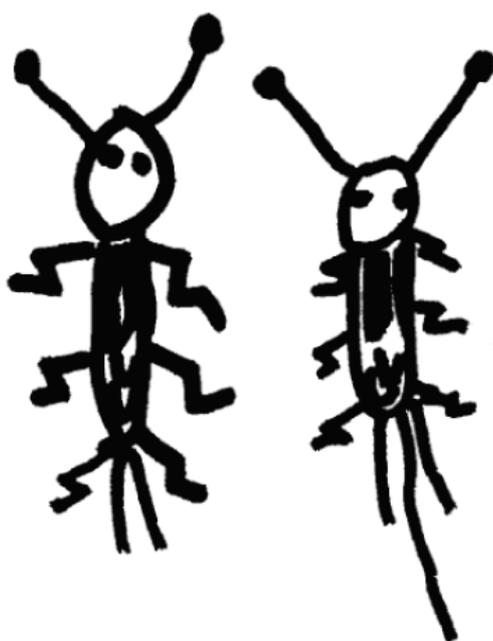


L'APPRENTISSAGE DE LA DEMARCHE SCIENTIFIQUE

EST-CE BIEN RAISONNABLE ?¹

Un exemple en sciences du vivant

à travers la pratique d'élevages au cycle des approfondissements



Denis BLANCHON
Maître Formateur – IUFM de Grenoble
Ecole Robespierre - Fontaine (Isère)

Grillons, mâle et femelle - Lucille - 4 ans 10 mois

La pratique des sciences expérimentales à l'école élémentaire n'est pas très répandue. Les récentes expérimentations, dans la dynamique du dispositif "La main à la pâte" initié en 1996, et le PRESTE² ne nous amènent pas à réviser radicalement ce point de vue. Des progressions de cycle effectives concernant le domaine des sciences et de la technologie inscrite dans le cadre d'un projet d'école restent encore peu répandues.

¹ Le présent article est tiré pour l'essentiel d'un mémoire de CAFIPEMF soutenu en mars 2002.

² PRESTE : *Plan de Rénovation de l'Enseignement des Sciences et de la Technologie à l'École* (BO n° 23 du 15 juin 2000)

Les visées piagésiennes en matière de développement cognitif situent le stade de la pensée formelle autour de 12 à 14 ans. Sans doute a-t-on longtemps pensé que sans la maîtrise de la pensée hypothético-déductive, il n'y avait point d'activité scientifique possible et les programmes officiels passés reflétaient ce postulat. Pourtant, Piaget lui-même avait ouvert un peu la porte en ce qui concerne les sciences de la vie en mettant en avant que l'initiation aux sciences naturelles pouvait développer l'esprit scientifique sous l'un de ses aspects les plus fondamentaux, l'aspect expérimental, à condition, pensait-il, qu'on le distingue de l'aspect déductif des mathématiques.

Il semble que le temps est venu, aujourd'hui avec les derniers textes officiels, d'envisager une approche des sciences expérimentales dans laquelle manipulation, tâtonnement, droit à l'erreur, répétition, vérification, questionnement, expression, interprétation, recherche de la preuve, confrontation des résultats et synthèse auront droit de cité.

Étant donné la nature propre de la démarche scientifique et les capacités cognitives de l'enfant, on peut alors se demander dans quelle mesure est-il possible de concevoir l'apprentissage, et plus particulièrement au cycle des approfondissements ?

Ce sera l'objet essentiel de cet article. Nous illustrerons cette question à travers l'analyse de la pratique d'élevages au cycle 3, en tenant compte des spécificités des sciences du vivant. Pour cela, nous ne saurions faire l'économie d'un examen des avancées actuelles en matière de didactique des sciences.

D'inspirations constructivistes, elles s'inscrivent à la croisée des idées initiées par Piaget et Vygotski en matière de développement cognitif. Mais la psychologie cognitive n'a guère prospecté le domaine des apprentissages. Aussi, des didacticiens, parmi lesquels Giordan, de Vecchi ou Astolfi, se penchent depuis une vingtaine d'années sur la problématique des apprentissages liée aux concepts scientifiques. Nous inspirant d'un des modèles didactiques issus de ces recherches, nous énoncerons notre démarche pédagogique et ses limites observées.

Les facteurs environnementaux liés à la disparité des groupes d'apprenants et à l'expérience passée des élèves seront pris en compte dans l'analyse critique qui sera faite. Les observations et mises en œuvre ont été faites lors de remplacements de plusieurs mois dans plusieurs classes de cycle 3 (en REP ou non).

Le cadre institutionnel

Longtemps, les programmes n'accordèrent que peu de place à l'apprentissage d'une démarche scientifique à l'école primaire.

"Il s'agit avant tout, disent les instructions officielles du 30 août 1937, d'habituer les enfants à l'observation et à la description des faits." Cela passait par les fameuses leçons de choses qui étaient principalement des exercices d'observation (le maître mot) sur des "choses" familières aux enfants. On considérait que la seule conduite proprement scientifique dont l'enfant était capable à l'âge de la scolarité primaire était l'observation. Il fallait donc *"placer l'enfant devant les faits."* ; la seule exigence étant celle du concret.

Si l'on cherche, alors, un embryon de ce qui pourrait être considéré comme la démarche scientifique de l'élève à l'école primaire, il s'articule autour des termes suivants: *"Observer, analyser, classer, définir, conclure."*

Ce qui est concret en 1938 comme plus tard en 1959, ce sont les moyens utilisés par le maître pour objectiver ces leçons de choses. Ce qui doit être concret aujourd'hui, c'est la

pratique d'expérimentation et de réalisation par les élèves eux-mêmes³. Et c'est bien là la différence fondamentale. L'enfant a changé de place.

Sans entrer dans un inventaire fastidieux des objectifs et des contenus d'aujourd'hui qui ne ferait que reprendre en substance les programmes officiels, on se référera donc désormais aux nouveaux textes. Nous mettrons simplement en avant les instructions suivantes figurant dans les anciens programmes de 1995 qui restent à notre sens dans l'esprit des textes actuels cités plus loin: « *L'élève par la mise en œuvre de certains aspects de la démarche scientifique, apprend à formuler des questions, à proposer des solutions raisonnées à partir d'observations, de mesures, de mises en relation de données et d'exploitation de documents...* » ; nous les rapprocherons de certains des objectifs afférents à la résolution de problèmes. En effet, l'un des aspects de cette démarche pédagogique, est de traiter l'apprentissage d'un concept scientifique sous la forme d'une situation de résolution de problèmes.

Pratiquer l'expérimentation avec les enfants afin de leur permettre de construire un esprit scientifique apparaît d'autant plus nécessaire que l'activité scientifique n'est convaincante que comme suit : « *Si elle expérimente, il faut raisonner; si elle raisonne, il faut expérimenter* » (Bachelard, 1934).

Conscientiser chez l'enfant « *les méthodes propres de la démarche scientifique* » ainsi que « *développer l'objectivité et le sens de la preuve* » sont par ailleurs des objectifs lui permettant d'acquérir les compétences fondamentales dans « *la construction d'une représentation rationnelle de la matière et du vivant par l'observation, puis l'analyse raisonnée.* »⁴.

Désormais, la démarche est beaucoup plus fléchée que dans les anciens programmes de 1995 : « *L'enseignant sélectionne une situation de départ qui focalise la curiosité des élèves, déclenche leurs questions et leur permet d'exprimer leurs idées préalables. Il incite à une formulation précise. Il amène à sélectionner les questions qui se prêtent à une démarche constructive d'investigation débouchant sur la construction des savoir-faire, des connaissances et des repères culturels prévus par les programmes (structuration). Les compétences et les connaissances sont construites dans le cadre d'une méthode qui permet d'articuler questionnement sur le monde et démarche d'investigation.* »⁵.

Une fois ces aspects essentiels relevés, il faut compléter cet examen des textes officiels par la mise en avant des types d'activité par lesquels le maître peut choisir de rendre l'élève acteur de cette démarche. À cet égard, le texte de 2002 est des plus explicites :

L'élève doit être capable par exemple :

- d'imaginer et de réaliser un dispositif expérimental ;
- d'utiliser des instruments d'observation ;
- de recommencer une expérience en faisant varier un seul facteur par rapport à une expérience déjà effectuée ;
- de réaliser une représentation schématique ou un dessin d'observation.

Le maître veillera à ce que ces activités soient aussi, dans le domaine de la langue, le support de nouveaux apprentissages ou d'un réinvestissement des compétences acquises. La structuration du savoir scientifique par le langage, tant oral qu'écrit, est un des temps principaux de notre pratique. Dans ce contexte, l'utilisation par l'élève d'écrits instrumentaux pour lui et communicationnels pour les autres, est l'objet d'un apprentissage effectué chemin faisant. Parallèlement, « *Le questionnement et les échanges, la*

³ voir B.O du 27 août 1999

⁴ partie IV, B.O. hors série n° 1 du 14 février 2002

⁵ Programmes 2002 de l'école élémentaire, p 243

comparaison des résultats obtenus, leur confrontation aux savoirs établis sont autant d'occasions de découvrir les modalités d'un débat réglé visant à produire des connaissances. »⁶ () Les écrits produits, validés, prendront alors le statut de savoir.

En conclusion, on voit bien qu'aujourd'hui, le maître doit guider l'enfant dans un apprentissage complet d'une réelle démarche scientifique qu'il est censé pouvoir appréhender. Et c'est bien là l'innovation. On ne cantonne plus l'élève dans un rôle proprement passif, mais le spectateur d'antan est devenu acteur impliqué dans une démarche qu'on ne refuse plus de croire comme étant à sa portée.

Reste cependant à préciser quelles sont ses capacités potentielles et quel type de démarche il va lui être proposée.

Le cadre théorique

L'enfant et la pensée scientifique

La notion de stades développée par Piaget (1966), nous amène bien vite devant un écueil qui sous-tend la problématique formulée en préambule : comment, en effet, amener des élèves ne maîtrisant pas le mode de pensée formelle à pratiquer une démarche scientifique⁷ ?

Le développement cognitif de l'enfant de cycle 3 se situe dans un intervalle que Piaget nomme le stade des opérations concrètes. L'enfant commence à mettre en œuvre des classements, des sériations, la construction d'invariants. Des propositions comme « *La fourmi est un insecte.* » ou « *Un œuf est l'union d'un spermatozoïde et d'un ovule.* » commencent à prendre un sens et à devenir opérationnelles dans un système de construction du réel propre à l'enfant.

Dans l'esprit de Piaget, une opération concrète est une action intériorisée avec coordination et réversibilité possible. Le passage au mental ne peut s'opérer qu'à travers un support concret. L'action, ici, devient une action pensée. En clair, mettons l'enfant en situation d'élever des fourmis plutôt que de lire un documentaire sur les insectes sociaux. On favorisera ensuite le questionnement et le raisonnement inférentiel. Mais pour Piaget et Inhelder (1966) : à ce stade, « *la formation spontanée d'un esprit expérimental est impossible à constituer* ». Tout est là. Or si l'on a en tête un modèle de démarche scientifique basé sur un mode de raisonnement hypothético-déductif et une pensée causale opérationnelle, la vision de l'enfant de cycle 3 au stade des opérations concrètes n'est plus suffisante. Comment, en effet, amener cet enfant à mettre en œuvre l'un des premiers éléments d'une démarche scientifique, c'est-à-dire émettre (inférer) des hypothèses?

L'examen ci-dessous de la nature de la démarche scientifique montrera aussi qu'il faut s'entendre sur ce que désigne ce terme de démarche scientifique et sur ce que l'on se propose d'enseigner. Quel apprentissage pour quel enfant? Telle pourrait être, à ce stade, une reformulation de la question de départ.

Le point de vue de Vygotski permet peut-être de contourner en partie l'obstacle. « Les processus du développement ne coïncident pas avec ceux de l'apprentissage, mais suivent ces derniers en donnant naissance à ce que nous avons défini comme zone proximale de développement. » (Vygotski 1933, p.114). Vygotski fait de l'école le lieu spécifique de l'apprentissage de ces concepts scientifiques qu'il définit par opposition aux concepts dits quotidiens.

⁶ partie IV, B.O. hors série n° 1 du 14 février 2002

⁷ Ce que l'on entend ici par démarche scientifique sera défini au chapitre suivant

Piaget et Vygotski semblent s'accorder sur un point, l'accès aux concepts scientifiques s'effectue sur le mode conscient et réflexif par le langage. Au-delà, les déterminants de l'apprentissage semblent, en plus d'un certain niveau opératoire au sens piagétien du terme, résider dans la représentation globale de la situation qui se nourrit à la fois des référents culturels de l'enfant, du contexte de questionnement ainsi que des interactions langagières avec l'adulte de référence ou entre pairs.

Un autre concept important est celui d'obstacle épistémologique. Ce concept, initié par Bachelard, est lié au mode de représentation que possède l'apprenant d'un concept scientifique : « *On connaît contre une connaissance antérieure en détruisant des connaissances mal faites, en surmontant ce qui dans l'esprit même fait obstacle...* » (Bachelard, 1938, p14).

Spécificité des sciences de la vie.

La biologie est une science dont la spécificité est de questionner le vivant sous toutes ses formes. Elle utilise en cela les méthodes et les instruments de la science. On peut cependant distinguer avec Ernst Mayr (1997) trois façons de poser des questions dans cette étude du vivant :

- des questions du type « *Quoi ?* » (classifier les êtres vivants)
- des questions du type « *Comment ?* » (s'intéresser au fonctionnement du vivant)
- des questions du type « *Pourquoi ?* » (s'attacher à l'évolution du vivant)

Le premier point nous paraît nécessiter tout particulièrement des capacités d'observation, de description, de classements et de schématisation qui sont autant de facettes des connaissances mobilisées dans la démarche scientifique. Ces quatre points nécessitent des apprentissages spécifiques qui trouvent dans les activités de découverte du vivant toute leur place et une grande partie de leur force d'explicitation.

Le second point nous amènera plutôt à nous tourner vers l'expérimentation et la recherche documentaire après une phase d'investigation passant par le questionnement lié à l'observation réfléchie et à la formulation d'une question du type : « *Comment respirent les vers à soie ?* » par exemple.

Nous pensons, et c'est en cela qu'elles nous intéressent ici, que les sciences de la vie sont un champ disciplinaire qui permet tout particulièrement de développer chez nos élèves certaines compétences liées à la démarche scientifique comme l'observation et l'expérimentation. Les activités liées à l'observation en sont même l'un des points forts.

L'observation

Observer est une vaste question. Question, le mot est bien là, car on n'observe jamais sans a priori, sans questionnement préalable. Observer c'est, quelque part, chercher à retrouver ce que l'on sait déjà. Mettre les élèves en situation d'observer, c'est donc travailler sur leurs représentations.

Par ailleurs, on constate souvent qu'un fait qui pose question au maître (par exemple la présence d'une cuticule vide dans un élevage de grillons) n'interpelle pas les élèves. Il faut alors tout le guidage du maître pour qu'un questionnement voie le jour et que l'observation devienne une activité d'investigation. L'enfant, comme l'adulte d'ailleurs, ne se tourne pas spontanément vers ce qui lui pose problème. Se poser des problèmes, c'est bien là une caractéristique de l'activité scientifique.

Observer est donc une activité intellectuelle qui demande de s'extraire des faits bruts pour commencer à les questionner et à affiner son regard.

Apprendre à observer, c'est donc apprendre à interpréter les faits. Il s'agit là de devenir capable :

- de mettre en discours (oral et écrits descriptifs) ;
- de représenter (photographier, dessiner, faire un croquis ou un schéma, construire un graphique ou un tableau, ...).

Autant de points qui doivent faire l'objet d'apprentissages spécifiques et instrumentés.

L'expérimentation

Pour définir l'expérimentation, nous reprendrons la définition qu'en donne Michel Develay (1989). « *L'expérimentation constitue le processus qui conduit, à partir de l'émission de l'hypothèse, à la réalisation d'une expérience et à l'analyse de ses résultats.* »

Face à la complexité du vivant, expérimenter n'est pas chose aisée, c'est même fréquemment impossible. En effet, identifier, isoler et agir sur les différentes variables liées à un phénomène vivant est souvent hors de portée des élèves d'une classe, cela même avec l'aide du maître.

Cependant, il ne s'agit pas de renoncer systématiquement à l'expérimentation, mais de cerner avec les élèves ce qui peut être fait, face à un problème rencontré et à une ou plusieurs hypothèses formulées.

On peut ainsi distinguer 3 axes liés à l'expérimentation dans une classe à l'école primaire :

Expérimenter	Exemples	Variables
Faire varier des facteurs de manière isolée	Influence de la lumière sur le comportement du ténébrion (ver de farine)	Lumière
Faire plusieurs expériences différentes pour arriver à tirer une conclusion	Influence de la température ou de l'humidité sur la durée de l'incubation	Différents types d'élevages (escargots, grillons, fourmis, vers à soie, ...)
Faire une expérience avec un groupe témoin	Alimentation des vers à soie	Groupe témoin nourri avec des feuilles de mûrier blanc Autres groupes nourris avec d'autres feuilles ou d'autres aliments

Souvent, nombre d'hypothèses émises par les élèves ne peuvent être vérifiées par l'expérimentation. En voici quelques exemples.

- « *Le grillon respire par la bouche.* » ;
- « *La femelle du bombyx est plus grosse que le mâle parce qu'elle a les œufs à l'intérieur.* » ;
- « *Les grillons muent parce qu'ils deviennent trop grands pour rester dans leur ancienne peau.* ».

On le verra dans l'exemple du bombyx, le recours à l'expérience est généralement difficile dans les sciences de la vie et les conclusions que l'on peut en tirer à l'école ont souvent peu de portées cognitives.

Les élèves rencontrent des difficultés variables à concevoir une expérimentation comme les suivantes, fréquemment repérées au cycle 3 :

- ils ont des difficultés à isoler les variables ;
- ils ne mesurent pas l'influence du quantitatif, mais se cantonnent à l'aspect qualitatif des variables ;

- ils n'envisagent pas spontanément de répéter plusieurs fois une même expérience (tester sa possibilité d'être reproduite) ;
- ils ne perçoivent pas d'emblée la nécessité de recourir à un groupe témoin.

Aussi à chaque niveau du cycle, le maître prendra soin d'insérer dans sa programmation de l'année quelques activités permettant à ces élèves de mener à bien des expérimentations dont le degré de complexité sera progressif et de nature à permettre de travailler les difficultés identifiées précédemment. Le formalisme dans le traitement des hypothèses et des données (arbres logiques, tableaux à double entrée, schéma, ...) sera aussi un élément essentiel à structurer pour permettre aux élèves de systématiser et de dépasser la dynamique de l'oral.

Différents éléments autour desquels articuler une démarche de didactique des sciences

En préalable à toute activité : s'assurer d'une bonne motivation des élèves ; ce que permet aisément la pratique des élevages qui est de nature à stimuler leur intérêt et leur curiosité.

La prise en compte des représentations des élèves

À chaque concept, (la digestion, la fécondation par exemple), correspond ce que J.P Astolfi appelle une cartographie des représentations des élèves de la classe. Cette cartographie dépend du niveau d'entrée des enfants et de leurs capacités d'adaptation à la tâche adoptée.

Dans notre perspective, ces tâches seront principalement des résolutions de problème. Le maître analyse cette cartographie. Il en tire des objectifs/obstacles.

Cette idée a été introduite par J.L Martinand (1986). De prime abord paradoxale, elle sous-entend qu'il ne faut pas sous-estimer l'obstacle rencontré par l'enfant si on veut l'aider à le franchir et que le maître doit « *le penser d'une manière qui rende possible son dépassement* ». Il doit donc mettre en place les situations pédagogiques qui permettent cela.

L'enseignant a atteint ses objectifs lorsque les élèves ont surmonté les obstacles liés à leurs représentations, grâce aux situations pédagogiques mises en place.

On notera qu'au registre des obstacles rencontrés par l'élève ne figurent pas que les représentations. D'autres obstacles peuvent être liés à l'instrumentation comme l'utilisation du microscope. En effet, nombre d'élèves de fin de cycle 3 ont encore du mal à établir une continuité entre un objet observé à l'œil nu et son image vue au microscope (un fil de soie par exemple).

De l'utilisation des échanges entre pairs vers la structuration des savoirs ainsi modifiés

Lorsque chaque élève s'est approprié le problème posé, des explications contradictoires sont proposées (par les élèves, par des documents, par le maître ou bien encore par un tiers). La prise en compte par l'apprenant de ces différences de point de vue, engendre chez lui un conflit cognitif facteur d'apprentissage.

Le rôle du maître est de réunir les conditions propices à cette "déformation intellectuelle". « *Elle débouche à terme, non pas sur une simple accommodation, mais sur une mutation radicale du réseau conceptuel.* » (Giordan, 1998). Une fois cette étape atteinte, il reprend alors un mode pédagogique plus interventionniste, afin d'assurer une nécessaire décontextualisation des savoirs : c'est le temps de la structuration qui ne procède plus de la résolution de problèmes. Il s'agit de permettre à l'élève de rendre opératoire le concept

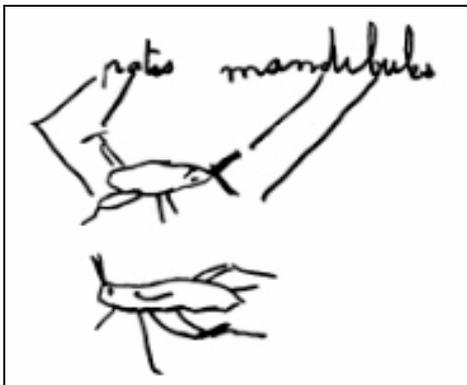
nouveau ou modifié (par exemple par une recherche documentaire). L'élève aura alors réellement modifié ses conceptions premières s'il réussit à reconnaître seul d'autres situations de validité de son savoir.

Des activités mises en œuvre : pratiques d'élevages de petits animaux

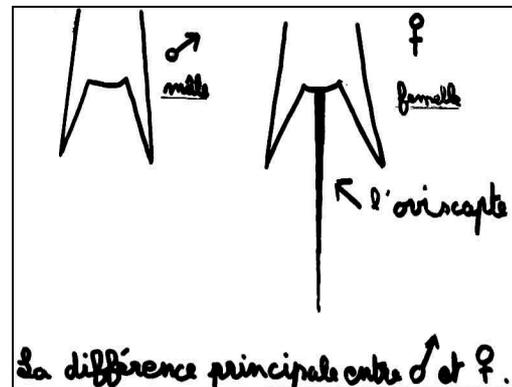
Exemples de structuration de l'observation à l'aide d'un schéma

Dans les deux exemples qui vont suivre, les productions d'élèves (CE2) ont été réalisées l'une sans travail spécifique (doc 1) et l'autre après un travail spécifique sur le schéma (doc 2). La grille produite en annexe 1 est l'outil principal utilisé par l'élève pour construire son schéma au service de l'observation effectuée.

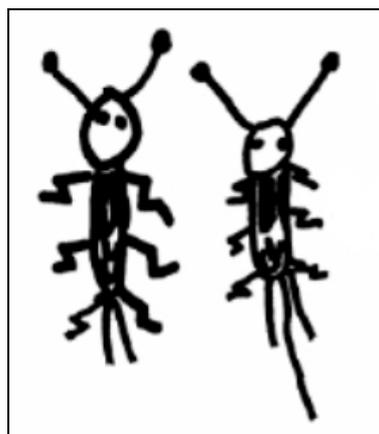
La consigne donnée aux élèves dans les deux cas était de réaliser un dessin qui montre les principales différences visibles entre le mâle et la femelle chez le grillon. Dans les deux cas, ils avaient à disposition pour leur observation un couple de grillons dans une boîte transparente.



Document 1
Grillons mâle et femelle
Dessin de Frank - 8 ans 6 mois



Document 2
Grillons mâle et femelle
Schéma de Tiphany - 9 ans 2 mois



Document 3 –
Grillons mâle et femelle –
Dessin de Lucille - 4 ans 10 mois

Le document 3 est un dessin fait dans les mêmes circonstances par une élève de moyenne section de maternelle⁸. Ce dessin, qui n'avait rien d'exceptionnel par rapport aux autres productions de la classe, me paraît intéressant à comparer avec celui de Frank⁹ (doc 1).

⁸ Moyenne section – Ecole Sidi Brahim, Grenoble – 1999

⁹ CE2 – Ecole Robespierre, Fontaine – 2000

On constate tout d'abord avec surprise que celui de Lucille (MS) semble beaucoup plus pertinent que celui de Franck (CE2). Après avoir échangé avec différents collègues à ce sujet, il nous semble que l'on peut interpréter cela ainsi : un élève de CE2 a déjà des représentations de l'objet beaucoup plus complexes que l'élève de moyenne section qui lui colle plus aux faits et observe avec moins d'a priori. Au final, dans notre exemple Lucille produit un dessin plus précis que Frank qui lui a du mal à se défaire de l'image du grillon qu'il s'est construit et à entrer dans la consigne qui était de se centrer sur les différences entre mâle et femelle. L'exemple de Frank n'est pas un cas isolé ; nous avons constaté les mêmes apparents paradoxes dans les dessins d'observation récoltés dans d'autres classes de cycle 3.

Le document 2 correspond à la production d'un autre élève de CE2, après une séance spécifique centrée sur la réalisation d'un schéma avec utilisation de la grille produite en annexe 1. On constate l'écart entre les deux documents. Certes, il manque dans le schéma de Tiphaine la précision indiquant qu'il s'agit bien de grillons, mais on voit que l'élève a su, grâce au respect des critères de réussite énoncés dans la grille, produire un document descriptif structuré. Son observation n'est plus a priori, mais relève d'une mise au clair dans l'analyse visuelle du réel. L'élève a ici appris à réaliser un schéma, mais elle a aussi appris en réalisant ce schéma.

Ce travail illustre bien la nécessité de construire l'observation avec les élèves, en tenant compte de leurs représentations, bien sûr, mais au-delà en leur donnant des outils pour structurer cette étape de l'apprentissage d'une démarche scientifique qu'est l'observation. Sans donner ici une progression, on pourra aisément imaginer les étapes suivantes de ce travail de schématisation en intégrant dans les critères de réussite la notion d'échelle, de point de vue, la mise en relation d'éléments... Il s'avère aussi que mettre les élèves en situation de produire dans d'autres contextes (par exemple, en arts plastiques, imaginer un insecte fantastique et en réaliser des schémas explicatifs, illustrer une histoire ou bien encore en géométrie, utiliser des figures géométriques simples pour réaliser des schémas plus abstraits et de moins en moins dessinés) est un moyen de renforcer les acquisitions en ce domaine.

Un second exemple : l'élevage du bombyx mori

À travers de l'élevage de vers à soie, nous abordons le concept de la reproduction. Nous illustrerons notre propos par l'étude de la fécondation. Cet exemple permet de montrer un type de parcours pédagogique proposé aux élèves : la formulation d'un problème scientifique, la prise en compte des représentations des élèves, l'identification des objectifs / obstacles, la mise en débat scientifique et enfin le passage à l'écrit de synthèse.

Organisation de la classe

Consécutivement à l'introduction d'œufs de vers à soie dans la classe, par le maître, les élèves organisent les tâches nécessaires à la bonne "éducation des magnans" et à la pratique d'observations libres ou programmées collectivement. Ces tâches sont gérées par groupe de trois et un temps quotidien de rapport à la classe est institué. Le maître communique le minimum d'informations indispensables. Chaque élève consigne ses observations dans un cahier d'observations personnel.

Émergence d'un problème scientifique : exemple de la fécondation

Au dernier stade de vie du bombyx, les élèves observent la ponte des œufs par les papillons femelles. Les faits issus des observations par groupes sont résumés dans le tableau ci-

dessous à l'issue d'un travail de mise en forme des données (groupe puis classe pour structuration de l'écrit).

Ponte	Accouplement	Couleur des œufs	Données
dans le cocon, femelle n'ayant pas émergé	non	blanc puis jaunâtre	Issues de l'observation d'un phénomène spontané
à l'extérieur, femelle isolée ayant émergé	non	blanc puis jaunâtre	Issues de l'observation spontanée puis tirée d'expérience
à l'extérieur, femelle ayant émergé	oui	blanc puis gris lilas (quelques œufs jaunâtres)	Issues de l'observation d'un phénomène spontané

La discussion/débat, par laquelle le maître amène les élèves à interroger ces faits, débouche sur la formulation par les élèves de plusieurs questions. Pourquoi les œufs changent-ils de couleur ? À quoi sert le mâle ? L'accouplement est-il indispensable pour la reproduction ? À quoi sert l'accouplement ? ...

À partir de la mobilisation des connaissances déjà opérationnelles dans les conceptions de chacun, le groupe-classe est amené à se poser un réel problème scientifique : **De quoi dépend la fécondation ?**

La fécondation: éléments d'analyse d'un champ conceptuel

Le concept de fécondation se trouve organisé autour de notions sous-jacentes. Différenciation sexuelle, accouplement, développement doivent être instrumentés par un vocabulaire associé (mâle, femelle, ovule, spermatozoïde, pénis, vagin, œuf...). Aussi, un lexique est construit tout au long de la résolution du problème. Pour autant, l'apprentissage du mot ne va pas sans celui du concept qu'il signifie. « *Le mot est presque toujours prêt lorsque le concept qu'il exprime, l'est.* »¹⁰

La prise en compte des représentations et l'identification d'objectifs/obstacles

Le maître recueille les différentes représentations en présence (schémas, questionnaires...). Leur analyse lui donne une vision catégorielle des obstacles que rencontre chacun dans la construction du concept de fécondation. De ces obstacles, il tire les objectifs/obstacles qui vont guider la démarche didactique à suivre. (voir tableau ci-dessous).

Un travail par groupe, différencié selon les obstacles rencontrés, est chaque fois le préalable à une mise en commun. Cette dernière phase de structuration aboutit de nouveau à la production d'un écrit de synthèse essentiel pour fixer le savoir établi, le rappeler à la mémoire en différé et surtout l'isoler de l'ensemble des incertitudes rencontrées lors de la phase d'investigation.

Dans le cas présent, il s'agit d'un compte-rendu d'expérience qui fera l'objet d'un travail d'écriture spécifique bien identifié comme tel par les élèves. On bascule alors dans un apprentissage lié au domaine de la langue. Il ne s'agit plus pour l'élève, à proprement parler, d'une activité scientifique.

¹⁰ Tolstoï, In Pensée et langage, Vygotski, 1934

obstacles	portant sur	objectif/obstacle	séance centrée sur	activités
cognitifs et/ou épistémologiques	différence ovule/œuf	différencier ovule/œuf	les champs lexicaux groupe puis classe	recherche documentaire
	différence accouplement/ fécondation	différencier accouplement/ fécondation	observation/ interprétation échanges groupe classe	confrontation des représentations aux faits observés
	prédominance accordée au rôle de la femelle ou du mâle	préciser la nature de la contribution de chacun des sexes	observation/ interprétation échanges par groupe puis classe	confrontation des représentations aux faits observés
expérimentaux	impossibilité d'observation directe du matériel ovule/ spermatozoïde	enrichissement du vocabulaire	illustration du vocabulaire individuel puis classe	lecture documentaire +questionnaire élaboration du lexique

Débat scientifique, débat démocratique : éviter la confusion des genres.

Il est nécessaire de mettre l'accent sur ce qu'on peut à juste titre considérer comme un travers : la confusion dans les mises en commun. Nous prendrons ici un exemple qui n'a pas trait à l'élevage du bombyx mais à une discussion qui eut lieu en classe à propos de feuilles d'arbres apportées par les élèves de CE2. Une élève ayant choisi des feuilles de plant de tomate, la question s'est posé : doit-on considérer le plant de tomate comme un arbre ou pas ? Bien vite, le problème de savoir ce que l'on considère comme un arbre est mis en avant. Devant l'absence de savoir et de définition clairs à ce stade, le maître se garda bien de donner quelque définition que ce soit afin que chacun puisse percevoir la nécessité de définir la classe « arbre ». Face à ce flottement et à cette indécision dans lesquels la classe se trouvait, un élève de CM1, présent dans la classe ce jour-là, proposa alors une porte de sortie : "*Maître, on a qu'à voter!*". Une définition de l'arbre fut mise aux voix. Curieuse méthode de construction du réel. Et pourtant, le savoir n'est-il pas dans une certaine mesure l'objet d'un consensus, d'un accord commun ? Cet élève avait juste besoin de mieux mesurer qu'une définition passe par l'énoncé de critères et que le débat démocratique est trop consensuel pour valoir comme généralité.

On aura donc bien soin après les mises en commun de prendre un temps pour faire la synthèse de ce qui a été établi, de ce qui a été rejeté et enfin le cas échéant de ce qui reste en suspens, tout en rappelant à chaque fois comment le savoir nouveau a été établi. On évitera ainsi ce risque de confusion des genres entre débat scientifique et débat démocratique.

Prise de note et écrits scientifiques

Le cahier d'observations institué est utilisé par chaque enfant. Chacun y consigne librement observations, remarques, dessins, schémas, questions... C'est un outil personnel qui n'est pas soumis à la collectivité. À ce titre, il n'est pas corrigé par le maître. Mais ce dernier veille à ce qu'il soit opérationnel en insistant sur son rôle : mémoriser, s'interroger, s'expliquer à soi-même. Afin d'aider l'élève à différencier le statut de chaque information, il sera incité, petit à petit, à utiliser des couleurs différentes pour en noter chaque type. À l'aide de grilles de critères, il pratiquera une autoévaluation de ses écrits. Les informations

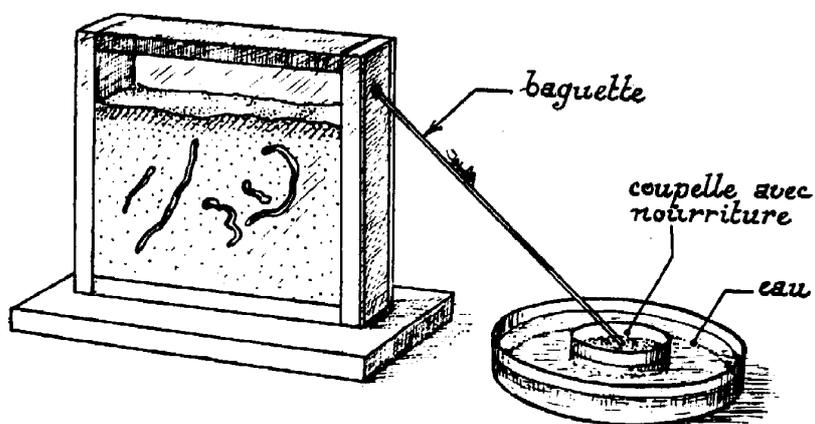
recueillies par ce biais vont ensuite servir à la production d'autres types d'écrits : ceux qui sont de nature à répondre à la question posée. Ici, on tirera d'observations faites au début de l'élevage, en les réactivant, une des informations essentielles concernant la fécondité ou la stérilité des œufs.

Un troisième exemple: La guerre des fourmis

Cet exemple développé servira à apporter quelques éléments d'analyse en rapport avec la problématique du dossier. L'analyse qui sera faite portera plus particulièrement sur les représentations, l'expérience et la validation heuristique.

Le contexte et l'activité

Les faits relatés se sont déroulés dans une classe de CM1/CM2¹¹. Suite à une commande du maître, la classe reçoit trois mini colonies de *Myrmica Rubra* (fourmis rouges) ; trois tubes à essai contenant chacun : 1 reine, une quarantaine d'ouvrières et du couvain. Les trois colonies sont introduites simultanément dans un dispositif similaire à celui de la figure ci-dessous.



Fourmilière expérimentale comprenant un « monde extérieur », lieu où les fourmis viennent se nourrir

Compte tenu de la période de l'année et de la progression choisie, les objectifs cognitifs liés à cet élevage sont :

- la reproduction : un exemple complexe ;
- la nutrition : chaîne et comportement alimentaires ;
- le mode de vie et l'adaptation à l'environnement ;

Naissance d'un problème et procédure de résolution dans le cadre d'une démarche scientifique

Bien vite des questions surgissent ; certaines sont en rapport avec des faits observés ; elles interpellent bon nombre d'élèves. Des cadavres sont repérés près des nids, dans le tuyau qui mène au monde extérieur et dans le monde extérieur lui-même. Certaines fourmis semblent se battre entre elles ; les unes prenant les autres dans leurs mandibules.

- Julien: "Pourquoi y'a des cadavres?"
- Emilie: "Elles se mangent entre elles?"
- Caroline: "Peut-on mélanger les trois colonies?"
- Fouad: "Elles s'font la guerre?"

L'idée d'une guerre des fourmis s'impose peu à peu dans la classe.

¹¹ Ecole Louis Pergaud - l'Isle d'Abeau, Isère, mai/juin 1995.

Ne sachant, en l'occurrence, de quoi il en retourne vraiment, nous penchons plutôt pour le sens commun, n'ayant par ailleurs comme les élèves de la classe d'autre explication préétablie.

Par choix pédagogique, et pour influencer le moins possible le raisonnement des élèves, nous nous bornons à distribuer la parole, à inciter les observateurs chargés de s'occuper de l'entretien de l'élevage, à noter le plus possible de faits centrés sur ces questions. Le cahier d'observation de la classe est renseigné régulièrement et abondamment. Peu à peu, un questionnement nouveau voit le jour menant un peu plus loin que le simple: "*Que se passe-t-il?*". De ces échanges entre les élèves naît une seconde série de questions parmi lesquelles:

- Lilia: "*Ont-elles un territoire?*"
- Emilie: "*Pourquoi elles se battent?*"
- Thomas: "*Elles sont carnivores?*"
- Julien: "*Y'a une reine ou plusieurs?*"

Certains apportent des livres de la maison, de la bibliothèque. Cette documentation, si elle donne des pistes, aide à répondre à certaines questions comme celle de Thomas, ne permet pourtant pas de déterminer avec certitude ce qui arrive à nos fourmis. Au bout d'une semaine, le nombre de cadavres semble se stabiliser et se localiser dans le monde extérieur, là où est proposée la nourriture. Alors, certains élèves évoquent l'idée de faire appel à l'aide d'un expert et la perspective d'écrire une lettre au laboratoire qui nous a fourni les colonies, anime la classe. Des textes explicatifs sont produits, suivis de questions :

- *Les reines viennent-elles de la même colonie de départ?*
- *Les Myrica se font-elles la guerre entre colonies?*
- *Ont-elles un territoire ?*
- *Une colonie d'une espèce peut-elle avoir plusieurs reines?*

Les jours suivant l'envoi des courriers se passent dans l'attente d'une réponse qui tarde à venir. Pour nous assurer qu'il y aura bien réponse, mais aussi par désir d'en savoir un peu plus que les élèves, nous téléphonons au laboratoire. Un des étudiants en thèse d'éthologie nous promet une réponse pour la classe et, d'ores et déjà, nous renseigne. Selon lui, il peut y avoir plusieurs explications à la situation :

- une guerre entre colonies ; il ne peut dire si les fourmis proviennent ou non de la même colonie d'origine ;
- une mortalité importante due au transport des fourmis ;

Comme nous objectons que, dans le second cas, nous ne voyons pas pourquoi des individus en prendraient d'autres avec leurs mandibules, une réponse déroutante nous est faite. « *S'il y a beaucoup de cadavres, vos fourmis sont en train de faire de votre monde extérieur un cimetière! Elles sont très sensibles aux odeurs. Elles déménagent donc les cadavres le plus loin possible du nid: le monde extérieur* »

Nous voilà donc avec une hypothèse de plus. Guerre des fourmis ou cimetière de fourmis ? J'ai quant à moi deux hypothèses; je joue le jeu du courrier: jusqu'à réception de la réponse, les élèves n'en ont eue toujours qu'une.

Profitant de l'avance relative que nous donne l'attente du courrier, nous faisons une petite expérience afin de tester la nouvelle hypothèse. Un soir après la classe, à l'insu des élèves, nous transvasons tous les cadavres présents dans le monde extérieur à l'intérieur du nid. Le lendemain, les cadavres sont de nouveau dans le monde extérieur. Les ouvrières les ont déménagés.

Deux jours plus tard, avec le courrier, l'hypothèse du cimetière débarque dans la classe. Les discussions vont alors bon train, jusqu'à s'animer. Certains résistent, n'acceptent pas

cette nouvelle idée comme un possible. Après tout, c'est vrai : le scénario de la guerre fonctionne bien. Pourquoi aller chercher une autre explication? « *Pourquoi y'aurait des cadavres alors si c'est pas une guerre?* » comme le dit Laurent...

Comme le débat ne semble plus évoluer autrement que vers des arguments d'autorité, nous relance la résolution du problème en demandant : « *A votre avis, ne pourrait-on pas faire une expérience qui permette de prouver si l'une ou l'autre des hypothèses est bonne ou n'est pas bonne?* ». Il est important de préciser « *Est ou n'est pas* » pour rester prudent quant à ce qu'il nous sera possible de prouver réellement.

À ce stade, nous arrêtons la séance pour laisser à chacun le soin de réfléchir et d'imaginer quelque chose pour le lendemain. Et de fait, le jour suivant, Maxime livre son idée à la classe. « *On pourrait remettre les cadavres dans la fourmilière. Si c'est l'odeur qui les gêne, on verra les cadavres transportés vers le garde-manger par les autres. C'est vrai qu'on en voit moins qu'avant* ». Avant de transvaser les cadavres, nous demandons simplement : « *Rien ne ressemble plus à une fourmi qu'une autre fourmi. Comment pourrait-on faire pour être sûr que s'il y a de nouveaux des cadavres dans le garde-manger demain, ce seront bien les mêmes?* ». Après discussion, quelqu'un vient à suggérer de les marquer avec du correcteur blanc. L'expérience est réalisée le jour même.

Le lendemain, tous les cadavres ont été transportés à l'extérieur. L'expérience est renouvelée une seconde fois pour un même résultat : pas un seul nouveau cadavre qui ne soit marqué dans le monde extérieur. Chacun doit alors écrire ce qu'il en conclut.

Voici l'état détaillé des conclusions tirées par l'ensemble de la classe, soient les 34 élèves de cette classe de (17 CM1 et 17 CM2).

Propositions	Nombre de réponses
Pas de guerre et déplacement des cadavres à cause des odeurs	23
Pas de guerre	1
Déplacement des cadavres à cause des odeurs	8
Déplacement des cadavres à cause des odeurs et morts dues au transport par la Poste	1
La guerre est finie ; morts dues à la guerre et déplacement des cadavres à cause des odeurs	1

Analyse

La formulation d'un problème

À partir d'un problème que nous ne qualifierons pas de scientifique au départ, "*Pourquoi ces cadavres?*", des questions plus proprement scientifiques ont pu être posées dans la classe. Trancher entre les deux hypothèses énoncées devient à un moment un véritable problème scientifique dès lors qu'une stratégie expérimentale est mise en route pour trouver une solution.

Les représentations

On notera que l'attention n'est mobilisée au départ que parce qu'un mode d'explication peut être immédiatement plaqué sur les faits. C'est parce qu'il existe une forte conception que les faits interpellent. Pour reprendre les paroles de Karl Popper, on pourrait dire que se mêlent à la connaissance "*nos erreurs, nos préjugés, nos rêves et nos espérances et que tout ce que nous puissions faire est d'essayer d'atteindre la vérité quand bien même celle-ci serait hors de notre portée.*"(25) Un élève garde l'idée de la guerre, intégrant les apports de l'information contenue dans le courrier et de l'expérience réalisée. Le respect de la parole

de l'expert entraîne une déstabilisation provisoire. Le système reconstruit par l'élève révèle une logique interne forte qui en l'état de ce qui est montré est légitime. Pour s'attaquer à cette conception-là du problème, il faudrait concevoir une autre expérience permettant de tester mieux l'hypothèse de guerre. Or ici, le dispositif expérimental ne le permettait pas.

L'expérience

Concevoir une expérience pour prouver quelque chose n'est pas spontané. On n'y verra pas la marque d'un développement encore insuffisant ou d'une maturation incomplète mais bien celle d'un apprentissage qu'il reste à faire.

Il a fallu l'intervention du maître pour solliciter une réflexion dans ce sens. La nécessité de le faire n'allait pas de soi. L'expérience sur les cadavres, même si elle n'aurait sans doute jamais été envisagée spontanément sans l'incitation du maître à la concevoir, a fait l'objet d'un apprentissage pour certains. On en prendra pour preuve ce que proposa un élève ensuite pour voir si les antennes étaient bien les organes sensoriels des fourmis : « *couper les antennes et mettre ensuite ces fourmis sans antenne en présence de cadavres afin de voir si elles les déplacent toujours* ».

Devant la délicatesse d'une telle opération chirurgicale, l'expérience n'a pas été tentée. Mais sa conception, spontanée cette fois, montre bien que, du point de vue de la démarche, il y a bel et bien eu apprentissage. À 10 ans, Julien est capable de concevoir une expérience pour valider une hypothèse qu'il a lui-même inférée. De plus, une certaine compréhension, encore intuitive certes mais bien réelle, de la nécessité d'isoler les variables propres à l'expérience, est apparue. Qu'en aurait pensé Piaget ?

Le raisonnement

À partir de ce que les enfants notent, décodent, à leur niveau de raisonnement, on entre dans l'apprentissage d'une démarche scientifique qui colle bien à la conception énoncée précédemment.

Les sciences de la vie, en ce qu'elles ne procèdent pas, ici, d'un mode de raisonnement purement logico-mathématique, permettent cet apprentissage sans se heurter à l'écueil de la maîtrise d'un mode de pensée formelle. L'expérience sur les cadavres, par exemple, a bien permis de raisonner sur le problème, à un niveau accessible à l'ensemble des élèves de la classe. On se trouve là sans doute dans cette fameuse zone proximale de développement chère à Vygotski.

De manière plus générale, on constate, lorsque cette approche s'inscrit dans la durée (au minimum une année scolaire), un réinvestissement dans des domaines autres que ceux plus spécifiquement scientifiques. Nous avons pu noter cela dans des activités de pratique de la langue, tant orale qu'écrite, avec des exigences plus grandes de la part des enfants concernant le lexique ou en histoire, par exemple, concernant la façon dont s'établit la connaissance. Des questions comme "*Comment on le sait ça?*" sont à cet égard révélatrices.

La structuration des savoirs

Une fois la phase d'expérimentation et d'analyse des données faites, il restait à structurer le savoir établi dans une phase d'institutionnalisation où l'ensemble de la communauté « classe », sous la conduite du maître, s'est donné comme objectif de synthétiser le savoir dans une trace écrite pouvant avoir des aspects multiples (texte de synthèse, schéma, graphique, tableau, ...). Ici, nous nous sommes limités à un compte-rendu textuel synthétique.

En complément à l'étude pratique, ce travail de structuration a été complété par la

consultation d'ouvrages sur les fourmis et sur les insectes de manière plus générale. Ceci a permis d'élargir à une connaissance des organes de perceptions des insectes et à leur importance dans les relations que les insectes lient avec leur environnement. Ce n'était pas l'objectif de départ ! Mais tout en allant au bout de ce problème que les élèves s'étaient approprié, on a abordé quelques-uns des points que le maître souhaitait voir acquérir comme la nutrition ou le mode de vie et l'adaptation à l'environnement.

Mais l'essentiel n'est pas là dans ce parcours. Le savoir ponctuel sur la nutrition ou sur le mode de reproduction par exemple, paraît secondaire. Secondaire parce que comme le dit Goéry Delacôte (1996) : « *Le savoir se garde aussi bien que le poisson* ». Avec ce paradoxe cependant, que, pour reprendre l'image, une fois qu'on s'est imprégné de l'odeur, on a du mal à s'en défaire. Comme le montre assez bien, le cas de l'élève qui est resté attaché à l'idée de guerre tout en intégrant une partie du savoir construit en chemin. C'est là, ce qu'André Giordan nomme, nos prisons intellectuelles, nos conceptions : « *En fait, tout apprentissage réussi est un changement de conceptions, ce qui n'est jamais un processus simple car il n'est pas neutre pour l'apprenant. On peut même dire que c'est un processus désagréable. La conception mobilisée par celui qui apprend donne une signification à celui-ci et chaque changement est perçu comme une menace. Il change le sens de nos expériences passées. La conception telle que nous l'avons validée intervient à la fois comme un intégrateur et comme une formidable résistance à toute nouvelle donnée qui contredit le système d'explications déjà établi. De plus, l'apprenant doit exercer un contrôle délibéré sur son activité et sur les processus qui la régissent, et cela à différents niveaux que nous tentons également de répertorier* ». (Giordan, 1999).

Cependant, qu'on n'aille pas se méprendre sur le fait que le savoir savant est ici qualifié de secondaire. En aucun cas, il ne paraît souhaitable d'y renoncer ou de le négliger. Bien au contraire. Tout ne se vaut pas en science et l'on s'attachera à sensibiliser l'élève à cette perception de la connaissance institutionnelle.

Le retour réflexif sur le cheminement suivi, de l'émergence du problème jusqu'à la conclusion permet à l'élève de structurer cet apprentissage et c'est un aspect de métacognition, essentiel à la démarche didactique, que le maître veillera à ne pas négliger : "*Comment sait-on ce qu'on sait?*".

Efficiences et limites de la démarche mise en pratique

La cristallisation des attitudes

Travailler en groupe, exprimer son point de vue, respecter et intégrer celui d'autrui, autant d'incontournables, dans une démarche scientifique qui se respecte, sont par exemple des attitudes qui nécessitent un apprentissage programmé dans la durée. En fin de cycle 3, avoir à initier un tel type d'approche des échanges sociaux liés à l'acquisition des connaissances est difficile car l'élève n'est pas habitué à cette façon de construire ses savoirs. Nous avons pu constater que dans les écoles où ces pratiques étaient l'objet d'une continuité pédagogique, les élèves sont, plus qu'ailleurs, capables d'utiliser de façon profitable une situation de conflit sociocognitif. La tendance à adhérer aux points de vue des leaders y est moindre, la prise de parole plus spontanée, le respect mutuel plus facile à garantir. En d'autres termes, on voit que les élèves ont globalement un niveau d'entrée supérieur dans tous les aspects de la démarche scientifique liés à la communication. Lorsque cette approche est nouvelle pour les élèves, elle les déstabilise. Ils sont tout d'abord figés dans des attitudes plus attentistes. Le maître doit alors dépasser l'inertie due à cette cristallisation des attitudes et inscrire son action dans la durée, ce qui passe donc nécessairement par une progression de cycle.

La pratique de l'observation guidée par le dessin d'observation, et peu à peu, le schéma, est sans doute l'un des aspects sur lesquels, dans le domaine des sciences de la vie, les élèves font le plus de progrès. Le réinvestissement est probant ; les dessins sont plus systématiquement légendés, l'unité du point de vue mieux respectée ; la notion d'échelle apparaît progressivement.

La diversité des contextes

On pourrait être tenté de considérer que l'efficacité de cette démarche pédagogique se heurte aux obstacles liés à la nature des groupes d'apprenants. Pourtant, nous avons pu constater dans des écoles en zone sensible, que même si les compétences acquises en fin de cycle 3, particulièrement dans le domaine de la langue, sont souvent moindres qu'ailleurs, il est possible de structurer efficacement un tel apprentissage. Passées les premières séances, souvent agitées et peu efficaces, les élèves, quelles que soient leurs difficultés, finissent par adopter des attitudes plus sereines et actives, révélatrices de leur entrée dans le processus d'apprentissage souhaité.

En fin de compte : l'élève a-t-il appris ?

Dans la durée, et parce que les élevages permettent d'assurer une excellente et continue motivation, certains indicateurs (particulièrement les capacités à coopérer, à manifester sa curiosité, à formuler des questions, l'habitude de la prise de notes ou d'établir des croquis pour mémoire) montrent que la plupart des élèves sont effectivement entrés dans un réel processus d'apprentissage de la démarche scientifique. Les aspects liés au travail sur hypothèses et à la mise en forme des données (graphiques, courbes, tableaux), sont quant à eux, source de progrès et de réinvestissement moins significatifs. Il faut voir là l'objet d'apprentissages plus spécifiques, notamment en matière de production d'écrits scientifiques. Encore une fois, il nous semble que c'est une question de progression à répartir tout au long du cycle des approfondissements. Ce travail pourra d'ailleurs être utilement initié dès le cycle 2.

Conclusion

Au terme de cet article, a-t-on avancé dans la problématique énoncée en entrée ? Il a été montré, selon nous, que la démarche expérimentale peut faire l'objet d'un apprentissage structuré par la médiation pédagogique.

Le rôle du maître en la matière n'est pas toujours facile. Les risques de dérives sont grands et gérer l'hétérogénéité n'est, là comme ailleurs, pas chose aisée. En effet, renoncer à ses propres représentations pour réellement travailler sur ce que Philippe Mérieu appelle « *ce déjà-là* », demande vigilance, rigueur, mais aussi de savoir éviter de reproduire en acte le mode d'enseignement de la science qui a été le nôtre lorsque nous étions élèves autrefois. D'autre part, une culture de formation commune plus large dans ce domaine semblerait être aussi le gage d'une meilleure réussite.

Quant à l'enfant de dix ans auquel était proposé ce parcours pédagogique, peut-il anticiper sur son développement par le biais de l'apprentissage dans ce domaine ? L'évaluation formative pratiquée (non abordée ici) nous incite à le croire. Elle montre qu'il progresse ainsi vers l'abstraction en structurant peu à peu le réel.

A travers la réussite de l'apprentissage de la démarche scientifique à l'école ne faut-il pas voir un enjeu majeur pour l'enfant : celui d'être un jour capable de construire seul des modèles lui permettant de comprendre les boîtes noires que la science nous donne et qui peuplent notre modernité ?

Références bibliographiques

- ANTHEAUME P., DUPONT M., MAUREL M. (1995). *Découverte du vivant et de la terre*, Hachette éducation.
- ASTOLFI J-P. (2002), *Pratiques de formation en didactique des sciences*, De Boeck.
- ASTOLFI J-P., DEVELAY M. (1989), *La Didactique des sciences*, PUF.
- ASTOLFI J-P. , PETERFALVI B. , VERIN A. (1998). *Comment les enfants apprennent les sciences?* Retz.
- ASTOLFI J-P., DEMOUNEM R. (1996). *Didactique des sciences de la vie et de la terre*, Nathan pédagogie.
- BACHELARD G. (1934). *Le nouvel esprit scientifique*, Vrin.
- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*, PUF
- BERNARD C. (1865-1984). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Flammarion.
- BOUCHERIE D. et Col. (1994). *Biologie et géologie*, CRDP de Lille.
- CHARPAK G. (sous la dir.) (1998). *Enfants, chercheurs et citoyens*, Odile Jacob.
- CHARPAK G. (sous la dir.) (1998). *La Main à la pâte, les sciences à l'école primaire*, Flammarion.
- COHEN D. (1985-1992). *Piaget: une remise en question*, Retz.
- DELACÔTE G. (1994). *Savoir apprendre : les nouvelles méthodes*, De Boeck.
- FOUREZ G. (1999). *Alphabétisation scientifique et technique, essai sur les finalités de l'enseignement des sciences*, De Boeck.
- GIORDAN A. (1999). *Apprendre*, Berlin
- GIORDAN A., DE VECCHI (1987). *Les origines du savoir*, Delachaux-Niestlé.
- GIORDAN A. (sous la direction) (1987). *Histoire de la biologie, Techniques et documentation*, Lavoisier.
- GOHAU G. (1983). *Faut-il raisonner logiquement ?* Cahier pédagogique, 214.
- GUICHARD J., DEUNFF J. (2001). *Comprendre le vivant*. Hachette.
- HALBWACHS F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*, Delachaux-Niestlé.
- KUHN T. (1962-1983). *La structure des révolutions scientifiques*, Flammarion.
- LALANNE J. (1985). *Le problème de la pensée scientifique chez les enfants de 6 à 14 ans*, Aster, 1, INRP.
- LEVY-LEBLOND J.M. (1996). *La pierre de touche*, Gallimard.
- MAYR E. (1997). *Qu'est-ce que la biologie ?* Fayard.
- MARTINAND J.L (1986). *Connaître et transformer la matière*, Peter Lang.
- PERRAUDEAU M. (1996). *Piaget aujourd'hui: réponse à une controverse*, Armand Colin.
- PIAGET J., INHELDER B. (1966). *La psychologie de l'enfant*, PUF.
- POPPER K. (1934-1984). *La logique de la découverte scientifique*, Payot.
- POPPER K. (1960-1985). *Des sources de la connaissance et de l'ignorance*, Payot.
- RACINE M., SOUVIGNET O. (1996). *Apprendre à schématiser, schématiser pour apprendre*, CRDP-Grenoble.
- SCHNEUWLY B. ET J.P. BRONCKART (sous la dir.) (1985). *Vygotski aujourd'hui*, Delachaux-Niestlé.
- TAVERNIER R. (1975). *Les animaux, les élevages*, Bordas.
- TRABAL P. (1997). *La violence de l'enseignement des mathématiques et des sciences*, L'Harmattan.
- VERIN A. (1988). *Fonction des écrits dans une pédagogie constructiviste*, Aster, 6, INRP.
- VYGOTSKI L. (1934-1985). *Pensée et langage*, Terrains/Editions Sociales.