénomènes bien connus. Toutefois, l'enseignant veut "faire une expérimentation", celle canonique qui consiste à faire fondre de la glace dans une casserole, à faire chauffer l'eau jusqu'à ce qu'elle parvienne à ébullition, faire condenser la vapeur sur un couvercle froid... Du point de vue cognitif, cette activité peut représenter en tant que telle une expérience pour ceux qui n'ont jamais bien vu comment bout l'eau, ou devenir de manière heuristique une expérimentation si à travers elle on parvient à démontrer, par exemple, le rôle de l'énergie thermique dans la transformation ou si elle répond à des questions précises. Par exemple : comment se fait-il qu'à partir d'un certain moment, le même flux de chaleur ne fasse plus augmenter la température ? Dans notre cas (et malheureusement dans de nombreux cas semblables) les activités qui sont pompeusement appelées "expérimentations" débouchent uniquement sur des simples démonstrations de faits, parce qu'on omet d'en expliquer la signification heuristique et cognitive. Les enfants observent (sans toucher, parce qu'ils pourraient se faire mal) et voient des choses qui, à leur âge, ne sont pas tout à fait évidentes. Le simple fait de regarder est important pour se rendre compte personnellement de ce qui arrive, et enrichir de manière consciente sa propre expérience.

L'enseignant, cependant, veut conduire sa classe, à partir de l'évidence des faits, à visualiser mentalement le cycle de l'eau : les relations sont pour lui absolument évidentes, elles le sont beaucoup moins pour les enfants. Du reste, il est peu probable que ce qui est évident pour celui qui sait le soit aussi pour celui qui ne sait pas encore. En outre, voir les phénomènes qui arrivent "naturellement" dans la vie de tous les jours, c'est une chose, se servir de ces évidences pour élaborer un modèle abstrait de cycle de l'eau – totalement éloigné tant de l'expérience individuelle que de l'activité réalisée – en est une autre. Il faut savoir voir clairement dans quelle mesure l'expérimentation est comme la

en quoi
l'expérimentation
est-elle comme
la réalité ?

réalité, et dans quelle mesure, en revanche, elle s'en éloigne radicalement. Les relations nécessaires pour comprendre "quels éléments de l'expérimentation correspondent à quoi dans la réalité" ne sont pas très simples, même dans une situation aussi banale. Le lieu, le moment, les températures auxquelles se réalisent naturellement les différents phénomènes, les phases du cycle sont différents. Et puis dans la nature on peut constater la simultanéité, pas seulement la succession, par exemple entre fusion et évaporation... Pourquoi donc, si l'eau s'évapore (en bouillant) d'un petit pot situé sur un réchaud, faut-il penser que "la même chose" arrive dans les océans et la forêt amazonienne ?

penser par
stratégies

Apparaît la nécessité d'une habitude à élaborer, à différents niveaux, des stratégies de la pensée qui mènent à l'abstraction, la nécessité de recourir de manière habituelle à des stratégies de pensée analogique, tout en sachant que ce n'est qu'en imposant des analogies (en projetant le concret visible sur d'autres échelles... en d'autres périodes, d'autres lieux, avec d'autres conditions de température...) que l'expérience avec le petit pot peut mimer (représenter) ce qui, à l'échelle de la planète, se passe réellement .

l'eau qui bout
et le cycle
de l'eau :
le ciel est-il
comme un
couvercle ?

Les glaciers de montagne fondent, plus par frottement qu'à cause de la chaleur du soleil, l'eau des ruisseaux, des lacs et des mers, des forêts ou des prés ne se comporte pas comme l'eau du petit pot (la première ne bout pas, mais toutes deux s'évaporent) ; la "fumée" chaude qui sort de la casserole n'est pas comme les nuages chargés de pluie qui annoncent l'orage (mais dans les deux cas c'est de la vapeur d'eau) : le couvercle placé sur le petit pot n'est pas comme les hauts stratus froids de l'atmosphère (et pourtant, dans certaines conditions, la condensation a lieu suivant des modalités analogues).

certaines
généralisations
ne sont pas
comprises...

Une expérience d'un quart d'heure, proposée et exécutée par l'enseignant, peut-elle vraiment être généralisée à des échelles temporelle et spatiale aussi différentes au point d'évoquer la magnificence du phénomène naturel ? Dans le contexte de la classe, les enfants apprennent plutôt à répéter l'analogie suggérée par la maîtresse, ils ne se soucient pas de donner une signification personnelle à ce qu'ils ont vu et ils ne pensent même pas à l'éventualité d'être effectivement convaincus par cette démonstration (et l'esprit critique ?).

... mais on peut
au moins
bien regarder
"comment
l'eau bout"

Il serait plus naturel, dans un premier temps, que l'observation de l'eau qui bout se limite à aider les enfants à voir "comment" elle bout, à considérer son réchauffement progressif, à observer les mille détails qui se présentent toujours dans ces conditions. Faire quelque chose dans le but d'observer une transformation peut avoir une valeur d'expérimentation et conduire éventuellement à la détermination des variables – pas toujours faciles à mesurer ! – qui interviennent dans le phénomène. Parallèlement, on peut regarder avec attention ce qui arrive aux flaques d'eau

lorsqu'elles sèchent, aux feuilles qui se fanent et qui retrouvent de la vigueur dans l'eau... En d'autres termes, l'interprétation analogique ne peut fonctionner que lorsqu'elle se fonde de manière valable sur des bonnes connaissances phénoménologiques...

L'histoire du passage d'un état à l'autre ne vaut-elle que pour l'eau ou est-ce qu'elle constitue une règle générale de comportement de la matière ? L'objectif cognitif de l'enseignant qui propose l'expérience est, probablement, celui de démontrer une situation générale à travers l'analyse d'un cas particulier. Mais la généralisation ne peut être laissée au hasard, et encore moins aux enfants. Il est à ce titre utile de mettre en œuvre des stratégies de comparaison, et de regarder de manière expérimentale ce qui arrive, dans les mêmes conditions, à d'autres substances.

On peut comparer le comportement de l'eau avec celui de l'alcool (mais il est difficile d'en trouver à l'état solide) ; ou avec celui de l'huile (mais il est difficile de la voir s'évaporer) ; ou avec celui de la naphthaline (qui sublime souvent sans devenir liquide...). À ce moment-là, les stratégies de généralisation ne fonctionnent plus. Comment distinguer les substances dont les particules, au contact de la chaleur, changent d'état d'agrégation de celles qui, comme le papier, se limitent à se transformer chimiquement ? A-t-on jamais vu le passage de "l'état solide à l'état liquide" du carton, du bois, de l'étoffe... ou même du plastique ? Et cela vaut donc la peine pour un enseignant de se demander si l'eau a un comportement si emblématique qu'elle finit par représenter toutes les autres substances ou s'il faut trouver des modèles différents pour différents types de transformations.

Sans se soucier de tous ces problèmes, les enfants regardent ce qui se passe (chacun avec sa propre idée en tête), prennent des notes, se convainquent ou montrent qu'ils sont convaincus, mais il est difficile qu'ils retiennent sans comprendre. Ne pas s'exposer aux critiques et aux mauvais notes fait partie du contrat didactique. Même au niveau inconscient, tant que le malaise n'apparaît pas évident, chaque enfant tend à se comporter comme s'il avait tout compris.

Il est très difficile de comprendre quelles sont les véritables attentes de l'enseignant, quels sont les résultats qu'il pense obtenir à travers son expérimentation. Parfois, le rituel didactique est si profondément ancré qu'il est vraiment persuadé que les enfants parviennent à voir dans les faits ce qu'ils doivent y voir, ce qu'il veut qu'ils y voient. Ce n'est pas toujours le cas. Et il est difficile d'évaluer la distance (cognitive) entre les faits qui se produisent sous les yeux de tous et les interprétations qui, au contraire, sont suggérées ou imposées par les paroles.

Si lui-même n'avait pas la moindre idée de la signification de son expérimentation, serait-il vraiment en mesure de la trouver à partir de la simple observation ? Sa compétence

confronter et généraliser... ce n'est pas toujours possible

c'est pour cela qu'il faut davantage de modèles de référence

les enfants font semblant de comprendre...

... mais le professeur est prisonnier de ses attentes...

... et ne parvient pas à s'en rendre compte

et sa sensibilité devraient le conduire à se rendre compte de la signification effective de ses démonstrations, tout comme de la solidité des connaissances des enfants (les apparences ou les simples fiches de contrôle ne suffisent pas). Son activité de recherche, la confrontation avec les collègues qui ont certainement vécu des situations similaires, l'expérience de l'enseignement, devraient l'aider à comprendre ce qui manque au plan didactique, afin que l'activité proposée puisse effectivement déboucher sur l'élaboration d'une pensée scientifique.

4.3. Le corps humain au cours moyen deuxième année

L'étude du corps humain peut représenter un domaine de recherche didactique et de structuration cognitive permettant de comprendre dans quelle mesure des expériences ou des expérimentations simples peuvent stimuler l'imagination logique et activer, de manière cohérente, de multiples stratégies de pensée. Il est important pour les enfants de comprendre que le "corps humain" est aussi leur corps, mais, comment rapporter à soi ce que l'on apprend sur les livres ? Analysons brièvement les difficultés et quelques activités possibles dans le cadre d'un parcours d'interprétation d'une réalité complexe.

on grandit
parce qu'on
mange : les
transformations

On grandit parce qu'on mange. Combien faut-il travailler sur l'imaginaire pour comprendre que ce que nous mangeons peut se transformer en corps d'enfant ?

les bonnes et
les mauvaises
substances

La nourriture transformée passe dans l'intestin : les bonnes substances passent dans le sang, les mauvaises sont éliminées à travers les selles. Comment peut-il y avoir des éléments "mauvais" dans ce que nous mangeons ? Quand faudra-t-il déplacer notre attention du métabolisme global de l'organisme (pour lequel tout est bon) au métabolisme cellulaire (pour lequel ne sont bons notamment que certains produits de la transformation chimique de molécules complexes ?).

Et comment les bonnes substances passent-elles dans le sang ? Comment l'appareil circulatoire est-il relié à l'appareil digestif ?

un intestin se
divise en noms,
sans être divisé
en parties

L'intestin se divise en... En réalité, on donne des noms différents à des parties d'un seul tube dans lequel se déroulent les processus digestifs. Comment imaginer une continuité fonctionnelle ? (cf. la très riche littérature sur ce thème, à partir des travaux de A. Giordan).

un concept
important :
la perméabilité...

Il est nécessaire d'affronter le fonctionnement systémique de l'organisme et de trouver les liens et les relations physiologiques entre les différents appareils. D'un point de vue général, il faudra faire imaginer le passage probable de substances à travers des parois ou des membranes qui en apparence ne présentent pas de solutions de continuité. Du point de vue de la connaissance biologique, la perméabilité est

... essentielle
pour interpréter
les processus
physiologiques

peut-être l'un des concepts structurants, nécessaire pour interpréter tous les processus physiologiques. Du niveau macroscopique au niveau sub-cellulaire, les parois et les membranes servent à la fois à isoler et à mettre en communication chaque intérieur avec un extérieur, et les substances qui les traversent sont impliquées dans le fonctionnement coordonné de l'organisme.

Une multiplicité d'expériences, de démonstrations et d'expérimentations pourront constituer le support nécessaire permettant de donner une signification à une physiologie complexe, chacune avec ses limites et chacune devant donner lieu à une interprétation, une expansion, une généralisation, une abstraction.

On pourra faire une expérience en explorant un fragment d'intestin de bœuf ou le mésentère qui enveloppe l'intestin d'une poule, pour voir le riche réseau de vaisseaux sanguins qui entourent un tube intestinal à la paroi apparemment imperméable. Mais le passage de l'observation à l'interprétation est toujours problématique. Comment visualiser le passage des aliments dans le sang ?

Du visible à l'invisible

Une expérience emblématique : une pomme peut-elle passer à travers un mouchoir ? En la rapant ou en la hâchant dans une assiette... en essayant de toutes les manières possibles, seul le jus et les toutes petites particules passeront à travers la trame. Cela renvoie également aux activités sur les solutions, les mélanges de substances solubles et insolubles, hydrophiles ou hydrophobes, sur les différences entre les solvants, les différents comportements d'une même poudre dans l'eau, l'huile, le trichloréthylène... On peut généraliser sur le fait que ne passent, habituellement, que les substances en solution.

Pour trouver ce qui passe et ce qui ne passe pas à travers un filtre on peut essayer de faire du thé. C'est une expérience qui peut constituer une expérimentation simple. Les petites feuilles ne passent pas, mais avec de l'eau tiède, on voit sortir du filtre un tas de particules foncées. Et les trous du filtre sont encore moins évidents que ceux du mouchoir.

Faire du thé n'a peut-être pas grand chose à voir avec l'assimilation intestinale, mais certains enfants commencent à établir des relations.

– *Oui, le sachet de thé est comme l'intestin. Les substances mauvaises, ce sont les petites feuilles qui restent à l'intérieur et c'est le caca, la couleur marron, ce sont les bonnes substances qui passent dans le sang.*

Un camarade propose immédiatement un contre-exemple :

– *Pense aux pâtes : les bonnes substances restent à l'intérieur de la passoire et à travers les trous, ce sont les substances mauvaises qui passent, l'eau qui ne sert plus à rien.*

Enseignant : – *Mais alors, faut-il imaginer la paroi de l'intestin comme le sachet de thé qui fait passer les bonnes substances ou comme la passoire qui fait passer les mauvaises ?*

Le modèle commence à prendre forme : il peut y avoir des trous invisibles, des substances qui les traversent et d'autres qui ne passent pas.

Une expérimentation démonstrative peut conduire à des raisonnements analogiques et il est possible à présent de faire différentes expériences de dialyse.

Le tube de dialyse (une membrane semi-perméable) est comme l'intestin, ce qu'on y met à l'intérieur est comme la nourriture mangée et transformée, le liquide dans lequel le tube est plongé est comme le sang, dans lequel passent les particules traversant les parois.

de nouveaux
mots,
de nouvelles
idées : équilibre
et déséquilibre

On commence à se servir de mots tels que équilibre et déséquilibre, d'abord comme des évocations peu précises, puis avec une prise de conscience toujours plus grande. On découvre des analogies avec des situations matérielles, qui conduisent à des interprétations toujours plus plausibles. Quand les concentrations sont équilibrées, on ne s'aperçoit pas du passage entre extérieur et intérieur, quand les concentrations sont déséquilibrées, le passage des substances peut être démontré.

équilibres de
concentration

On parvient aux conclusions générales après de longues discussions et en imaginant des explications aptes à rendre compte de la situation. "Toutes les substances ne traversent pas la membrane, mais celles qui passent vont toujours de là où il y en a le plus à là où il y en a le moins".

le sens du flux
est imposé

Un même schéma d'interprétation, dynamique et non seulement descriptif, permet de visualiser les relations entre digestion et circulation, respiration et circulation, excrétion et circulation (P. Clément, 1991). En passant au niveau microscopique, on parvient au niveau cellulaire, où se trouve finalement la signification physiologique des activités complexes qui assurent la vie de l'organisme et de ses parties.

digestion,
respiration,
circulation,
excrétion

Ainsi, alimentées et oxygénées par le sang, les cellules vivantes grossissent, se divisent et... se multiplient : chacune peut en former deux... leur nombre croît rapidement, elles se spécialisent suivant des fonctions particulières... le corps grandit. Alors, dire qu'on grandit parce qu'on mange c'est vrai, mais ça ne suffit pas. Le modèle dynamique (fonctionnel) peut aider les enfants à élaborer des idées complexes, en suivant des processus inductifs, analogiques, logiques, causaux. La capacité de raisonner de cette manière est une composante essentielle de n'importe quelle activité scientifique.

de l'organisme à
ses cellules...
qui se multiplient
en se divisant

Pour compléter le modèle du fonctionnement du corps, il faut encore parler du rapport entre intérieur et extérieur, de la perception, du système nerveux... Les nouvelles connaissances que l'on va acquérir au fur et à mesure ne se fonderont pas cependant sur des démonstrations rituelles mais sur un échafaudage cognitif suffisamment solide pour les soutenir. En effet, comme l'écrivent J.-P. Astolfi et M. Develay (1989), la solution d'un problème complexe peut se développer uniquement à travers une succession d'activités qui

un modèle :
un échafaudage
à enrichir et
compléter

suivent des logiques différentes, et qui prennent une signification dans leur intégration réciproque.

4.4. Instruments et mesures

La recherche des variables qui décrivent ou qui conditionnent un phénomène conduit, presque inévitablement, au besoin de les mesurer, en passant des aspects qualitatifs aux aspects quantitatifs. Comme on le dit habituellement, la technologie fournit des prothèses perceptives à notre insensibilité physiologique, et chaque instrument est certainement plus sensible que nous aux différences de la variable qu'il est capable de mesurer, en transformant de manière cohérente sa valeur en chiffres. Grâce à quelques simples procédés techniques, les enfants apprennent à utiliser mètres, thermomètres et balances, en obtenant des lectures correctes et des chiffres exacts. Mais, habituellement, on se limite à utiliser les instruments pour mesurer... : leur fonctionnement demeure mystérieux (ou magique). Heureusement, il est rare qu'un enfant se demande pourquoi pour le mercure du thermomètre "avoir toujours plus chaud" se traduit par "se dilater toujours davantage" et comprenne alors que c'est pour ça que la colonne de mercure devient plus longue (sans pour autant devenir plus lourde). Les loupes agrandissent, et heureusement les enfants ne se posent pas de questions sur les "lois" de l'optique géométrique. Les balances pèsent, et on sait bien qu'ici c'est la force de gravité qui est en jeu... du moins tant qu'on ne commence pas à faire une grande confusion entre poids et masse.

quantifier
les variables :
les difficultés
de la mesure

Pour savoir comment fonctionne un instrument de mesure, il faudrait comprendre comment chaque prothèse perceptive répond numériquement de manière spécifique seulement à une des variables qui conditionnent une situation (les mètres ne s'occupent pas des variations des forces ou des températures). Il faudrait donc savoir suivre pas à pas, au fil des transductions, la variable que l'on veut mesurer. Il n'est pas facile d'imaginer par exemple que dans le thermomètre, l'augmentation de la température, est liée à une augmentation de l'agitation thermique des atomes et des molécules qui peut être visualisée par l'allongement correspondant de la colonne de mercure ou d'alcool ou que, à travers une autre correspondance, cet allongement (en millimètres mais lu en degrés) indique une variation de la température.

On lit des nombres sur des règles, des bols gradués, des compteurs kilométriques, sur des balances, des tachymètres, des indicateurs de fréquences des radios... des montres. Ce sont toujours les mêmes et ils indiquent des choses très différentes ; c'est pourquoi il est facile de confondre et de ne pas comprendre à quelle variable ils font référence (et pourquoi).

du nombre à la variable et au changement de la variable

Sans vouloir aller plus loin dans les mystères et le charme de la mesure, rappelons simplement ici l'abstraction nécessaire d'avoir pour penser à la variable qui se cache derrière le nombre indiqué ou pour pouvoir déduire, toujours à partir des chiffres, les modalités de ses variations. Avec les précautions nécessaires ces problèmes peuvent aussi être affrontés à l'école primaire, tout en sachant que des enfants plus âgés ne savent pas donner une signification concrète aux chiffres qu'ils relèvent avec une extrême précision et des instruments encore plus perfectionnés.

5. APPRENDRE À PENSER

une science qui n'est pas ostentation

Initier les enfants à la science directement dans les manuels peut induire des réactions de rejet (les mauvais souvenirs des adultes sur la façon dont ils ont appris à l'école des quantités de choses sont à ce titre un témoignage significatif). Il ne faudrait pas les pousser à employer des mots dont ils ne connaissent pas la signification et il ne faudrait pas que la science (construction de la pensée) devienne pour eux un savoir ostentatoire (une exhibition d'informations à la demande). En d'autres termes, ils devraient comprendre que pratiquer la science n'a pas pour objectif de satisfaire l'enseignant. La participation émotive, l'esprit de compétition dans le jeu cognitif, l'engagement vis-à-vis de la découverte possible, l'orgueil de la réussite... sont des éléments indispensables pour stimuler l'intérêt et la compréhension des phénomènes. Il ne s'agit plus de répéter les explications d'autrui, qui ne les concernent pas personnellement, mais de s'engager, avec sérieux, attention et gaieté, à trouver des idées qui résument véritablement les faits et qui assemblent, en les réorganisant, des connaissances différentes.

la connaissance est une émotion

Afin de rendre moins aride la connaissance scientifique, il faut donc offrir des occasions concrètes pour expérimenter non seulement comment se passent les choses, mais aussi le plaisir de penser, d'inventer de nouvelles possibilités, d'avoir des intuitions brillantes. Il ne suffit pas de postuler la nécessité d'un lien entre les aspects émotifs et les aspects cognitifs : il faut vraiment les intégrer. Bien que le terme d'"esprit modulaire" soit aujourd'hui à la mode, cela vaut la peine de rappeler l'extraordinaire ressemblance biologique entre les fonctionnements cérébraux qui génèrent des émotions et ceux qui génèrent la connaissance, et de rappeler la complexité des parcours qui, à l'intérieur de notre cerveau, associent les sensations, les perceptions, les informations et la mémoire. Il ne s'agit pas, même au plan physiologique, d'univers distincts (un simple cortex superposé à un hippocampe), mais de connexions qui s'activent simultanément en reliant différentes zones et en mettant en relation des systèmes cellulaires qui interagissent. C'est ce

les modes de fonctionnement du cerveau sont reliés entre eux

fonctionnement global qui lie de manière indissoluble les sensations internes et externes, agréables et désagréables, qui pousse à mettre en relation l'expérience, la mémoire et l'apprentissage et donne une valeur à la connaissance objective de la réalité.

...et dans un milieu agréable on apprend mieux

Nous savons tous que quand on comprend on se sent bien et quand on ne comprend pas, on se sent mal. Ce qu'on appelle la motivation naît alors également du fait que l'on se sente à l'aise dans un milieu cognitif adapté, dans lequel il n'est pas nécessaire d'affronter des situations trop difficiles ou d'affronter des obstacles disproportionnés par rapport à ses capacités. Le professionnalisme de l'enseignant joue donc dans la réalisation de ce climat. C'est à lui de percevoir dans quelle mesure le niveau de ses demandes ou de ses propositions s'adapte aux capacités cognitives des enfants qu'il a devant lui, en considérant la possibilité de revenir en arrière, de recommencer à zéro ou de poursuivre vers des objectifs plus élaborés que prévu.

6. PHÉNOMÈNES COMPLEXES ET EXPLICATIONS SIMPLES

adapter l'enseignement aux capacités d'apprentissage

Une éducation scientifique de base pourrait commencer par assembler des mots, des réflexions et des relations concernant des phénomènes à la portée des enfants et qui, si l'on ne s'y arrête pas, peuvent paraître banals. En ajustant entre eux des éléments d'expérience, de langage et de connaissance, on peut apprendre à raisonner sur des situations concrètes. Les faits arrivent, mais ne révèlent pas leur explication. C'est pourquoi les enfants doivent comprendre tout d'abord ce que signifie expliquer et ce que l'on attend d'une explication. L'enseignant doit essayer de rendre problématique ce qui apparemment ne l'est pas ; et ensemble on peut décider de ce qu'on peut regarder, par où commencer, ce qu'on prend pour acquis, ce qui est avéré ou ce qui ne l'est pas... ce que l'on essaie vraiment de faire. La science impose de poser de vraies questions, celles dont on ne connaît pas la réponse ; et des stratégies didactiques élémentaires imposent de ne pas donner des explications qui n'auraient pas été demandées, mais d'en faire naître le besoin.

une science à la mesure de l'enfant...

Dans cette approche, le point essentiel au plan méthodologique consiste à savoir travailler au niveau des enfants, en respectant leurs exigences cognitives et, dans le même temps, en les développant. Pour un enfant, il est important de se rendre compte que le monde, dans son état naturel, peut être problématique. Le besoin d'une explication n'est pas spontané : et seule l'interaction didactique avec un adulte qui stimule la réflexion peut ouvrir la voie à l'imagination cohérente, à l'interprétation scientifique. Bien que

... pour trouver
les idées qui sont
derrière les faits

n'étant pas en mesure de suivre dans sa totalité un raisonnement hypothético-déductif, les enfants de l'école élémentaire sont en général capables d'abstraction mais ils ne savent pas imaginer les idées qui se trouvent derrière les faits, pas plus qu'ils ne sont en mesure de les trouver dans l'austère langage scientifique qui en cache souvent le sens. Même les enfants plus grands (et de nombreuses recherches confirment cette attitude) ne parviennent pas à supposer que derrière les listes de phénomènes à étudier il puisse y avoir des élaborations de la pensée, ou que ces interprétations soient soutenues par des constructions mentales élaborées. Les idées apparaissent comme autant de supras-structures inutiles, pesantes, qui bloquent un apprentissage mnémonique utile et qu'il ne vaut pas la peine de produire par soi-même. Tout au plus s'agit-il d'une inutile philosophie de plus : des mots supplémentaires à mémoriser.

On ne peut avoir l'illusion que les travaux pratiques peuvent vraiment résoudre tous les problèmes, mais il est certain que si on les enrichit d'une réflexion métacognitive élémentaire, ils peuvent aider les enfants à bâtir des explications qui leur sont propres et à mettre en relation des faits concrets avec une réélaboration abstraite plausible.

constatations
et tautologies
pour
se familiariser
avec les
phénomènes

En développant une quelconque activité pratique, les enfants peuvent être conduits à se souvenir d'expériences similaires, à les raconter à leurs camarades ou à les différencier. La construction d'un patrimoine commun amplifie et précise le problème, et joue un rôle analogue à celui d'une recherche bibliographique pour un adulte. Au début, les découvertes, les constatations et les descriptions vont se combiner avec des explications évidemment tautologiques. Sous la direction de l'enseignant, on peut représenter, avec des mots ou des dessins, ce que l'on voit de ses propres yeux, et ce que l'on pense pouvoir arriver. Et chaque représentation contient, de manière plus ou moins implicite, les fondements de l'interprétation.

même ce qui
semble évident
peut susciter
des questions...

Des questions plus ou moins naïves pourront faire naître l'exigence d'affiner les explications qui ont déjà été données, pour sortir des tautologies ou de l'évidence, et de chercher des idées derrière les phénomènes. Le sucre se dissout dans l'eau. C'est un fait, et ce qui se passe est bien visible : qu'y a-t-il à expliquer ? Il y a des graines qui germent et d'autres qui ne germent pas. C'est un fait, on voit l'écorce qui éclate, la racine qui sort : qu'y a-t-il à expliquer ? Il suffit de commencer à parler ensemble pour comprendre que les choses sont loin d'être simples, que les modèles possibles s'opposent presque toujours, que pour en choisir un il faut regarder les faits encore plus attentivement. Il est plus complexe en revanche de rompre le cercle vicieux que l'on crée lorsqu'on essaie d'expliquer une chose que l'on ne comprend pas par une autre chose que l'on ne comprend pas. Par exemple, en mélangeant des lieux communs et des

phrases entendues à plusieurs reprises, il y a des enfants qui sont convaincus de pouvoir expliquer le fonctionnement du cerveau. Mais les tautologies dont ils se servent sont loin d'être convaincantes :

– *Oui, le cerveau marche... comme un ordinateur, il a les informations...*

Enseignant : – *D'accord, mais... à ton avis, comment ça marche un ordinateur ?*

– *Ben... comme le cerveau.*

Les façons de faire naître le besoin d'explications devraient être la préoccupation première de l'enseignant qui peut aussi se poser des questions : comment un phénomène évident peut-il devenir problématique ? Pourquoi certaines choses peuvent – doivent – être expliquées alors que pour d'autres on se limite à les constater ? Pourquoi certaines explications n'expliquent pas ? Quand peut-on se contenter d'une explication ?

... mais il y a des explications qu'in'expliquent pas

7. STRATÉGIES DE PENSÉE

Dans les exemples précédents, pour donner une signification aux expériences et les faire évoluer vers des interprétations organiques de la réalité, nous avons vu en action plusieurs stratégies cognitives, c'est-à-dire des manières de penser qui permettent d'affronter consciemment les problèmes émergeant des situations. Essayons ici de résumer celles qui nous semblent être les plus importantes, en vue d'aider les enseignants à les percevoir plus facilement dans les attitudes des élèves.

Comme nous l'avons vu, les simples observations et descriptions activent des stratégies de pensée temporelle qui portent à trouver dans les phénomènes des éléments de succession et de contemporanéité ou à confronter les durées des différents processus. Les stratégies de schématisation aident à voir comment toute expérimentation peut représenter de manière emblématique des processus beaucoup plus compliqués tandis que les stratégies qui relient le général au particulier permettent de l'interpréter comme l'évidence d'une théorie ou d'une explication globale. La dialectique entre induction et déduction se forme désormais à travers la confrontation réciproque de ce qui se passe sur deux niveaux de complexité si différents. En ce sens, les approches expérimentales bien menées stimulent des stratégies de pensée analogique, qui portent à éclaircir les liens entre des aspects de la réalité et les caractéristiques de leur reconstitution en laboratoire.

Dans le même temps, la recherche d'une explication stimule des stratégies de pensée causale. Dans l'ensemble, l'interprétation scientifique commence à s'articuler dans la succession des questions qui renvoient aux explications :

les différentes stratégies de pensée s'entrelacent

on imagine des causes grandes ou petites, immédiates ou à retardement, individuelles ou multiples

le développement logique des interprétations

il faut des indices pour comprendre comment se passent les choses et pour intervenir de manière appropriée

la recherche des causes et des corrélations stimule la pensée hypothétique...

“c’est vrai que cette chose arrive, comme nous l’avons vu et constaté, mais qu’est-ce qui la fait arriver ?” Parfois la relation de cause à effet est évidente, mais d’autres fois on reste déconcerté par des faits qui arrivent sans cause apparente (mais y en a-t-il vraiment ?). Il y a des causes singulières et des causes multiples, des causes infimes qui provoquent des phénomènes grandioses et des causes énormes qui produisent des effets minuscules ; et on peut réfléchir en classe – et pas seulement pour faire de la philosophie – sur la signification de ce que nous appelons cause.

La curiosité et l’envie de comprendre dissimulent la richesse des expériences qui permettent également aux enfants de choisir les explications les plus efficaces, de développer des interprétations en mettant en relation ce que l’on voit, ce que l’on pense et ce que l’on sait. Chaque phénomène se déploie dans un contexte particulier, et il est possible d’identifier les conditions qui influent, de différentes manières, sur son évolution. C’est sur cela que se fondent des stratégies d’analyse permettant de découvrir ce qui influe ou n’influe pas, à différents moments, sur ce que l’on est en train de regarder. En désarticulant les différents éléments de situations même complexes, les élèves plus grands pourront repérer certaines variables (extérieures et intérieures), et observer et mesurer la manière dont la variation contrôlée de variables extérieures influence la variation de variables intérieures...

Avec l’expérience, se développent des stratégies de raisonnement fondées sur des indices : il existe des signes, souvent imperceptibles, qui indiquent comment se passent les choses et comment on peut les modifier. On propose alors des interventions afin que les choses aillent mieux : selon ses projets et ses objectifs, pour les accélérer ou les ralentir... On agit de manière ciblée et on confronte les résultats obtenus... On trouve ce qui est nécessaire, ce qui est important, ce qui ne l’est pas ; et on recherche les conditions optimales (celles grâce auxquelles tout se passe bien) ou extrêmes (les limites au-delà desquelles le phénomène ne peut pas se passer), on observe comment, du fait d’une “catastrophe” dans la relation causale, il se passe quelque chose de radicalement différent de l’effet imaginé. Repérer une cause unique n’est presque jamais possible : il est important de voir comment plusieurs causes participent de manières différentes à la manifestation d’un phénomène donné.

Dans l’interprétation de phénomènes complexes, en effet, les stratégies de pensée causale sont confrontées aux différentes corrélations entre les variables, à la spécificité fonctionnelle de certains paramètres. Pour les compléter et les enrichir, il faut des stratégies de pensée hypothétique qui conduisent à imaginer l’éventualité de nouveaux développements : si... alors... ; si je fais... il arrive ; s’il arrive cela, il arrive aussi cela... ; si je veux que cela arrive... alors je dois faire comme ça.

...met en évidence des relations entre les variables...

... et mène à la pensée systémique

La causalité linéaire se déploie dans la recherche de corrélations ; la pensée s'exerce sur plusieurs dimensions, l'interprétation globale tient compte des interférences et des dépendances entre différentes variables... Des stratégies qui déterminent des causalités linéaires se développent dans ce que l'on considère comme des causalités circulaires mettant en évidence des rétroactions (feedback) positives et négatives, qui affrontent la complexité avec des stratégies de pensée systémique.

8. POUR CONCLURE : SCIENCE ET IMAGINATION LOGIQUE

un seul enseignant, une multiplicité de rôles

Les exemples et les considérations proposées montrent bien que la transformation conceptuelle d'une activité expérimentale dans le cadre d'une réflexion scientifique n'est ni le fruit du hasard ni un phénomène épisodique. Même dans les meilleures conditions (à savoir lorsque les élèves bénéficient de riches expériences et savent en parler en confrontant leurs idées) l'enseignant doit doser avec soin la séquence temporelle dans laquelle exercer les différentes fonctions : au fur et à mesure, il doit savoir en effet provoquer, guider, suggérer, orienter, faire semblant de ne pas entendre, réorganiser, solliciter... conclure. Il est important également qu'il sache effectuer un retour en arrière par rapport à ses connaissances jusqu'à se trouver sur un terrain commun avec ses élèves. Évidemment, il ne s'agit pas d'oublier les véritables interprétations scientifiques des faits mais d'essayer de regarder les histoires des phénomènes avec les yeux de ceux qui n'en connaissent pas l'épilogue.

l'imagination logique et la construction de modèles...

L'enseignant peut alors se permettre de proposer des activités de modélisation fondées sur l'imagination logique. La construction de modèles met au jour certaines connaissances (méta-connaissances) des élèves, mais elle est fondamentale pour stimuler des processus de réflexion hypothético-déductive. "Si la graine se gonfle dans l'eau, comment imagines-tu son enveloppe?" "Si quand on piétine une brique il en sort de la poudre, comment imagines-tu cette poudre dans la brique ?" Et ainsi de suite.

Il n'est pas toujours facile, pour un enseignant, d'accueillir avec attention et respect les efforts d'imagination des enfants, qui brisent les liens confortables des schématisations préconçues. Il faut accepter de nouveaux symboles pour la réalité que l'on essaie de connaître, comprendre les analogies et les métaphores qui décrivent des fonctionnements dont on ne voit pas les causes. La recherche des mécanismes mystérieux, des structures cachées nous conduit sur un terrain à la limite entre le logique et l'évident,

...pour
comprendre
ce qui ne peut
se voir

le magique et le cognitif. Cependant, lorsqu'ils sont conduits par un adulte à réfléchir sur ce qu'il est possible de comprendre, les enfants peuvent apprendre à relier les faits et les interprétations en trouvant dans l'invisible – tels de véritables scientifiques – les explications causales du visible. Les expérimentations, toutefois, peuvent servir précisément à éclairer l'invisible, à mettre en évidence les relations cachées. Et même si on veut que les enfants jouent aux scientifiques, il est souhaitable qu'ils sachent les imiter non seulement dans les processus d'expérimentation de routine, mais surtout dans la capacité d'invention et d'imagination, la richesse cognitive qui leur permet d'enquêter sur le monde de manière expérimentale.

Maria ARCÀ
Centro di studio per gli Acidi Nucleici del CNR
Università di Roma, Italie

BIBLIOGRAPHIE

- ALFIERI, F., ARCÀ, M., GUIDONI, P. (Eds.) (1995). *Il senso di fare scienza*. Turin : Bollati Boringhieri Ed.
- Aster* 7 (1988). *Modèles et modélisation*. Paris : INRP.
- Aster* 8 (1989). *Expérimenter, modéliser*. Paris : INRP.
- ASTOLFI, J.-P., DEVELAY, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris : Presses Universitaires de France.
- ASTOLFI, J.-P., PETERFALVI, B., VÉRIN, A. (1998). *Comment les enfants apprennent les sciences*. Paris : Retz.
- CLÉMENT, P. (1991). Sur la persistance d'une conception : la tuyauterie continue digestion-excrétion. *Aster*, 13, 133-155. Paris : INRP.
- GIORDAN, A. (Éd.) (1983), *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. Berne : Peter Lang.
- GIORDAN, A., MARTINAND, J.-L. (1988). État des recherches sur les conceptions des apprenants à propos de la biologie. *Annales de didactique des sciences*, 2.
- LATOURE, B. (1986). *Science in Action*. Mylton Keynes : Open University Press.
- OGBORN, J., KRESS, G., MARTINS, I., MCGILLICUDDY, K. (1996). *Explaining Science in the Classroom*. Mylton Keynes : Open University Press.
- POZO, J.I., GOMEZ-CRESPO, I. (1998) *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid : Morata.