



HAL
open science

Face à l'expérimental scolaire

Maryline Coquide

► **To cite this version:**

Maryline Coquide. Face à l'expérimental scolaire. Education, formation : nouvelles questions, nouveaux métiers (Dir. J.P. Astolfi), ESF, pp. 153-180, 2003, Pédagogies recherche. hal-00526123

HAL Id: hal-00526123

<https://hal.science/hal-00526123>

Submitted on 13 Oct 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Face à l'expérimental scolaire

Maryline Coquidé

Les enseignants soulignent volontiers l'importance des expériences dans l'enseignement scientifique, mais plusieurs enquêtes témoignent de leur désarroi pour les conduire, et leurs propos expriment des difficultés à effectuer des choix alternatifs dans leurs modes d'intervention pédagogique. À y regarder de plus près, le consensus des acteurs sur l'importance des « *expériences* » dans un apprentissage scientifique ne semble qu'apparent. Aussi apparaît-il indispensable, en analysant les formes et les fonctions des expériences dans un enseignement scientifique, de clarifier et de débattre de leurs enjeux éducatifs. Il s'agit ainsi de contribuer à clarifier les compétences professionnelles nécessaires pour ces enseignements, à l'école primaire comme dans l'enseignement secondaire.

État des lieux

Une valorisation de principe... dans l'ambiguïté

L'opération « *La main à la pâte* », lancée en France depuis 1996 dans le but de promouvoir l'enseignement des sciences à l'école primaire, met en avant une démarche pédagogique centrée sur l'exploration et l'expérimentation d'objets ou de phénomènes. Les élèves réalisent eux-mêmes des expériences, pensées par eux, et discutent pour en comprendre l'apport. De même, le plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école, adopté en juin 2000, incite les enseignants à articuler le questionnement des élèves sur la nature et sur les objets avec une démarche constructive d'investigation, en recommandant vivement l'expérimentation directe. Le nouveau programme du Cycle 3 de l'école primaire se veut en outre résolument centré sur une approche expérimentale, en privilégiant par exemple la découverte de la matière et des phénomènes physiques, aux dépens de la réalisation des projets technologiques.

Au secondaire, les travaux pratiques (TP) et la nécessité d'expérimentation peuvent être considérés comme représentant un véritable paradigme de l'enseignement scientifique, et l'évaluation des « *compétences expérimentales* » des élèves en physique-chimie est devenue récemment obligatoire au baccalauréat. Pour nos voisins anglais également, les activités expérimentales et le laboratoire scolaire sont tellement imbriqués dans la pratique de l'enseignement des sciences, qu'il est difficile d'imaginer comment s'en passer, bien qu'aucun consensus n'ait été défini sur leurs finalités (White, 1996). Le laboratoire peut, en effet, toujours être pensé comme le support de n'importe quel objectif d'enseignement des sciences, et c'est là, peut-être, une raison de sa popularité.

Cependant, sous le même terme de « *démarche expérimentale* », sont regroupées des investigations qui présentent des caractéristiques bien différentes pour l'étude du vivant et pour celle de la matière. De plus, les contenus d'enseignement exigés par les programmes sont tellement pléthoriques, par exemple dans l'enseignement des sciences de la vie et de la terre au lycée, qu'ils se prêtent mal à l'expérimentation. En outre, des difficultés d'accord au niveau institutionnel peuvent conduire à des fluctuations et des évolutions très rapides dans le curriculum. Par exemple, l'option « sciences expérimentales », introduite en 1993 dans la classe de première scientifique en France et qui envisageait un curriculum ouvert en réservant de longues périodes pour faciliter les pratiques expérimentales effectives des élèves, a disparu à la rentrée 2000.

L'exemple britannique

Les activités expérimentales, les TP et le laboratoire scolaire ont suscité maintes recherches, didactiques et pédagogiques. Dans une synthèse, réalisée à partir de différentes revues anglophones, Lazarowitz, et Tamir (1994) constatent ainsi la récurrence constante, dans les différentes études, de deux problèmes essentiels : celui des finalités des activités scolaires menées en salle spécialisée, et celui des facteurs qui facilitent le succès des apprentissages dans ce contexte. Les activités expérimentales scolaires peuvent, en effet, avoir plusieurs fonctions : d'investigation, d'illustration, de découverte ou bien encore d'apprentissage systématique. Ces différentes fonctions ont créé des tensions dans la communauté des enseignants : débat pour ou contre l'heuristique¹, pour ou contre les manuels de travaux pratiques, pour ou contre l'évaluation et les examens.

Les vues actuelles des professeurs sur la nature des sciences et sur les activités expérimentales sont, en fait, le résultat d'une longue histoire. Une analyse historique de l'enseignement des sciences en Grande-Bretagne, effectuée par Nott (1996), reprend ainsi une enquête réalisée en 1963, et demandant à 700 enseignants de ranger les dix visées possibles des travaux pratiques. L'auteur constate qu'aucune des dix propositions n'utilisait alors les mots « *découverte* » ou « *investigation* ». L'enquête n'incluait pas non plus l'idée de faire des « *sciences réelles* » ni de « *devenir un scientifique de l'époque* », idée qui ne semble émerger que plus tard dans la décennie. C'est en effet avec le projet Nuffield, dont le succès fut considérable dans la décennie 60-70, que s'établit la place de l'inductivisme² dans les sciences scolaires. Plus tard, dans les années 70 et une grande partie des années 80, le balancement vers « *des sciences en cours* » prit place, et mina la position d'observation de faits scientifiques et d'illustration de lois et de théories.

La borne finale correspond à l'introduction en 1989 du curriculum national, en Angleterre et Pays de Galles, avec l'introduction d'un module scientifique (*Scientific Investigation*), spécialement dédié à l'investigation et avec une procédure stricte de validation. Cette introduction a été fortement discutée par les pédagogues anglais

¹ Inciter à la découverte des élèves par eux-mêmes, favoriser leur exploration.

² Cette démarche inductive consiste à supposer l'existence d'invariants dans la nature et se traduit en une démarche pédagogique de généralisation de savoir scientifique à partir de la présentation de quelques exemples ou d'induction de loi à partir de l'observation de quelques faits particuliers.

(Duggan & Gott, 1995 ; Jenkins, 1995a, 1995b), dans la mesure où le cadre promu dans ce module est celui d'un *modèle inductiviste* d'activité scientifique basée sur le contrôle de variables, recouvrant les trois plages suivantes : prévision et émission d'hypothèses ; observation, mesures et manipulation de variables ; interprétation et évaluation de la preuve scientifique. Ce cadre peut être dommageable pour la formation, car il exclut de larges aires scientifiques qui ne contrôlent pas les variables de cette façon, comme l'écologie, l'astronomie, ou la géologie. Depuis 1994, le curriculum scientifique anglais utilise désormais le nouvel intitulé *Exploration of Science*, qui remplace « variables » par « facteurs », et envisage une structure moins rigide d'évaluation.

Selon Nott, les deux fonctions principales de l'expérimentation en laboratoire scolaire, en Grande-Bretagne, sont actuellement la création et la re-création de savoir scientifique et de méthodes scientifiques. Mais quelles sont les fonctions que leur attribuent les enseignants ?

Que disent les enseignants du primaire ?

Plusieurs enquêtes ont recueilli des témoignages d'enseignants, du primaire et du secondaire, sur les pratiques expérimentales scolaires, afin d'analyser les fonctions qu'ils leur accordent. Dans l'une d'entre elles, relative à la perception d'instituteurs quant aux mises en œuvre d'activités scientifiques à l'école, plusieurs contradictions émergent des réponses (Cantor, 1996). Par exemple, les enseignants placent en tête les termes « observer », « expérimenter » et « se questionner », lorsqu'ils énoncent les objectifs prioritaires de ces activités, mais « les livres » et « la presse » représentent les supports qu'ils citent le plus fréquemment. Par rapport à de telles contradictions apparentes, nous avons pu faire l'hypothèse d'un décalage provenant des difficultés de mise en pratique des activités scientifiques par rapport à ce que les enseignants ont pu modéliser, mais aussi d'une persistance dans leurs conceptions de l'activité scientifique.

D'autres entretiens, menés auprès de professeurs des écoles débutants, témoignent en effet des diverses peurs, appréhensions et difficultés qu'ils rencontrent dans la conduite d'activités expérimentales en classe (Coquidé, 2001). De nombreuses difficultés pratiques sont d'abord évoquées, tels que déficit de matériel, problèmes de locaux, ou bien classes exiguës dépourvues de point d'eau. Ils décrivent une sorte de « *pédagogie Emmaüs* » : « *Il y a plein de choses qu'on a vues à l'IUFM, mais qui me semblent difficilement réalisables en classe. J'avais travaillé sur le sel, avec l'évaporation de l'eau, le sel de mer... Il y avait plein de choses à faire, mais je ne sais pas comment mettre en œuvre dans la classe* » ; « *Pour les engrenages, il n'y a rien..., pour l'électricité, il n'y a rien..., et tout est comme ça !* ».

Mais ce sont essentiellement des propos relatifs aux difficultés pédagogiques, d'organisation, de gestion de classe, d'animation et de gestion de temps qui peuvent être relevés. Dans cette catégorie de difficultés, on retrouve souvent « *l'abrupt de l'arrivée* », décrit par Simone Baillaquès (1993), et analysé comme des insuffisances de savoirs professionnels à l'entrée dans le métier : « *J'ai mis du temps à m'y mettre... Je ne savais pas par quoi commencer, quelles démarches adopter, quelles progressions adopter, aujourd'hui encore...* » ; « *Ce qui me dérange c'est*

que tous les enfants ne sont pas attentifs, j'ai du mal à capter l'attention de tous les enfants ». Des problèmes de temps, en particulier le temps nécessaire à la préparation des activités scientifiques et technique, apparaissent souvent prégnants : « *Pour l'instant, j'ai souvent l'impression de travailler dans l'urgence et de ne pas toujours avoir le temps d'approfondir* » ; « *Pour moi, c'est vraiment un problème de temps* ».

Le discours des instituteurs et des professeurs des écoles sur les fonctions de l'expérience scolaire apparaît, en fait, hétérogène et peu structuré. S'ils mettent en avant l'importance de « *l'expérience* », ce terme recouvre un ensemble de pratiques variées et dénote pas mal d'ambiguïtés :

- *expérimenter, c'est observer, ou bien ce tout qui relève de l'observation est un expérience* ;
- *expérimenter, c'est manipuler, ou bien manipuler, c'est expérimenter* ;
- *expérimenter, c'est chercher, ou bien chercher, c'est expérimenter* ;
- *expérimenter, c'est prouver et démontrer, ou bien prouver et démontrer, c'est expérimenter.*

Le plus souvent donc, toutes les activités pratiques sont désignées par ce mot d'expérience, qu'il s'agisse de manipulations concrètes, d'activités exploratoires, d'observations ou de réelles expérimentations. L'idée est très prégnante d'une expérimentation pour « *mettre en évidence* ». Il s'agit essentiellement de « *montrer* » (par exemple, la nature d'un produit grâce à des réactifs) ou bien d'« *identifier* » un objet ou un phénomène (Flageul & Coquidé, 1999).

En outre, l'aspect pratique, toujours majoritaire dans les réponses, représente un obstacle important dans la conception de ce que peut-être une expérimentation, dans la mesure où cela masque les rôles du raisonnement et de la créativité, essentiels dans l'émission d'hypothèses ou la conception de protocoles. Un noyau central majoritaire fonctionne sur une opposition entre d'un côté le raisonnement et la construction intellectuelle, de l'autre la réalité matérielle. Cette bipolarisation semble le reflet de conceptions dualistes, fondées sur des oppositions trop binaires entre pratique et théorique, entre concret et abstrait, entre induction et déduction... Au total, c'est l'approche empiriste qui est valorisée, la priorité allant aux aspects *pratiques* et *concrets* de l'expérience. Les dimensions relatives au raisonnement ou à la mise à l'épreuve d'idées restent en revanche peu présentes.

Et ceux du secondaire ?

Les propos des enseignants du second degré font également part de difficultés. Ainsi, une enquête, réalisée au niveau européen auprès de nombreux professeurs de sciences, souligne, là encore, mais au niveau des acteurs cette fois-ci, l'absence d'accord sur les objectifs accordés aux travaux pratiques au lycée (Séré, 1998). Une analyse particulière des feuilles que les enseignants remettent aux lycéens pour guider leurs travaux pratiques montre l'existence, quels que soient le pays et la discipline, d'un « *pattern* » commun, relatif à ce qui leur est demandé de faire... et à ce qui ne leur est pas demandé. Ainsi, 90 % des 55 feuilles de TP de physique analysées demandent aux élèves d'établir des relations entre grandeurs, et moins de 10 % seulement de tester une prédiction ou de choisir plusieurs explications. Il semble bien que les TP habituels aident peu les élèves à établir des relations entre

concepts, percepts et objets matériels.

Par ailleurs, les commentaires d'enseignants de SVT, qui avaient mis en oeuvre l'option sciences expérimentales de la classe de première scientifique, témoignent d'une satisfaction globale, mais abordent aussi divers problèmes. Bien plus que les questions matérielles et institutionnelles, c'est ce qui a été perçu comme un déficit de pratiques et d'autonomie des élèves qui semble être à l'origine des principales difficultés rencontrées par les enseignants dans cette option. D'autres enquêtes sur les pratiques de professeurs de physique-chimie font essentiellement référence à une démarche scientifique reconstruite (Saint-Georges, 1997), tandis que les études menées auprès d'enseignants naturalistes français montrent une constante valorisation de « *la* » démarche expérimentale (Orlandi, 1991 ; Coquidé, 1998).

Malgré l'insistance sur les difficultés rencontrées dans les pratiques expérimentales, les propos tenus reflètent des conceptions maximalistes sur leur intérêt didactique, notamment dans l'enseignement de la biologie. On attend des élèves qu'ils participent, à chaque fois et en même temps, à une élaboration théorique et à une validation empirique, avec peu de place attribuée à l'exploration. Une telle pratique syncrétique, qui évite d'avoir à trancher entre des options difficiles, et qui conçoit l'expérience à la fois comme procédé de présentation des savoirs et comme entraînement à certains types de démarches – sans décider d'aucune priorité –, permet de combiner pragmatiquement des contraintes multiples, dont celle du temps n'est pas la moindre. Mais n'est-ce pas cette assignation de multiples buts aux pratiques expérimentales qui met les enseignants en difficulté ? Et n'est-ce pas pourtant ce que demandent, à un siècle d'intervalle, les instructions officielles françaises ?

- « *L'enseignement scientifique bien compris donne tout à la fois le savoir, la discipline et l'éveil* » (1891).
- « *L'élève construit activement son savoir, acquiert des méthodes et des techniques en élaborant et en conduisant (seul, en équipe ou collectivement) une démarche d'investigation explicative des phénomènes étudiés* » (1992).

En conclusion, il apparaît qu'aussi bien les discours des enseignants que les textes institutionnels et administratifs, valorisent les pratiques expérimentales, avec des justifications qui mêlent à la fois visées de scientificité, finalités éducatives et méthodes pédagogiques. Mais, l'argumentaire développe l'idée d'une continuité entre empirie et raison, éloignée de toute dialectique, comme s'il suffisait de « *faire pour comprendre* » et de « *voir pour prouver* ». Il apparaît donc important de clarifier maintenant les significations épistémologiques de l'expérimentation, pour mieux repenser les formes et les fonctions des expériences scolaires.

Qu'est-ce donc qu'expérimenter ?

Les activités scientifiques entretiennent toujours un rapport complexe avec le monde de la réalité : entre rapport au monde et rapport au savoir existe une série d'interactions qui montrent à la fois l'effort de la pensée pour êtreindre et comprendre les objets ou les phénomènes, et la résistance du réel qui oblige l'idée à se modifier. C'est pourquoi à l'impératif pédagogique « *d'être concret* » doit s'articuler l'exigence

de rationaliser et de « *poser l'abstraction* », argumente Bachelard (1934). Cette dialectique entre empirie et raison est représentée par la méthode développée pour pouvoir articuler la pensée et l'action, à travers le raisonnement, l'observation et l'expérience.

La polysémie du mot « *expérience* »

Mais la polysémie du mot « *expérience* » peut entretenir une confusion et un flou sur ses missions éducatives. On relève en effet deux significations sensiblement contrastées, selon que l'on parle d'*avoir de l'expérience* (cumulation empirique) ou de *faire une expérience* (validation d'une hypothèse). L'anglais dispose à cet effet de deux mots différents : *experience* et *experiment*. S'agit-il donc de multiplier des références empiriques ou bien d'envisager un rôle de démonstration dans une construction intellectuelle ? Si l'on veut désigner l'*expérience vécue*, au sens philosophique de l'épreuve, de la pratique du tâtonnement empirique, on fera par exemple vivre aux élèves un ensemble de situations pour fonder une référence partagée par la classe. Si l'on veut désigner l'*experimentation* du scientifique, au sens de la mise à l'épreuve d'une proposition, on mettra au point un protocole dans une démarche de validation de modèle théorique.

Il faut remonter à la distinction qu'a établie l'histoire des sciences, entre « *experientia* » et « *experimentum* ». Historiquement, l'*experientia* accorde crédit aux faits observables et à leur accumulation probante, puisque l'expérience était « *liée à la valeur reconnue de la démonstration visuelle pour la confirmation des vérités scientifiques : donner à voir et à revoir, c'était donner à comprendre, et la répétition valait démonstration supplémentaire* » (Salomon-Bayet, 1978). L'*experimentum*, tel qu'il se dégage du XVI^e au XIX^e siècles, représente, au contraire de l'*experientia*, une pratique non naturelle. Celle-ci conduit à se placer dans des conditions considérées comme singulières ou artificielles, cherche à dépasser les apparences et les évidences premières, vise à établir des preuves pour fonder de nouveaux concepts. Cela conduit à construire des situations calculées et à user d'une nouvelle forme de raisonnement : la confrontation d'hypothèses à des tests de vérification. Comme l'analyse si bien Bachelard (1938) : « *C'est en prenant conscience de cette révolution de la cité savante qu'on peut comprendre vraiment la puissance de la formation psychologique de la pensée scientifique et qu'on appréciera la distance de l'empirisme passif et enregistré à l'empirisme actif et pensé* ».

En reconstituant l'histoire de la « *preuve expérimentale* » dans les comptes rendus scientifiques, Licoppe (1996) établit la perception qu'ont eue les savants du XVII^e siècle du caractère régulier ou capricieux des phénomènes, et du contrôle exercé sur les instruments. Du coup, l'*experimentum* déplace la science au laboratoire de recherche. Les observations et les « expériences » s'instrumentent, avec des pratiques qui deviennent plus difficiles d'accès pour les « amateurs », et des procédures et des résultats expérimentaux plus malaisés à communiquer. Le chercheur devra donc faire le récit indirect des actions qu'il a conduites, puisque les autres savants et le public n'assistent plus directement à ses expériences. « *Les stratégies persuasives revêtent d'autant plus d'importance pour des acteurs préoccupés de fonder en vérité de fait des phénomènes nouveaux, dans un champ de pratiques à peine décalé du quotidien, que l'adhésion aux effets ainsi rapportés s'opère souvent*

à rebours du sens commun » (Licoppe, 1996). L'auteur décrit la lente construction d'une rhétorique particulière, qui vise à transmettre le contrôle de savoir-faire empiriques : une rhétorique fondée sur la reproduction des pratiques expérimentales, et destinée à convaincre essentiellement les pairs. En effet, à la différence du reste de la société, les savants ne s'intéressent plus aux faits curieux ou utiles, mais veulent construire des « *faits exacts* ». Établir une preuve expérimentale, c'est alors constituer un contrôle strict et une reproduction de l'expérience, qui n'est possible que par l'évolution de pratiques matérielles collaboratives. Trois indicateurs du développement de cette rhétorique expérimentale peuvent être retenus : la *construction de faits exacts par le contrôle instrumental*, la *reproductibilité de pratiques empiriques* et la *conviction des pairs*.

Perspective empirique et perspective expérimentale

Le passage au laboratoire et l'instrumentation font basculer l'investigation scientifique du naturel à l'artifice, de la collecte de perceptions à la construction de protocoles, du récit de faits curieux ou utiles à la validation de faits exacts, avec l'élaboration de comptes rendus expérimentaux destinés à convaincre les pairs, et avec une action réciproque de la recherche et de la technique. Il ne s'agit plus de recenser des phénomènes naturels, mais de construire des faits expérimentaux. Une analyse épistémologique conduit au tableau suivant qui liste et compare les différentes dimensions en jeu dans une posture empirique d'une part, dans une posture expérimentale d'autre part (lieu d'investigation, nature des phénomènes explorés, principaux efforts déployés, types de connaissances visées, etc.).

Ces dimensions rassemblées représentent ce qu'on pourrait qualifier « d'idéaux » d'une posture empirique et d'une posture expérimentale, chacune ayant recours à des formes d'écrits spécifiques.

Perspective empirique	Perspective expérimentale
<p>La nature et les pratiques sociotechniques</p> <p>Le vécu et le rapport pratique aux objets, la description d'objets et de phénomènes</p> <p>Le familier et le naturel</p> <p>Effort de catégorisation.</p> <p>Collecte d'observations et manipulations</p> <p>Données hors d'un cadre théorique</p> <p>Savoirs et pratiques empiriques inclus ou issus des pratiques sociales</p> <p>Recherche de régularités</p> <p>Corrélations empiriques</p> <p>Faits curieux et faits utiles</p> <p>Récits et descriptions, recettes et formules</p> <p>Rapport d'expérience chronique</p>	<p>Une pratique sociotechnique : le laboratoire</p> <p>Le détour et le rapport construit aux objets, la création de phénomènes</p> <p>L'artificiel</p> <p>Effort d'analyse, d'objectivation et de mesure</p> <p>Expérimentation</p> <p>Données avec cadre théorique</p> <p>Mise au point de pratiques empiriques reproductibles et application</p> <p>Recherche d'invariants</p> <p>Relations causales</p> <p>Faits exacts reproductibles</p> <p>Comptes rendus expérimentaux.</p> <p>Rapport d'expérimentation méthodique</p>

--	--

Perspective empirique et perspective expérimentale

La théorie de l'enquête

Chacune de ces dimensions possède une cohérence mais peut représenter soit une aide, soit un obstacle, dans la construction d'un savoir scientifique. Il ne s'agit pas de hiérarchiser ces deux perspectives, mais de mieux comprendre la cohérence de chacune et d'analyser leurs articulations dans toute investigation. Tout processus de recherche nécessite, en effet, des moments empiriques parfois très longs, le réel ne se laissant pas facilement manipuler ni conceptualiser. Cette « *résistance du réel* » a conduit la communauté scientifique à articuler démarche d'exploration et démarche de validation, et à relever de multiples défis : défis intellectuels et techniques, mais aussi défis éthiques et sociaux.

Ainsi, dans la philosophie pragmatiste qui inspire Dewey (1938), le projet est d'articuler connaissance et expérience dans un *continuum* de la relation de l'homme au monde, de la pensée et de l'action, des signes et des symboles à la pensée. Rejetant le dualisme sous toutes ses formes, il propose une matrice de l'enquête (*enquiry*), à la fois sous ses aspects psychologiques et sociologiques. Ce n'est pas à l'aspect technique de la méthode scientifique qu'il se réfère, mais à son processus et à la façon dont les expériences sont utilisées, en différenciant l'expérientiel et l'expérimental. Il nomme « *situation* » un environnement, physique ou culturel, mis au foyer de l'expérience d'un sujet, c'est-à-dire un environnement privilégié et expérientiel. Et c'est parce qu'une situation apparaît un moment indéterminée qu'un sujet se met « en quête ». L'enquête, pour Dewey, apparaît comme une démarche organique et culturelle de l'être en quête de son équilibre, en quête de la solution de l'obscurité de sa situation, à un moment précis de son histoire. La situation est « *indéterminée* » tant que le sujet la subit, elle devient « *problématique* » dès lors qu'il entreprend de la redresser et de la réorganiser. Dewey précise la place de l'expérimental dans un processus d'investigation, non pas au sens restreint de contrôle scientifique expérimental, instrumentalisé et mathématisé, mais au sens large où « *expérimental* » signifie à la fois « *éprouvé* », « *mis à l'épreuve* » et « *expérientiel* », c'est-à-dire en continuité organique et culturelle avec la situation.

Bachelard oppose, de son côté, les conceptions de l'empirisme et du rationalisme : à la *continuité* et à l'*ancrage positif* dans le vécu du premier, il oppose la *discontinuité* et la *dimension polémique* du second. C'est que leurs perspectives sont différentes : tandis que le problème est conçu, dans le projet de Dewey, comme étant de nature psychologique (et donc intérieur au sujet), il est défini par Bachelard comme étant d'ordre épistémologique (et donc posé dans l'objet) : « *Avant tout, précise-t-il, il faut savoir poser des problèmes. Les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique* » (Bachelard, 1934).

D'un point de vue didactique, il semble qu'à l'école, la perspective empirique méthodique et perspective expérimentale critique correspondent à des épisodes différents, qui se réarticulent dans une éducation scientifique. L'expérimentation nécessite donc une tension entre prudence et audace, un essor de l'imagination spéculative et une constante soumission à l'expérience. Démarche heuristique,

démarche de conviction et démarche de réfutation se complètent dans l'investigation expérimentale.

Les « travailleurs de la preuve »

Actuellement, l'extraordinaire puissance du calcul et d'analyse des données, offerte par l'ordinateur, et la simulation informatique autorisent des traitements statistiques sur des masses énormes de données, et facilitent la mise en scène et la lisibilité des résultats. Elles renforcent le caractère empirique et inductif de la recherche, et elles impliquent un nouveau type d'expérience. Au lieu d'envisager une recherche de causalité simple, du type « une cause → un effet », avec une expérimentation qui supprime la cause, les plans expérimentaux visent à un recueil de données pour une analyse statistique et une recherche de covariation.

Une définition élargie

En outre, l'expérimentation n'apparaît plus exclusivement comme un test d'épreuve pour corroborer ou pour réfuter une hypothèse, elle peut aussi prendre la forme d'application de théorie ou de modèle. Rappelons aussi qu'une science comme la biologie est certes une *science de laboratoire*, mais c'est aussi une *science de terrain*. Le terrain mobilise autant d'invention et d'instruments sophistiqués que le laboratoire expérimental, mais il ne permet pas une mise sous contrôle systématique des phénomènes, et de « *dispositifs expérimentaux au sens galiléen* », explique Isabelle Stengers (1993). Au laboratoire, le scientifique invente des dispositifs qui doivent engager le pouvoir de *juger*. Sur le terrain, il est moins juge qu'enquêteur, pour rassembler des indices et mettre à l'épreuve de la réalité les élaborations théoriques qu'il construit. La méthode des modèles permet ainsi d'envisager le recueil de données ailleurs que dans l'enceinte du laboratoire.

Nous sommes donc conduits à retenir la définition élargie de l'expérience scientifique avancée par Legay (1997) : « *toute procédure organisée d'acquisition d'information qui comporte, dans la perspective d'un objectif exprimé, une confrontation avec la réalité* ». Cette définition de l'expérience scientifique, en termes de « *procédures utiles en vue d'un certain but* », permet, en effet, d'inclure un nombre plus important de formes. Ne la cantonnant plus au laboratoire, elle peut s'appliquer aux sciences de terrain. L'expérience, élargie à toute procédure active dans l'extraction des données du réel, et la méthode des modèles montrent bien qu'actuellement toute investigation scientifique nécessite des interactions complexes entre observer, comparer, expérimenter et modéliser.

Une mise en tension

L'expérimentation sollicite un dépassement des sens, un dépassement des mains et un dépassement des inférences. Elle nécessite une mise en tension entre la pensée et la réalité qu'elle cherche à conceptualiser ou modéliser. Une autre mise en tension provient des aspects sociaux, avec la nécessité d'argumentation dans les débats scientifiques, et le recours à une mise en texte et à une mise en scène d'expérimentation, comme moyens de conviction. Les débats apparaissent primordiaux dans

la négociation scientifique, avec l'élaboration de la preuve expérimentale et le rôle des comptes rendus expérimentaux comme éléments de conviction des pairs. Plus généralement, c'est le travail collectif des « *travailleurs de la preuve* », selon l'expression de Bachelard (1949), qui produit la construction de faits scientifiques.

À partir de l'enquête minutieuse effectuée dans un laboratoire de biologie, Latour et Woolgar (1979) ont présenté l'importance des inscriptions, lisibles, manipulables et provenant de la technique, dans la négociation scientifique. La construction de faits scientifiques se réfère, en effet, à un lent travail manuel et pratique par lequel les inscriptions sont superposées et les résultats conservés ou abandonnés.

Système matériel, système intellectuel

L'analyse historique et épistémologique montre qu'une rationalité expérimentale ne peut jamais se réduire à l'usage de la seule logique, mais exige l'articulation d'un système matériel et un système intellectuel. D'où :

- l'importance qui doit être donnée à la matérialité et à l'instrumentation ;
- l'importance des dynamismes entre divers moments : moments d'exploration et de validation, moments plus empiriques et expérimentaux... ;
- et l'importance des multiples écrits (carnets de laboratoire, comptes rendus expérimentaux, inscriptions diverses...).

Les différents écrits qui accompagnent les épisodes de ces démarches ont des fonctions spécifiques : écrits pour soi ou pour les autres ; écrits pour mémoriser, pour aider à inventer et à penser ; écrits pour communiquer ou pour convaincre. Le rapport à l'écrit représente, de façon constante, un moment transitionnel fondamental dans la relation expérimentale au monde.

L'analyse des formes contemporaines de l'expérience, qui intègrent de façon très interactive l'expérimentation, la modélisation, la mise en œuvre de techniques, la démarche d'enquête et l'observation active, conduit à s'opposer aux théories dualistes qui conçoivent le matériel et le spirituel en opposition, et non en interaction. Jamais, en sciences expérimentales, on ne peut concevoir une dualité entre le rapport au réel et l'élaboration théorique, ou une opposition entre les théories et leur application. Les conceptions « dualistes » semblent pourtant perdurer dans l'enseignement, en particulier dans la façon dont sont abordés les travaux pratiques.

Formes et fonctions des expériences scolaires

Pour Rumelhard (1997), le travail scientifique, de nature conceptuelle, produit de l'observable. Mais la perspective pédagogique conduit à un renversement, puisqu'elle part de l'observable pour tenter de construire du conceptuel. L'enseignement ne problématise que rarement les phénomènes, il se contente de les montrer, argumenterait Johsua (1989). Ma propre analyse conduit à considérer également les aspects pratiques, matériels et sociaux du travail scientifique. Ce point de vue, axé sur les pratiques – et non plus seulement sur des questions de démarche et de rationalité –, est important pour discuter des finalités et des formes

scolaires de l'expérimentation à l'école. Ainsi, si certains travaux pratiques de lycée ont pour perspective de permettre de « *faire de la science* », il nous semble important qu'ils permettent une confrontation des élèves à la matérialité, et qu'ils soient l'occasion de construire en synergie une problématique, une théorie, des tâches et des outils.

Les fondements de l'expérimentation scolaire

Les formes et les fonctions des activités expérimentales peuvent apparaître très diverses. Nous pouvons tout d'abord interroger ces pratiques, en empruntant à Michel Fabre (1999) les trois dimensions d'analyse de l'activité scolaire, relatives à la signification, à la référence et à la manifestation.

Quelle signification ?

Du point de vue de la signification, la question est de savoir comment le recours scolaire aux expériences est *épistémologiquement* fondé. En quoi l'école permet-elle d'apprendre à « *faire des sciences* » et non pas apprendre un « *texte de sciences* » ? L'enseignement scientifique doit-il être conçu comme une présentation active de résultats ou comme une initiation aux méthodes scientifiques ? Nous retrouvons ici une polémique relative aux sciences présentées comme *produit* ou comme *processus*.

Nous avons dit que les activités scientifiques entretiennent toujours un rapport complexe avec le monde de la réalité. Les pratiques expérimentales nécessitent donc de développer l'articulation entre pensée et action, entre raisonnement et observation ou expérience. Un enseignement des sciences expérimentales doit conduire à ce que les élèves apprennent, dès le plus jeune âge, à questionner, observer, raisonner, expérimenter, en construisant par une démarche d'investigation raisonnée un savoir élémentaire valide sur des objets et des phénomènes.

Dans l'éducation scientifique, la distinction d'un registre de *familiarisation pratique* à la nature, aux objets et aux phénomènes et d'un registre d'*élaboration intellectuelle*, soutenue depuis longtemps par Martinand (1986), apparaît comme la condition indispensable d'une approche rationnelle progressive du monde. En outre, les expériences et les expérimentations peuvent représenter aussi, dans les enseignements scientifiques, les références empiriques nécessaires pour la mise à l'épreuve et la validation des savoirs conceptuels et des modèles.

Quelle référence ?

Du point de vue de la référence, la question est de savoir quel rapport les activités expérimentales entretiennent avec le monde hors de l'école. Ces activités ne sont-elles qu'autoréférées et internes au monde scolaire, ou bien se rapportent-elles à d'authentiques activités sociales dont des activités scientifiques ? Nous avons constaté une forme de « réification » des activités scolaires, avec des pratiques expérimentales qui restent le plus souvent reconstruites, des démarches uniquement linéaires et des méthodes envisagées comme indépendantes de leur objet d'étude.

On constate ainsi une polarisation sur des pratiques scientifiques idéalisées, quand d'autres pratiques, telles des pratiques sociales industrielles ou familiales pourraient

être sollicitées, en tant que réelle base d'investigation et non pas comme simple illustration. Nous avons vu, de plus, que l'approche expérimentale analytique ne représente qu'une pratique d'investigation parmi d'autres : les démarches d'observation et d'enquête ne peuvent être oubliées, tandis que la modélisation et les approches systémiques prennent de plus en plus d'importance. C'est pourquoi les pratiques expérimentales ne se comprennent qu'au sein de la communauté où elles se développent, avec les règles de fonctionnement de celle-ci, la division des tâches, et les artefacts culturels par lesquels l'activité est médiée.

Quelle manifestation ?

Du point de vue de la manifestation, la question est de savoir quelle action formatrice sur l'élève les activités expérimentales sont susceptibles d'avoir. La nécessité d'expérimenter en classe est souvent argumentée, sur le plan psychologique et pédagogique, comme une réponse à la nécessité d'un apprentissage actif de la part de l'élève. Elle apparaît ainsi comme un recours possible contre les pédagogies « *transmissives* » ou « *frontales* ».

Ces pratiques sont également valorisées pour les compétences méthodologiques et techniques qu'elles sont supposées promouvoir. Supposition, car les évaluations et validations ne prennent que très rarement en compte ces dimensions d'apprentissage. La « *théorie de l'activité* » de Leontiev (1975) invite à ne pas restreindre l'activité à la simple action manipulatoire, mais à y inclure la part de mobilisation cognitive. Les expérimentations scolaires doivent ainsi articuler des *fonctions de réalisation* (le « comment » : mode opératoire et procédures), avec des *fonctions d'orientation* (le « pourquoi » : but visé et représentation du résultat) et des *fonctions d'incitation* (le « pour quoi » : mobiles et motifs de la recherche).

Un ensemble de tensions

La grille d'analyse précédente permet de mieux comprendre les activités expérimentales scolaires comme la résultante actuelle d'un ensemble de tensions divergentes :

- la tension entre le recueil de *faits observables* et la *résolution active de problèmes*. Orange (1997) pointe même la nécessité scolaire, non seulement de résoudre des problèmes scientifiques (réel donné) mais d'amener les élèves à les élaborer (réel construit). Ses analyses pointent l'actuel déficit de construction des problèmes dans l'enseignement scientifique, et suggèrent de nombreuses pistes en ce sens ;
- la tension entre la *science qui se fait* et la *science achevée*, c'est-à-dire entre une logique de recherche (processus de savoir scientifique) et une logique de communication (produit de science). Cette tension peut être illustrée par les difficiles relations à l'écrit dans les activités expérimentales, les fonctions souvent obscures du « cahier d'expériences » ou les ambiguïtés du traditionnel compte rendu de TP. Celui-ci doit décrire la suite des opérations conduites, fournir les données recueillies sur les phénomènes provoqués et indiquer les conclusions qui en sont tirées. Mais il doit simultanément répondre aux exigences d'un modèle codifié d'exposition, en relation étroite avec le savoir des programmes. (Astolfi & al., 1991) ;

- la tension entre une *rigueur de conformité*, définie par le respect de méthodes et procédures canoniques quel que soit le contexte envisagé et privilégiant une logique déductive, et une *rigueur d'adéquation*, définie par une adaptation souple aux situations et jouant sur une alternance entre divergence et convergence.

Les trois modes didactiques de l'expérimental

Cet ensemble de tensions provient d'une articulation mal contrôlée entre les deux perspectives que nous avons évoquées plus haut : perspective empirique et pragmatique d'une part, perspective expérimentale et rationnelle d'autre part, semblent effectivement s'opposer. En fait, les pratiques expérimentales en classe peuvent obéir à trois logiques différentes, à trois *modes didactiques* que nous avons définis (Coquidé, 1998), et dont il s'agit d'articuler, sans les confondre, les formes et les fonctions.

Le mode de familiarisation pratique

Nous appelons *mode de familiarisation pratique* une première configuration de l'expérimental en classe, qui peut aussi être qualifiée d'« *expérimentation* » ou d'« *expérience-action* ». Il permet aux élèves d'explorer et d'agir, à travers des situations variées et diversifiées, avec pour finalité d'« apprivoiser » des objets, des phénomènes ou des instruments, d'inciter au questionnement, de constituer un capital expérientiel commun pour la classe. Reprenant les termes de Legrand (1980), nous parlerons d'une « *propédeutique d'expériences* » partagées par les élèves, concernant l'exploration et l'appropriation du monde, la découverte du vivant et de la matière, la familiarité avec des objets ou phénomènes scientifiques. L'élève peut ainsi se construire une première représentation du monde, mais également se rendre étrangers des phénomènes trop familiers, afin de développer un questionnement scientifique et mettre à l'épreuve ses premières représentations.

Dans ce mode didactique, largement sous-estimé dans l'enseignement, le rôle de l'enseignant est de penser un aménagement fécond des situations, avec des interventions qui favorisent les comparaisons, relancent le questionnement, introduisent le doute, aident à la reformulation, favorisent les apprentissages d'ordre pratique.

Le mode d'investigation empirique

Nous appelons *mode d'investigation empirique* une seconde configuration de l'expérimental en classe, qui peut aussi être qualifiée d'« *expérimentation* » au sens strict, ou d'« *expérience-objet* ». Il facilite la compréhension des pratiques effectives de la science, articule l'exploration et la validation, l'empirie et l'investigation heuristique. Sa logique est celle d'une résolution ouverte de problèmes, avec une importance particulière accordée au raisonnement, à la méthodologie et à la validité des conclusions. Les activités d'investigation – expérimentale ou documentaire – de ce mode sont très variées, l'élève pouvant conduire un mini-projet ou mettre en œuvre (en tout ou en partie) une réelle démarche d'investigation. Elles peuvent répondre aux objectifs des divers « *parcours* », ou des travaux personnalisés encadrés du curriculum secondaire actuel.

Il s'agit dans ce second mode de confronter les élèves à un réel peu aménagé, de les aider à problématiser ou à émettre un projet, de favoriser la mise en œuvre effective d'investigations, de favoriser les dynamismes et les confrontations, d'inciter les élèves à réfléchir sur les démarches et sur les raisonnements. Le raisonnement logico-mathématique joue ici une place importante, mais il n'entre pas seul en ligne de compte, car les activités possibles recouvrent des dimensions plus vastes, telles que des apprentissages méthodologiques, une mise à l'épreuve de la matérialité des sciences et de la résistance du réel, le développement d'un esprit critique face à de possibles artefacts et à l'interaction entre des variables. Une attention particulière est également portée à l'indispensable bibliographie.

Le mode d'élaboration théorique

Nous appelons *mode d'élaboration théorique* une troisième configuration de l'expérimental en classe, qui peut aussi être qualifiée d'« *expérience-validation* » ou d'« *expériences-outil* ». Il obéit à la logique d'un savoir théorique à établir, en construisant des concepts et en élaborant des modèles scientifiques. Les expériences, effectivement réalisées ou parfois simplement évoquées, ont pour but d'élargir le référent empirique. Elles fonctionnent comme un outil au service de la construction des sciences.

L'élève est ici sollicité pour effectuer de nombreux allers-retours entre référent empirique et conceptualisation. Il peut ainsi explorer les domaines de validité des constructions théoriques, en éprouver la pertinence et, si possible, étendre leur domaine d'application. Les expériences y sont envisagées dans un cadre d'apprentissage conceptuel systématique, puisqu'il s'agit de mettre à l'épreuve des constructions intellectuelles et théoriques, d'en éprouver la pertinence et le champ de validité. Remarquons qu'ici la résistance du réel est souvent estompée, par aménagement ou par aide directe de l'enseignant.

Progressivité mais cohérence

Il est tentant soit d'amalgamer, au cours d'une même activité, ces trois modes didactiques concernant l'expérimental, soit d'affecter chacun à un niveau donné d'enseignement. De fait, le premier mode reste assez largement minoré sinon chez les très jeunes élèves, alors que les deux autres sont souvent confondus dans des pratiques scolaires syncrétiques, qui visent, dans un même mouvement, la rigueur d'une démarche scientifique et l'aboutissement rapide aux concepts scientifiques.

Cet amalgame assez inconscient est à la source de bien des difficultés exprimées par les enseignants, telles que nous les avons déjà notées et qui perdureront tant qu'ils ne disposeront pas d'un principe d'organisation cohérente. Dans le moyen terme du curriculum primaire et secondaire, les distinctions précédentes permettent d'établir un principe de progressivité. Ainsi, la capitalisation d'expériences à partager par les jeunes élèves, l'aventure intellectuelle et vécue rendue possible par les pratiques scientifiques et techniques, constitue un principe fondateur des interventions éducatives des professeurs des écoles. Permettre aux élèves plus âgés de s'approprier les pratiques et les démarches mises en œuvre dans les différentes disciplines scientifiques, représente d'autres enjeux importants pour les professeurs

du secondaire. Car on passe progressivement d'une pensée extériorisée dans l'action à une action intériorisée dans la pensée. Les compétences professionnelles sont ainsi spécifiques pour les enseignants des différents niveaux, ce qui nécessite leur formation différenciée.

MODE DE FAMILIARISATION PRATIQUE

(Expériences pour voir, essayer, explorer)

Contexte : Première initiation scientifique ou abord d'un nouveau sujet étude, d'une nouvelle technique, d'un nouvel instrument.

Buts : Familiariser l'élève avec des objets et des phénomènes. Développer un questionnement scientifique. Faire progresser un savoir-faire préalable. Permettre l'appropriation de techniques d'investigation. Constituer un référent empirique.

Nature du dispositif pour l'élève : Exploration empirique et contrôle des actions.

Priorité du guidage par l'enseignant : Proposer des situations variées et diversifiées. Initier une articulation entre le réel et l'abstraction. Favoriser les comparaisons et les confrontations multiples. Relancer le questionnement. Introduire le doute. Aider à reformuler. Développer les apprentissages techniques.

MODE D'INVESTIGATION EMPIRIQUE

(Expériences pour tester, contester, argumenter)

Contexte : Pratiques d'investigation, recherche problématisée.

Buts : Initier à des démarches scientifiques. Utiliser des techniques d'investigation.

Nature du dispositif pour l'élève : Mise en œuvre (en tout ou partie) d'une réelle démarche d'investigation (recherche bibliographique, problématisation, investigation dont expérimentation, conception et réalisation de protocoles, communication, discussion). Réalisation d'un mini-projet.

Priorité du guidage par l'enseignant : Aider à problématiser ou à émettre un projet. Favoriser la mise en œuvre des investigations. Développer la rigueur dans les démarches de validation par les élèves. Encourager les confrontations multiples. Faire réfléchir les élèves sur leurs démarches de recherche et leurs raisonnements.

MODE D'ÉLABORATION THÉORIQUE

(Expériences pour démontrer, conceptualiser, modéliser)

Contexte : Élaboration conceptuelle ou modélisante.

Buts : Contribuer à la construction théorique des sciences (élaboration et application). Élargir le référent empirique.

Nature du dispositif pour l'élève : Sollicitation d'allers-retours entre le registre empirique et la conceptualisation.

Priorité du guidage par l'enseignant : Proposer des activités dans les domaines de validité des constructions théoriques qui doivent être explorés pour en éprouver la pertinence.

Les trois modes didactiques de l'expérimental

Pourtant, cette distinction dans le long terme ne correspond d'aucune façon à une tripartition pour le court terme, où des choix, alternatifs ou successifs, s'avèrent nécessaires. En fait, c'est la façon de raisonner l'articulation des trois modes didactiques à chaque niveau scolaire qui, en distinguant différentes économies de l'expérimental, définit une formation scientifique authentique. Ainsi, le mode de familiarisation pratique, essentiel à l'école primaire, reste nécessaire au secondaire, lorsqu'on confronte les élèves à du matériel dont l'utilisation efficace nécessite la maîtrise de savoirs complexes. Inversement, si le mode d'élaboration théorique

s'impose dans le second cycle, il concerne d'une autre façon les jeunes élèves, si l'on veut s'assurer que les activités expérimentales débouchent bien sur des acquis conceptuels identifiés, même modestes.

La reconnaissance de plusieurs modalités didactiques du recours aux expériences, ayant chacune sa logique et ses exigences, nécessitant chacune sa forme spécifique de guidage par l'enseignant, vise à éclairer les enjeux éducatifs et à effectuer des choix dans les dispositifs d'enseignement. En proposant un ensemble contrasté de situations pour développer des savoir-faire, pour familiariser avec des objets techniques et des phénomènes biologiques, pour enrichir les situations concrètes de référence et pour permettre de construire progressivement l'abstraction, les activités scolaires articuleront mieux expériences et expérimentations, expérientiel et expérimental.

Quels enjeux de formation professionnelle ?

La tendance des enseignements expérimentaux à privilégier des conceptions empiriques et positivistes de la science est régulièrement dénoncée par les recherches en didactique (Johsua, 1989 ; Galiana, 1999), sans grand succès. Les *conceptions empiriques* se caractérisent par une insistance sur l'idée de découverte, quand le savoir est une construction tortueuse et coûteuse, et sur celle de « soumission aux faits », quand la connaissance scientifique est d'abord critique. Quant aux *conceptions positivistes*, elles se traduisent par l'insistance mise sur le respect des étapes obligées d'une méthode, symbole d'une rigueur supposée du raisonnement, quand celui-ci n'est qu'une des composantes parmi d'autres de l'activité scientifique.

Des résistances au changement

La conjonction de ces deux postures se traduit habituellement dans l'enseignement scientifique par des activités qui privilégient la « *mise en évidence* » supposée de phénomènes et de lois, qui se présentent comme une suite « *naturelle* » d'opérations réglées, et qui confortent le mythe d'« *expériences cruciales* ». Or, il n'y a nulle évidence dans la science, puisqu'elle avance grâce à des ruptures avec le sens commun. Ses démarches n'ont rien de naturel, puisqu'elles supposent une construction souvent ésotérique pour le profane. Elle n'impose pas de preuve absolue, puisque la part d'interprétation des résultats reste grande. L'établissement de résultats scientifiques repose au moins autant sur l'accord entre chercheurs que sur la pure logique, et suppose un débat permanent au sein d'une communauté.

L'interprétation classique, selon laquelle la résistance au changement de ces pratiques résulterait des conceptions épistémiques des enseignants sur la science et d'un déficit de leur formation, est sans doute partiellement juste. Mais elle semble insuffisante, puisque les enquêtes de Nott et Wellington (1996) auprès de professeurs montrent que ceux-ci ne sont pas si dupes du décalage entre leurs

pratiques et les exigences d'une science authentique, et qu'ils s'en ouvrent volontiers. D'autres explications sont donc à chercher, car de telles résistances sont toujours porteuses de signification. Ainsi, Bomchil et Darley (1998) suggèrent l'usage implicite par les enseignants d'une sorte de syllogisme inversé, dans lequel la majeure et la mineure échangeraient leur place. En effet, pour le professeur lui-même, « *Je vois que* » fonctionne comme la mineure d'un raisonnement dont la majeure est le savoir qu'il maîtrise (l'expérience étant pour lui illustrative de la notion), alors que lors de sa mise en scène didactique, « *Je vois que* » devient la majeure, l'expérience soigneusement choisie prenant la place d'un argument de savoir à faire acquérir tout en donnant le sentiment de la preuve. À une « *induction molle* » qui ne prouve rien, fait alors place une « *déduction dure* », qui ne prouve pas davantage mais en possède mieux les apparences.

On peut évoquer une diversité d'explications, qui interviennent sur des plans très divers, mais qui convergent pour stabiliser une économie didactique durablement installée et peu sensible aux contradictions :

- une *survivance « fossile » du scientifique du XIX^e s., habile manipulateur d'appareillages*, confortant l'image d'un savant génial, visionnaire et désintéressé (Pasteur évidemment, mais aussi Marey par exemple) et contribuant au prestige idéologique de la science et du progrès scientifique ;
- la *prégnance de certaines expériences prototypiques*, dont la permanence est saisissante dans les manuels depuis un siècle, et qui fonctionnent comme des références ritualisées, jugées indispensables pour un parcours scolaire au-delà de toute valeur formatrice (exemple de la mise en évidence de la photosynthèse par une expérience de dégagement d'oxygène par des feuilles éclairées de plantes aquatiques) ;
- des *positions identitaires et corporatistes*, les travaux pratiques apparaissant comme ce qui fait la spécificité des enseignements scientifiques *expérimentaux*, notamment par rapport aux mathématiques... d'autant qu'ils justifient opportunément les demandes de moyens supplémentaires en matériel, comme la nécessité de groupes réduits ;
- une *vulgate de l'éducation nouvelle*, réifiée en simple « méthode active », selon laquelle la manipulation serait la clé décisive de la compréhension. Dès lors, un enseignement concret et un élève agissant s'imposent comme le ressort principal de la motivation, avec le risque permanent de confondre l'activité mentale avec un activisme pratique ;
- un *déficit de concepts* pour penser les problèmes d'apprentissage en conformité avec les acquis actuels de la psychologie cognitive et de la didactique.

Des dispositifs de formation

Comment, dans ces conditions, penser la formation des enseignants du primaire, afin de les aider à « *faire des sciences à l'école* » et à mettre en œuvre des pratiques expérimentales effectives ? Comment organiser celle des professeurs du secondaire, afin qu'ils puissent développer une double technicité : celle des pratiques scientifiques de référence d'une part, celle relative à l'organisation et au guidage des activités et des apprentissages scolaires, d'autre part (Martinand, 1994) ?

Nouvelles compétences professionnelles des professeurs des écoles

Si les professeurs des écoles stagiaires, à la formation très variable, doivent constituer un corps unique, il est nécessaire d'envisager pour eux une « culture commune » dans le domaine des sciences et des techniques. Le défi est assez complexe, dans la mesure où la professionnalité des enseignants du primaire les voue à la polyvalence conçue comme une spécialité, dans la mesure aussi où les jeunes élèves ne disposent pas encore des outils logiques ni des raisonnements nécessaires à une pratique effective des sciences. Antheaume (1993) a ainsi décrit des compétences professionnelles mises en œuvre sans spécialisation disciplinaire, tout en correspondant à des caractéristiques authentiques de la pensée scientifique. Il a expérimenté des modalités de formation qui rendent le futur enseignant généraliste capable de conduire des activités scientifiques significatives avec les élèves, telles que : apprendre à se décentrer, à se limiter et à gérer l'imprévu. Son dispositif permet d'articuler de façon cohérente une orientation scientifique (nature de la science), une orientation didactique (processus d'apprentissage de la science) et une orientation personnelle (prises de décisions pédagogiques).

Nouvelles compétences professionnelles des professeurs de sciences

Pour les enseignants du secondaire, les contenus disciplinaires s'expriment au contraire avec une technicité qui rend indispensable la spécialisation disciplinaire. Frédéric Glomeron (2001) a ainsi étudié la technicité requise pour les pratiques enseignantes d'activité de réalisation en mécanique. Celle-ci n'est pas celle des techniciens et ses analyses conduisent à distinguer différents registres. L'auteur montre que, pour un grand nombre de situations d'enseignement, un registre de technicité composite, nommé *registre d'adaptation*, semble efficace et pertinent à retenir pour la formation. Pour les enseignements scientifiques, pensons aussi au renouvellement de l'instrumentation et au développement des usages de l'ordinateur dans les pratiques expérimentales, dont la condition d'efficacité est une formation spécifique des enseignants à cette stratégie d'enseignement (Séré, 1998). Mais s'il faut favoriser leur technicité scientifique en vue d'une meilleure gestion de difficultés, de pannes éventuelles et de résultats inattendus, il s'agit tout autant de développer la technicité de leurs interventions pédagogiques, en impulsant notamment un questionnement professionnel. Par exemple, avec le développement des parcours croisés et des travaux personnalisés encadrés, comment s'articulent la recherche documentaire et la recherche expérimentale ? Plus généralement, quelles relations établissent-ils entre l'expérimentation, la simulation et la modélisation ? Quels rapports à l'instrumentation et aux écrits développent-ils dans le cadre des investigations ?

Le déficit de formation des futurs enseignants de sciences tient également à l'exercice d'un « *métier nouveau* » (Meirieu, 1990). Celui-ci nécessite la maîtrise de *nouvelles « compétences professionnelles »* : compétence pédagogique telle que la « *gestion de classe dans un environnement complexe* » ; compétence didactique comme « *la capacité d'instaurer plusieurs régimes du savoir, de faire coexister des plages vouées aux situations-problèmes avec d'autres plus propices à la progression dans un curriculum structuré ou aux exercices plus conventionnels* » (Perrenoud, 1997). Concernant plus précisément les compétences professionnelles d'un enseignant de sciences face aux expériences, nous placerons la capacité à effectuer

des choix successifs ou alternatifs, à expliciter et à hiérarchiser les fonctions de l'expérimental et les différentes formes scolaires, à ne pas craindre d'affronter la matérialité des sciences, à prendre en compte des problèmes éthiques.

Analyser et travailler les obstacles

La construction de ces compétences professionnelles suppose l'analyse des obstacles épistémologiques qui viennent freiner leur développement, et la construction de dispositifs de formation qui permettront de les travailler. Or, les obstacles se présentent souvent comme la résultante d'un réseau d'idées associées, installées et commodes, qui enferment la pensée et bloquent son évolution (Astolfi & Peterfalvi, 1993).

Par exemple, l'assimilation immédiate entre l'*expérimentation* et l'*observation* empêche de penser que la première n'est qu'une forme provoquée de la seconde, qui procède en instaurant des conditions artificielles destinées à produire des résultats non disponibles spontanément. Ou encore, la confusion entre l'*expérimentation* et la *manipulation* empêche de comprendre l'importance de l'activité intellectuelle tout au long d'une démarche expérimentale. De même, assimiler *expérimenter* et *chercher*, empêche de comprendre que la construction préalable d'un cadre théorique de référence est nécessaire à l'expérimentation pour produire ce que François Jacob a appelé un « *jeu des possibles* ». Quant à l'identification de l'*expérience* à la *preuve* ou à la *démonstration*, cela empêche de comprendre les moments heuristiques du processus d'expérimentation, l'importance de la réfutation expérimentale, le caractère toujours provisoire des énoncés scientifiques, le rôle clé de la mise en débat au sein d'une communauté de recherche.

Tous ces points constituent donc des enjeux de formation importants. Dans cette perspective, on suggère d'inviter les stagiaires à imaginer les environnements artificiels nécessaires à l'expérimentation avant de passer à leur réalisation ; ou bien encore d'organiser l'observation de phénomènes très lents (en biologie ou en astronomie, par exemple). Pour comprendre l'antériorité du cadre théorique, on peut mettre en œuvre et comparer des expériences heuristiques et des expérimentations véritables. Pour faire évoluer l'idée positiviste d'administration de la preuve, on peut suggérer la mise au point d'expériences de réfutation et faire porter une attention particulière aux résultats inattendus. Mais les pratiques expérimentales sont d'autant plus difficiles à faire évoluer qu'elles s'ancrent souvent dans des conceptions qui restent implicites pour les stagiaires qui en sont porteurs. Et, comme on le sait, le propre des obstacles, c'est de résister à la réfutation. Ils cèdent difficilement face à la seule contre-argumentation logique, car ils s'inscrivent dans l'ensemble de « *l'agir professionnel* » (Schön, 1994). La formation fonctionne dès lors suivant l'image d'une période de crue, après laquelle... la rivière rentre dans son lit ! C'est ainsi qu'après une stratégie complète de formation relative au dépassement de la conception « *expérimenter, c'est manipuler* », peu de stagiaires ont proposé la réalisation effective d'une expérimentation en classe, expliquant de nouveau leur réticence par une crainte de difficultés matérielles, de résultats inattendus ou du comportement des élèves. On comprend dès lors que les activités scientifiques basées sur des documents « papier-crayon » rassurent de nombreux stagiaires, mais on ne peut s'en satisfaire. Pour que la découverte et l'investigation de la nature ne se réduisent

pas à ce seul aspect, il paraît nécessaire que les activités de formation permettent aux stagiaires de pratiquer des investigations et de s'approprier quelques pratiques expérimentales, aussi simples que possible à mettre en œuvre.

Une des missions des didacticiens, dans la formation des enseignants, est de fournir des clés pour construire des situations d'apprentissage, pour argumenter les choix de contenus, pour assurer une cohérence entre objectifs et moyens. Mais, par exemple, l'interrogation principale des professeurs des écoles stagiaires reste souvent centrée sur le comportement des élèves et sur la nature des activités à conduire, comme s'il suffisait que la séance ait « marché ». Il semble pourtant bien indispensable que la formation professionnelle facilite aussi la compréhension des finalités de l'enseignement, permette d'analyser la place et le rôle des expériences (dans la science comme dans l'enseignement scientifique) et développe l'indispensable progressivité des apprentissages.

Bernard Lahire (1998) analyse bien les difficultés à articuler le « faire » et le « dire sur le faire ». Le langage professionnel cherche bien à articuler théorie et pratique, mais sur un mode qui risque constamment d'être celui du langage convenu. Ainsi, les enseignants nouvellement formés paraissent souvent « imprégnés » de didactique, évoquant des « situations déclenchantes », des « confrontations des conceptions initiales », la « construction des problèmes », ou bien encore les « débats scientifiques ». Mais dans le même temps, leurs compétences professionnelles s'établissent à partir de leurs références personnelles, c'est-à-dire d'un savoir de la pratique qui reste à expliciter. Il s'agit donc de voir de quelle façon certains outils didactiques, pratiques ou conceptuels, peuvent les aider :

- à mettre en place et animer des situations qui impliquent des pratiques expérimentales ;
- à objectiver ces pratiques en favorisant une communication relative aux activités expérimentales scolaires (Schneeberger & Rodriguez, 1999) ;
- à analyser la faisabilité d'activités, en analysant les contraintes humaines et matérielles ;
- à clarifier des priorités d'apprentissage, en effectuant des choix alternatifs et réussis ;
- et enfin à clarifier des choix éthiques, en particulier dans la construction d'un rapport expérimental au vivant.

BIBLIOGRAPHIE

ANTHEAUME Pierre (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 Jean-Pierre, PETERFALVI Brigitte & VÉRIN Anne (1991). *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*. Paris : INRP.

ASTOLFI Jean-Pierre & PETERFALVI Brigitte (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16 : 103-142.

BACHELARD Gaston (1934). *Le nouvel esprit scientifique*. Paris : Alcan (rééd. PUF, 1968).

- BACHELARD Gaston (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin (rééd. 1970).
- BACHELARD Gaston (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF.
- BAILLAUQUES Simone & BREUSE Édouard (1993). *La première classe*. Paris : ESF.
- BOMCHIL Simone & DARLEY Bernard (1998). L'enseignement des sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste ? *Aster*, 26 : 85-108.
- CANTOR Maryline (1996). Les pratiques d'activités scientifiques : une enquête auprès d'instituteurs. *La formation initiale des professeurs des écoles en sciences et technologie*. Paris : INRP : 56-60.
- COQUIDE Maryline (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, 26 : 109-132.
- COQUIDE Maryline (2000). *Le rapport expérimental au vivant*. Mémoire d'Habilitation à diriger les recherches. Université Paris-sud Orsay.
- COQUIDE Maryline, coord. (2001). *Rapport de recherche INRP/IUFM de Rouen : La main à la pâte, 1998-2001*. Document interne INRP.
- DEWEY John (1938). *Logique : la théorie de l'enquête*. Paris : PUF (rééd. 1993).
- DUGGAN Sandra & GOTT Richard (1995). The place of investigations in practical work in the UK National Curriculum for Science. *International Journal of Science Education.*, 17, n°2 :137-147.
- FABRE Michel (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris : PUF.
- FLAGEUL Roland & COQUIDE Maryline (1999). Conceptions d'étudiants professeurs des écoles sur l'expérimentation et obstacles corrélatifs à sa mise en œuvre à l'école élémentaire. *Aster*, 28 : 33-56.
- GALIANA Dominique (1999). *Problèmes didactiques posés par l'enseignement expérimental de la biologie dans les classes scientifiques des lycées, cas de la photosynthèse*. Thèse de doctorat : Université Paris-Sud.
- GLOMERON Frédéric (2001). *Unité et cohérence de la formation de professeur de technologie au collège. Contribution à la définition des registres de technicité et des compétences professionnelles nécessaires*. Thèse de doctorat : ENS Cachan.
- JENKINS Edgar (1995a). Central policy and teacher response ? Scientific investigation in the national curriculum of England and Wales. *International Journal of Science Education* 17, n°4 : 471-480.
- JENKINS Edgar (1995b). When is a policy not a policy ? School-based assessment of practical science at 16 +. *International Journal of Science Education* 17, n°5 : 555-563.
- JOHSUA Samuel (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*, 8 : 29-54.
- LAHIRE Bernard (1998). Logiques pratiques : le « faire » et le « dire sur le faire ». *Recherche et Formation*, 27, 15-28.
- LATOUR Bruno & WOOLGAR Steve (1979). *La vie de laboratoire, la production de faits scientifiques*. Paris : La Découverte (traduction 1988).
- LAZAROWITZ Reuven & TAMIR Pinchas (1994). Research on using Laboratory instruction in Science. *Handboock of research on science teaching and learning*. New York : Mac millan Publishing Company. 94-128.
- LEGAY Jean-Marie (1997). *L'expérience et le modèle. Un discours sur la méthode*. Paris : INRA.
- LEGRAND Louis (1980). Freinet aujourd'hui. *Perspectives*, X, 3 : 389-390.
- LEONTIEV Alexis (1975). *Activité, conscience, personnalité*. Moscou : Éd. du Progrès.
- LICOPPE Christian (1996). *La formation de la pratique scientifique : le discours de l'expérience en France et en Angleterre (1630-1820)*. Paris : La Découverte.

- MARTINAND Jean-Louis (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- MARTINAND Jean-Louis (1994). La didactique des sciences et de la technologie et la formation des enseignants. *Aster*, 19 : 61-76.
- MEIRIEU Philippe (1990). *Enseigner, scénario pour un métier nouveau*. Paris : ESF.
- NOTT Mick & WELLINGTON Jerry (1996). When the black box springs open : practical work in schools and the nature of science. *International Journal of Science Education*, 7 : 807-818.
- ORANGE Christian (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF.
- ORLANDI Éliane (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. *Aster*, 13 :111-132.
- PERRENOUD Philippe (1997). *Construire des compétences à l'école*. Paris : ESF.
- RUMELHARD Guy (1997). Problématiser le vivant. In COLLECTIF. *La problématique d'une discipline à l'autre*. Paris : ADAPT, 157-177.
- SALOMON-BAYET Claire (1978). *L'institution de la science et l'expérience du vivant*. Paris : Flammarion.
- SCHNEEBERGER Patricia & RODRIGUEZ Raymond (1999). Les lycéens face à une investigation à caractère expérimental : un exemple en classe de Première S. *Aster*, 28 : 79-106.
- SCHÖN Donald (1994). *Le praticien réflexif : à la recherche du savoir caché dans l'agir professionnel*. Montréal : Éditions Logiques.
- SERE Marie-Geneviève, coord. (1998). *Labwork in Science education*. Final Report. Bruxelles : Commission européenne.
- WHITE Richard (1996). The link between the laboratory and learning. *International Journal of Science Education* 18, n°7 : 761-774.