

MÉTACOGNITION, ÉPISTÉMOLOGIE ET ÉDUCATION SCIENTIFIQUE

Anne Vérin

une réflexion sur
sa pensée

Ce numéro d'ASTER est centré sur le thème de l'élève épistémologue. L'expression s'inspire de celle de Seymour Papert qui, dans «Le jaillissement de l'esprit» fait référence à l'intérêt de développer des pratiques qui mettent en jeu une analyse réflexive par les enfants de leurs démarches et de leur fonctionnement intellectuel. Papert s'est intéressé à la programmation informatique et a montré que, dans ce cadre, cette réflexion est rendue nécessaire pour la réussite même de l'action. La réflexion épistémologique que les enfants déploient pour surmonter les obstacles ponctuels contribue à développer des outils de pensée plus généraux.

apprendre à
apprendre

L'idée rejoint par certains aspects les propositions d'un courant pédagogique qui se développe actuellement en reprenant les finalités d'apprendre à apprendre et en les renouvelant autour des idées d'évaluation formatrice (Nunziati, Vial), de métacognition (Barth), d'introspection (La Garanderie), d'enrichissement mental (Feuerstein). Traversant des formalisations comme des propositions pédagogiques certes très différentes, on peut retrouver un certain nombre de postulats communs chez ces auteurs. Ainsi les différentes façons d'apprendre deviennent sujet d'intérêt, car le savoir n'est pas transparent : il devient reconnu en classe et pour les élèves que pour se l'approprier il faut une activité d'apprentissage, que cette activité n'est pas simple (que plusieurs démarches sont possibles), qu'elle n'est pas linéaire (qu'elle inclut des erreurs et des remodelages). L'élève qui apprend, dans sa démarche singulière, est sujet d'intérêt : l'enseignement s'appuie sur l'énergie affective de l'investissement personnel dans l'apprentissage, qui a place dans le temps pédagogique. C'est l'ensemble de la démarche d'apprentissage qui est envisagé, avec son insertion dans un projet, des temps d'orientation vers la tâche, de mobilisation des connaissances utiles, de réalisation avec réajustements par rapport au but : c'est la conduite consciente d'une démarche complexe qui est en jeu. L'élève organisateur de son apprentissage gagne à prendre conscience de ses démarches de pensée pour mieux les maîtriser.

en classe de
sciences
expérimentales

Dans le domaine des sciences expérimentales, parallèlement, des tentatives analogues se mettent en place, qui explorent les possibilités précoces de développement des réflexions épistémologiques et les conditions qui favorisent ce développement. Les élèves sont mis en situation de réfléchir sur la façon dont ils s'y prennent dans des activités de construction ou d'appropriation de connaissances scientifiques, de résolution d'un problème, d'application à une situation nouvelle de connaissances acquises.

Points de vue philosophiques et psychologiques

réflexion sur la science

et réflexion sur ses propres démarches cognitives

Que construisent-ils à partir de cette réflexion ? Peut-on parler d'une épistémologie de l'élève ? À travers le panorama possible que dresse Anne-Marie Drouin, on voit que dans certains cas l'accent peut être mis sur les concepts et les méthodes proprement scientifiques, dans la lignée de l'épistémologie des philosophes ou des scientifiques. Dans d'autres cas, il s'agit d'une réflexion sur les démarches cognitives des élèves eux-mêmes ; il serait plus approprié de parler là de métacognition. La projet peut paraître trop ambitieux. Cependant l'éducation scientifique à l'école ne vise pas la maîtrise des connaissances les plus actuelles ni la participation à la création de connaissances nouvelles et significatives pour la société scientifique, mais l'appropriation d'un réseau de concepts à des niveaux de formulations adaptés aux possibilités des élèves (et déterminés par des processus de transposition didactique). On peut de la même façon que pour les connaissances scientifiques, envisager la construction de compétences méthodologiques et de connaissances épistémologiques et métacognitives dès l'école primaire, avec des ambitions appropriées à l'âge des élèves et à leurs possibilités cognitives.

métacognition : connaissances spéculatives et actions cognitives

Nancy Bell propose une analyse critique des travaux en psychologie sur la métacognition et situe le débat introspectionniste, repris actuellement en psychologie sociale. Elle signale que si les auteurs s'accordent en général pour reconnaître l'existence de capacités de régulation et de contrôle de la pensée, et le développement de ces capacités avec l'âge, ils emploient le mot « métacognition » dans des sens en réalité assez différents, allant de la conceptualisation de l'activité cognitive au contrôle conscient de ses propres processus mentaux⁽¹⁾. Elle fait une synthèse critique des travaux portant sur les facteurs facilitant la métacognition (parmi lesquels on peut relever entre autres la nouveauté de l'apprentissage et l'erreur, ce qui nous intéressera particulièrement) et ouvre de nouvelles questions : la signification du contexte et le rôle de l'interaction sociale semblent importants et sont encore peu étudiés.

Des dispositifs pédagogiques

un modèle pédagogique théorique

Les articles qui suivent sont issus de plusieurs recherches conduites à l'Institut National de Recherche Pédagogique à Paris. Ils se réfèrent à un projet d'enseignement constructiviste de méthodes et d'attitudes, défini par rapport à un cadre conceptuel que l'on trouvera exposé de façon plus détaillée dans l'article de Brigitte Peterfalvi.

(1) Bernadette Noël (1991) propose une clarification intéressante de ce concept de métacognition à travers une revue de la littérature sur la question.

oriente la
construction de
situations
didactiques

Les articles de Jean-Claude Genzling, Martine Szterenbarg et Pierre Fillon analysent le fonctionnement de dispositifs pédagogiques qu'ils ont mis au point pour développer une réflexion sur les caractéristiques et les procédures de la pensée scientifique, en physique ou en biologie. Les élèves construisent des connaissances sur ce qu'est un raisonnement expérimental, les relations entre le réel et la théorie, la façon dont on imagine des hypothèses et dont on les valide ou les infirme, le rôle de la modélisation pour rendre compte de phénomènes, le caractère provisoire des théories, le caractère moteur du conflit cognitif dans l'avancée des connaissances.

les élèves
acquèrent

Dans les dispositifs définis par Camille Durnerin et Alain Robert, ainsi que par Jean Veslin, l'accent est mis sur l'analyse des démarches conduites par les élèves eux-mêmes, en classe de physique ou de biologie, de la façon dont ils s'y prennent pour produire une explication par exemple, des productions des différents élèves par rapport à ce qu'on peut définir comme réussite pour un texte scientifique. Cette analyse réflexive conduit à la production d'outils destinés à enrichir les procédures des élèves et à faciliter le contrôle conscient de sa démarche par chaque élève, de façon à obtenir une meilleure adéquation entre l'action cognitive et son but.

des
connaissances sur
les processus de
construction du
savoir en sciences

Dans ces groupes d'articles, la pensée des élèves est d'abord mise en mouvement avant qu'elle ne soit analysée ; dans les deux cas elle est référée à la pensée scientifique. Mais les connaissances et les compétences construites diffèrent sensiblement et s'insèrent dans un projet particulier :

une maîtrise de la
gestion de leurs
activités
cognitives pour
apprendre les
sciences

- on pourrait parler de construction de connaissances épistémologiques dans le premier cas. Le projet est de construire avec les élèves une image de la science comme une invention humaine qui rend compte de la façon la plus satisfaisante possible de la réalité mais n'en rendra jamais totalement compte, une science conceptuelle, problématisée et en mouvement - et non comme une accumulation de connaissances qui se complète petit à petit :

- dans le deuxième cas, c'est de connaissances métacognitives qu'il s'agirait. Le projet est de faire acquérir aux élèves des connaissances sur le fonctionnement cognitif général et sur leur propre fonctionnement cognitif particulier, dans des tâches d'apprentissage scientifique. Ces connaissances métacognitives sont mises au service d'une meilleure régulation par les élèves de leurs démarches cognitives.

Caractéristiques des situations favorisant la réflexion épistémologique et métacognitive

un ensemble de
situations
didactiques est
analysé

Brigitte Peterfalvi entreprend une réflexion comparative sur un ensemble de dispositifs pédagogiques, qui ont été produits pour explorer les apports possibles d'une réflexion distanciée des élèves sur leurs propres démarches dans l'apprentissage de compétences méthodologiques en sciences expérimentales.

Elle différencie les différents projets d'acquisitions de compétences et analyse les caractéristiques des situations qui constituent des conditions de facilitation de l'activité réflexive. Les limites et les dérives de ce type de travail sont discutées.

Place de ces contributions dans le champ de la recherche en didactique

épistémologie et métacognition intéressent les didacticiens

La perspective adoptée dans ce type de recherche est de produire un modèle théorique de l'enseignement scientifique, de construire un ensemble de pratiques pédagogiques orientées par ce modèle, et de prendre ces pratiques pédagogiques comme objet d'analyse. Progressivement le modèle théorique se modifie, se complexifie.

L'idée de développer les raisonnements épistémologiques et de caractériser les conditions d'enseignement qui les favorisent est explorée par d'autres didacticiens des sciences expérimentales, comme Clothilde Pontecorvo ou Maria Arca, Silvia Caravita, Francesco Tonnucci, ainsi que par des didacticiens des mathématiques et du français.

le raisonnement scientifique est étudié de différents points de vue en didactique des sciences

La formation au raisonnement scientifique a donné lieu à de très nombreux travaux en didactique des sciences expérimentales, dont la perspective est différente et complémentaire de celle qui est adoptée ici.

Certains analysent le raisonnement spontané des élèves, son évolution avec l'âge.

D'autres construisent des situations d'apprentissage du raisonnement expérimental, de la modélisation, et centrent leur analyse sur le raisonnement des différents élèves et ses modifications au cours de ces situations.

D'autres enfin caractérisent les raisonnements mis en jeu chez les élèves dans différentes pédagogies et l'image de la science que ces pédagogies véhiculent ainsi implicitement.

ici sont analysées des situations où l'élève est épistémologue

L'apport spécifique des travaux présentés ici est d'explorer en premier lieu les possibilités qu'apporte une pédagogie engageant les élèves dans une réflexion sur leurs propres procédures pour l'apprentissage des méthodes scientifiques, en centrant l'analyse sur les caractéristiques des situations d'enseignement.

Anne VÉRIN
Équipe de didactique des sciences
expérimentales, INRP

UNE PERSPECTIVE PSYCHOSOCIALE SUR LA MÉTACOGNITION

Nancy Bell

Cet article passe en revue et analyse des recherches portant sur ce qu'est la conscience individuelle et sur la question de savoir s'il est possible d'avoir accès aux processus mentaux. Des recherches sur le phénomène de l'introspection dans le champ de la psychologie sociale sont comparées aux études sur la métacognition qui sont entreprises en psychologie du développement : les problèmes théoriques et méthodologiques que l'on trouve dans ces deux domaines sont ainsi discutés. Nous concluons par des questions à propos de la dimension sociale de la métacognition, dont une étude plus approfondie serait nécessaire. ()*

peut-on avoir
accès aux
processus
cognitifs ?

Sommes-nous conscients de nos processus mentaux ou sommes-nous incapables d'avoir accès à nos processus de pensée ? Si cette conscience existe, quelle en est la nature et le fonctionnement ? Cet article constitue un résumé critique de différentes recherches qui, dans le domaine de la métacognition (c'est-à-dire, de la réflexion et de la verbalisation des processus et des conduites cognitifs) tentent de répondre à ce type de questions. Bien que ce thème ait déjà été étudié depuis longtemps en psychologie, il a suscité un regain d'intérêt principalement pour deux raisons :

- 1) la reprise en psychologie sociale du débat introspectionniste, débat qui se réfère au problème de l'existence d'une capacité de régulation et de contrôle de la pensée,
- 2) le renouveau en psychologie développementale des recherches portant sur les capacités métacognitives des enfants.

Cet article confronte la littérature de ces deux domaines, en considérant plus particulièrement les problèmes théoriques et méthodologiques. C'est notre collaboration à différentes recherches sur l'interaction sociale et le développement cognitif de l'enfant qui nous a amenés à réfléchir de manière plus approfondie au problème de la métacognition.

Dans plusieurs études sur le rôle du conflit socio-cognitif dans l'actualisation d'une notion logique chez l'enfant (voir par exemple Perret-Clermont 1979, Mugny 1985, Perret-Clermont et Nicolet 1988), on utilise les épreuves piagétienne de conservation. Au cours de ces épreuves l'enfant est souvent invité à

(*) Cet article a été publié dans une version antérieure dans le *Dossier de Psychologie* (Université de Neuchâtel), n° 25, 1985. La bibliographie qui figure à la fin de cet article a été réactualisée et comporte des articles postérieurs à 1985. Je remercie le Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique (contrat n° 1.738.083) grâce à qui l'élaboration de cet article a été possible.

des questions sur
l'existence d'une
réflexion
métacognitive

justifier ses réponses en répondant à la question : «Comment est-ce que tu sais ?», question qui peut être considérée comme suscitant une réflexion métacognitive. Ainsi nous nous sommes demandés si la conscience que l'enfant a de ses propres mécanismes de pensée peut jouer un rôle dans la restructuration cognitive provoquée par le conflit socio-cognitif. À ce propos, Mugny, Perret-Clermont et Doise (1981) remarquent que le sujet est actif émotionnellement et se sent impliqué par la confrontation interpersonnelle du fait de l'hétérogénéité des réponses. Il est ainsi amené à relativiser son propre point de vue. Ceci pourrait inciter à croire que la conscience que l'enfant a de sa propre pensée (par rapport à la pensée d'autres individus) explique en partie les progrès cognitifs observés après une phase d'interaction entre enfants. Si tel était le cas, la possibilité de l'existence d'une réflexion métacognitive serait à considérer, et susciterait de nombreuses questions. Par exemple : quel est, au niveau développemental, la nature et la signification de cette conscience cognitive ? A quel moment apparaît-elle ? Est-elle nécessaire au déroulement des processus cognitifs ?

1. LE DÉBAT INTROSPECTIONNISTE : LA CAPACITÉ D'OBSERVER LES PROCESSUS COGNITIFS

introspection

Depuis plusieurs années, les chercheurs tentent de savoir si les processus cognitifs et leur fonctionnement peuvent être directement observés et décrits de manière correcte. La réponse à cette question touchant directement à l'étude du comportement humain, grand nombre de psychologues se sont activement engagés dans ce débat désormais très animé. Les arguments en présence renvoient à deux prises de position opposées : d'une part celle des chercheurs qui défendent l'existence de capacités métacognitives ; d'autre part, des chercheurs qui réfutent l'existence de la capacité de procéder à ce qui est appelé «introspection».

1.1. La position anti-introspectionniste

William James (1890), qui est l'un des premiers psychologues à avoir fait des observations dans le domaine de l'introspection, affirmait que l'activité cognitive n'est pas accessible à la conscience. Pendant plusieurs années, la plupart des psychologues cognitifs ont couramment admis cette position anti-introspectionniste et soutenu qu'on ne peut accéder directement à des processus mentaux d'ordre supérieur, mais seulement à leurs résultats. (Les recherches sur ce sujet se sont essentiellement centrées sur la perception et la mémoire.) Cependant, les psychologues continuent à interroger des sujets sur leur comportement, ce qui présuppose que ceux-ci peuvent connaître

et avoir accès aux processus cognitifs inhérents à leurs choix, évaluations, comportements etc. De plus, les sujets répondent volontiers aux questions concernant leur comportement, comme si, par l'introspection, ils avaient accès à leurs processus mentaux. Si la capacité d'introspection n'existe pas, d'où proviennent alors ces auto-descriptions ? (voir Morris (1981) pour un résumé de cette position)

pourquoi les auto-descriptions ne sont-elles pas fiables ?

Nisbett et Wilson (1977) (voir également Nisbett et Ross 1980) sont devenus les principaux défenseurs de la position anti-introspectionniste. Selon eux, l'individu a toujours tendance à en dire plus sur son comportement qu'il ne peut en savoir. Dans leurs recherches, les auteurs observent que : « *l'inexactitude de descriptions subjectives laisse supposer que quel que soit l'accès introspectif possible, il ne suffit pas à assurer une production de descriptions qui puissent être, d'une manière générale, fiables et correctes.* » * (1) Les conclusions de Nisbett et Wilson peuvent se résumer de la manière suivante :

- a) Les sujets ne peuvent pas décrire correctement les effets de stimuli sur leurs réponses basées sur des inférences.
- b) Les sujets peuvent fonder leurs descriptions sur des théories implicites portant sur des relations causales entre stimuli et réponses.
- c) Des descriptions « correctes » ne sont pas le résultat d'une prise de conscience introspective, mais proviennent d'une application incidentelle correcte de théories implicites.

En d'autres termes, les auteurs affirment que les sujets n'ont pas (ou ont, tout au plus, dans une faible mesure) accès de façon privilégiée aux déterminants de leurs propres actions et que les connaissances que les sujets ont d'eux-mêmes sont des *inférences* largement, sinon entièrement, basées sur un comportement manifeste aussi visible pour l'observateur que pour l'acteur de l'action. Ainsi l'idée que les sujets eux-mêmes constituent la meilleure référence pour rendre compte de leurs processus cognitifs semble suspecte. Selon Nisbett et Wilson, les individus invoquent souvent l'explication la plus plausible de leur comportement sans être vraiment conscients des causes réelles de leur conduite. Bien que Nisbett et Wilson considèrent l'introspection comme des jugements de plausibilité, ils remarquent que nous avons souvent l'impression de pouvoir accéder directement à nos propres processus cognitifs. Plusieurs raisons ont été invoquées afin d'expliquer la persistance de cette « illusion » :

l'inférence sociale

- a) Il y a confusion entre l'ampleur des connaissances personnelles que l'individu a de lui-même et l'accès qu'il peut avoir à ses processus cognitifs, ce qui signifie que l'individu ne peut distinguer entre des « faits personnels » et des processus mentaux. Par ailleurs il y a confusion entre les résultats intermédiaires d'une série d'opérations mentales et la description des processus eux-mêmes.

(1) Les citations marquées d'un astérisque (*) ont été traduites par nous.

- b) Les hypothèses que le sujet peut poser sur son propre fonctionnement cognitif sont peu infirmées dans la vie quotidienne. Elles semblent relativement faciles à démontrer et difficiles à réfuter.
- c) Si l'on se réfère à la prédiction et aux impressions subjectives de contrôle, on comprend que la motivation à croire que l'on peut accéder à ses propres pensées est forte : ce serait effrayant de penser qu'on n'a pas plus de connaissances à propos de sa propre intelligence qu'autrui.
- d) Même si le fait que les sujets puissent décrire leur processus cognitif avec certitude est particulièrement problématique au niveau théorique, il ne l'est pas au niveau pratique, puisque nous attribuons aux personnes le droit de faire des auto-descriptions qui ne soient pas confirmées par la réalité ou ce que Abelson (1976) appelle des «*non-observational self-descriptions*» (auto-descriptions non basées sur l'observation) (pour plus de détails voir Shotter 1981).

Selon Nisbett et Wilson, les descriptions «*erronées*» des processus cognitifs ne sont pas le fait d'un caprice ou du hasard, mais sont régulières et systématiques. Leurs recherches ont mis en évidence que les réponses des sujets sont positivement corrélées aux prédictions des observateurs sur ces réponses (c'est-à-dire aux explications que les observateurs donnent du comportement des sujets), ce qui signifie que les deux groupes puisent leurs connaissances à la même source. Les auteurs affirment que les individus (observateurs ou acteurs) appliquent des théories causales implicites et recourent à des «*representativeness heuristics*» (Tversky et Kahneman 1973, 1974) pour évaluer la plausibilité d'une certaine raison ou d'une certaine cause. Selon Nisbett et Wilson (1977), «*il semble en effet que les sujets interrogés dans ces recherches, ainsi que les gens en général dans leur vie quotidienne, ne tentent même pas de recourir à leur mémoire quand ils sont interrogés sur leurs processus cognitifs. Ils se réfèrent plutôt en premier lieu à un ensemble d'explications qui sont culturellement invoquées en relation avec le comportement en question. S'ils n'y parviennent pas, ils commencent à chercher une explication dans un réseau de relations connotées jusqu'à ce qu'il en trouvent qui puissent expliquer psychologiquement le comportement.*» * Par conséquent, «*les descriptions que les sujets donnent de leurs propres processus mentaux ne devraient en général probablement pas être plus ou moins correctes que les prédictions faites par les observateurs*» *. (Pour la discussion concernant les théories implicites ou du «*sens commun*» voir également Wegner et Vallacher, 1981, Goodnow 1981, Leyens 1983, Fürmham 1988).

théories implicites
socialement
partagées

1.2. Critiques de la position anti-introspectionniste

Comme il fallait s'y attendre, les recherches provoquantes de Nisbett et Wilson ont suscité de nombreuses réactions critiquant aussi bien les aspects théoriques que les problèmes méthodologiques de leur position.

l'inexactitude des
auto-descriptions
reflète-t-elle une
absence
d'activité
introspective ?

Dans leur réponse à Nisbett et Wilson, Smith et Miller (1978) introduisent leur critique en relevant que la fonction sous-jacente des arguments de Nisbett et Wilson consiste à défendre la théorie de l'attribution, donc leurs propres recherches, face au résultat embarrassant qui met en évidence l'absence d'attributions causales dans les descriptions verbales de leurs sujets. Ils soulèvent ensuite les points suivants :

- a) L'hypothèse de Nisbett et Wilson ne peut pas être infirmée puisqu'elle est illustrée à la fois par des descriptions verbales «correctes» et «incorrectes».
- b) Leur emploi du terme «mental process» (processus mental) reste vague : peut-on faire une distinction précise entre les processus mentaux proprement dits et leurs résultats intermédiaires ? D'autre part, peut-on distinguer les processus mentaux de leur contenu (en particulier les résultats intermédiaires d'un processus et le processus en soi) ? (pour une critique de la distinction entre processus et contenu, voir Moscovici 1981)
- c) L'inexactitude des descriptions verbales ne reflète pas nécessairement un manque de conscience introspective.
- d) Nisbett et Wilson ne précisent pas à quel niveau de processus mental ils se réfèrent (par exemple ils maintiennent qu'il y a une différence entre la description de règles socialement apprises et leur application, mais parfois les règles **sont** des processus (e.g. la procédure de division en mathématiques).⁽²⁾

Pour Bowers (1981), le problème principal de la théorie de Nisbett et Wilson consiste à *«ne pas avoir distingué la possibilité d'avoir un accès introspectif aux déterminants réels d'une action donnée, de l'impossibilité d'avoir un accès introspectif à la relation causale entre les déterminants antérieurs et leurs conséquences comportementales.»* * (En d'autres termes, la relation causale qui lie les antécédents à leurs conséquences comportementales n'est jamais directement accessible par l'introspection). Bowers pense que si Nisbett et Wilson avaient raison, la possibilité d'augmenter la connaissance de soi serait plus ou moins limitée en fonction de la possibilité croissante que l'explication de son propre comportement soit accidentellement correcte. La position de Nisbett et Wilson relève également des questions concernant la représentation de la situation dans laquelle l'individu agit : dans quelle mesure peut-il se la représenter de manière consciente et y avoir accès ?

les critiques d'une
critique

D'autres critiques de la position de Nisbett et Wilson peuvent être rapportées, notamment celles-ci :

- a) Nisbett et Wilson supposent que l'interprétation du comportement qu'ils donnent de leurs sujets (c'est-à-dire leur hétéro-attribution) est correcte et ignorent ainsi toutes les

(2) Pour une critique des critiques de Smith et Miller concernant la théorie de Nisbett et Wilson, voir Morris (1981).

recherches sur les différences entre acteur et observateur dans la théorie de l'attribution causale.

- b) Les auteurs se préoccupent en premier lieu de l'exactitude des auto-descriptions en présupposant qu'une telle exactitude est effectivement possible. Par ailleurs ils ignorent d'autres problèmes intéressants comme l'influence des auto-descriptions sur le comportement subséquent.
- c) Nisbett et Wilson ne considèrent pas des questions comme : pourquoi peut-on avoir l'impression que les sujets n'ont pas accès à leurs processus cognitifs ? À quelles conditions leurs conclusions sont-elles justes ? Quand et pourquoi les sujets recourent-ils à leur mémoire de leurs processus cognitifs ?
- d) Les auteurs ne clarifient pas la différence entre «introspection» et «prise de conscience» («awareness»).
- e) De même, ils ne tiennent compte ni des différences entre les processus métacognitifs et leur verbalisation, ni des déterminants socio-psychologiques des auto-descriptions des sujets. En effet, les explications que l'on peut fournir sur ses propres processus mentaux sont susceptibles de remplir des fonctions différentes. Des descriptions peuvent ne pas être «fiabiles», tout en étant appropriées au contexte (sur la différence entre «raconter» et «décrire», voir Shotter 1981).

1.3. Impossibilité de procéder à l'introspection : interprétations psychosociologiques

Si l'on admet les hypothèses principales de Nisbett et Wilson selon lesquelles le sujet peut ne pas être conscient de son fonctionnement cognitif, peut-on expliquer ce manque de «conscience» autrement que par des limitations individuelles ? Shotter (1981, 1984) a élaboré une approche interactionniste qui, au lieu de se concentrer sur le comportement individuel en tant que tel, le considère dans le contexte dans lequel il se déroule :

une autre explication de l'absence de l'introspection : l'action conjointe

*«Leur approche [celle de Nisbett et Wilson] les amène à suggérer que c'est l'individu qui n'a pas conscience des processus causaux qui, se déroulant à l'intérieur de lui-même, influencent son comportement ; comme si moyennant un entraînement spécial à la «prise de conscience» ou à quelque chose de semblable, il pourrait en devenir conscient. Selon une autre interprétation des résultats de Nisbett et al., le manque de conscience de processus mentaux des sujets pourrait provenir du fait que le contexte expérimental constitue une situation sociale authentique qui oblige les sujets à engager leurs actions en fonction de caractéristiques de la situation dont le contrôle leur échappe : des aspects liés à la présence d'autres personnes, en l'occurrence des expérimentateurs. Dans ces circonstances, le résultat comportemental est le produit d'une **action conjointe**, de sorte que l'individu ne peut pas le relier à des intentions qui lui sont propres, et est donc incapable de le justifier. Les individus*

*impliqués dans une action conjointe ne sont pas conscients de la manière dont le résultat est produit, parce qu'il ne s'agit pas d'un processus qui se déroule entièrement en eux-mêmes ; il est en quelque sorte partagé entre eux et les autres» **

Shotter et Nelson (1981) expliquent cette position de manière plus détaillée :

*«Il existe beaucoup d'activités dans lesquelles nous savons, en tant qu'individus, ce que nous faisons et pourquoi. Il y en a aussi beaucoup d'autres pour lesquelles nous ignorons complètement ce que nous faisons exactement. C'est le cas de l'action conjointe où chaque individu doit accorder ses actions à celles des autres... Les gens agissent spontanément, sans être conscients au moment où il agissent des raisons particulières qui justifient leur conduite. Ils auraient probablement des difficultés à justifier leurs actions si on le leur demandait. Ce n'est pas parce qu'ils n'ont pas conscience des raisons de leurs actions, ni parce qu'il leur manque le vocabulaire ou les capacités de les exprimer, mais parce qu'ils ne détiennent pas la raison de leur conduite en eux-mêmes. Les influences déterminantes sont réparties entre eux, étant implicites dans les «Umwelten» individuelles que les gens constituent l'un pour l'autre. Plutôt que d'expliquer leurs actions par des références à leurs idées, à leurs connaissances ou à ce qui leur vient à l'esprit, ils les expliquent par référence aux contenus de leur Umwelten, en termes des qualités et des interrelations que les Umwelten contiennent.» **

En d'autres termes, la raison pour laquelle les personnes ne peuvent pas fournir des auto-descriptions correctes réside dans l'**interaction** entre individus et non pas dans l'individu lui-même. Par conséquent il ne faut pas demander ce qui se passe à l'intérieur de l'individu mais ce qui se passe entre individus.

Bien qu'elles n'aient pas été développées dans le contexte de la métacognition, d'autres idées peuvent éclaircir la compréhension de la soi-disant impossibilité à procéder à l'introspection : ainsi en est-il du concept de «thinking society» développé par Moscovici (1983) ou de l'affirmation de Markova (1978) selon laquelle «la «connaissance» et la «capacité» sont des potentialités qui n'ont pas d'existence réelle en dehors des épisodes au cours desquels elles s'expriment». Un cadre conceptuel socio-psychologique reste à développer dans ce domaine.

1.4. La position pro-métacognition

Beaucoup d'auteurs en psychologie croient que l'individu peut effectivement accéder de manière consciente à ses activités cognitives et contrôler ses processus mentaux. Les partisans les plus connus de la position pro-métacognition sont les psychologues du développement.

Vygotsky (1934) a postulé l'existence d'une relation directe entre la conscience que l'individu a de ses processus cognitifs et sa capacité de les contrôler. Il a aussi étudié les processus par

le contexte social
de l'activité
introspective et
métacognitive

contrôle des
processus
cognitifs

recherches sur la
métacognition
dans le domaine
de la psychologie
développementale

lesquels l'enfant peut accéder à la conscience et à la maîtrise de sa pensée.

Selon cet auteur, le développement de la connaissance se caractérise par un accroissement progressif du contrôle conscient des processus cognitifs et par l'utilisation délibérée de cette connaissance par l'individu. Piaget (1974) a étudié le problème du développement de la prise de conscience des processus cognitifs dans *La prise de conscience et Réussir et comprendre* ⁽³⁾. De même, Mischel (1979) a largement étudié le développement de la connaissance de soi, en particulier les notions de stratégies cognitives chez l'enfant.

Flavell (1976, 1981) est bien connu pour ses études développementales dans le domaine de la métacognition. Selon cet auteur, l'individu peut accéder à la prise de conscience de ses cognitions essentiellement de deux manières :

- 1) par le développement d'une connaissance différenciée relevant de la verbalisation (ce que Flavell appelle la «connaissance métacognitive» et ce que Nisbett et Wilson rejettent en tant que «contenu»),
- 2) par l'apprentissage d'une utilisation délibérée de mécanismes auto-régulateurs qui dirigent et guident les stratégies cognitives. (Pour la suite de la discussion des théories de Flavell, voir Lefebvre-Pinard 1983).

Bien que ces auteurs semblent être d'accord sur le fait que dans certaines circonstances, l'individu peut plus ou moins accéder à la conscience de ses processus cognitifs, on peut cependant difficilement affirmer qu'ils se réfèrent au même phénomène tant sont diverses les références théoriques et expérimentales. Ainsi par exemple, selon Flavell, la métacognition constitue un ensemble de capacités destinées à optimiser l'activité cognitive, tandis que Piaget définit la métacognition (ou plus précisément la «prise de conscience») comme une nouvelle forme de connaissance qui implique une reconstruction complète et une reconceptualisation progressive de l'activité cognitive : «... La «prise» de conscience représente autre chose et davantage qu'une prise... il s'agit en réalité d'une construction véritable qui consiste à élaborer, non pas «la» conscience considérée comme un tout, mais ses différents niveaux en tant que systèmes plus ou moins intégrés.» (Piaget 1974).

Cette confusion conceptuelle augmente si l'on compare ces théories avec celles de l'école «anti-introspectionniste» qui utilise souvent indifféremment les termes d'«introspection» et de «conscience». De même certaines recherches ne distinguent pas la connaissance consciente de ses propres processus cognitifs de l'application de cette même connaissance.

(3) Il est intéressant de remarquer que, comme Nisbett et Wilson, Piaget a été amené à l'étude de la métacognition par son analyse de la perception de la causalité physique.

un individu
conscient et
actif ?

On peut remarquer que la plupart des recherches sur la métacognition (et en particulier les anglo-saxonnes) sont sous-tendues par la représentation d'un individu qui est conscient et actif quant au développement de ses ressources cognitives, qui les contrôle et les maîtrise, et qui n'est pas simplement une victime passive de stades de développement, de biais inférentiels, etc. Ces recherches véhiculent souvent implicitement une morale selon laquelle chaque individu est censé contrôler ses actions. Ces théories partent par ailleurs implicitement de l'idée que le comportement est quelque chose qui est causé par une séquence d'événements ou de processus mentaux. Ce n'est pas tout simplement une conduite que l'individu déploie.

2. L'ACTIVITÉ MÉTACOGNITIVE

2.1. Quand l'activité métacognitive est-elle susceptible de se manifester ?

Si l'on admet que l'individu aurait la possibilité d'accéder consciemment aux processus cognitifs, quels sont alors les facteurs qui seraient susceptibles de promouvoir la réflexion métacognitive ? Nous en présenterons ici quelques-uns :

- La difficulté de la tâche

Une tâche difficile stimulera-t-elle ou empêchera-t-elle la prise de conscience des processus cognitifs ? Shatz (1978) affirme que *«l'activité métacognitive tend à se manifester lorsque la tâche elle-même demande moins d'efforts cognitifs au sujet»*. * En d'autres termes, une tâche facile favorise la réflexion métacognitive.

- Nouveauté de la tâche et de la situation

Des tâches nouvelles ou des situations stimulantes sont considérées comme des facteurs favorisant l'activité métacognitive (Smith et Miller 1978). Flavell (1978) a conclu que des «novices» (c'est-à-dire des sujets qui effectuent une tâche pour la première fois) vont se prêter plutôt beaucoup que peu, à l'activité métacognitive. D'autre part des tâches de routine encouragent des réponses «irréfléchies» (Langer 1980), automatiques (Shiffrin et Schneider 1977) ou «top-of-the head» (Taylor et Fiske 1978).

- Type de traitement mental de la tâche

Langer (1978) a émis l'hypothèse que l'absence ou l'existence de la métacognition dépendait de la manière dont la tâche en question est traitée au niveau mental : *«La conscience des processus cognitifs impliqués dans l'exécution d'une tâche spécifique peut être fonction du type de traitement (c'est-à-dire*

conditions
favorisant la
métacognition

«mindfulness» ou «mindlessness»⁽⁴⁾ qui a lieu lors de la première exécution de la tâche (plutôt que d'une impossibilité inhérente à certains de ces processus d'accéder à la conscience)». * Ainsi le manque d'activité métacognitive lors de tâches de routine serait dû au fait que ces tâches sont traitées automatiquement.

• Situations d'apprentissage

Si des tâches nouvelles augmentent la probabilité d'apparition de l'activité métacognitive, peut-on s'attendre à une conscience métacognitive dans une situation d'apprentissage ? Wickland et Frey (1980) relèvent que «lorsque le comportement est en voie d'acquisition, on pense que le sujet est présent sur le plan cognitif et prête consciemment attention aux différentes composantes de son comportement» *.

la métacognition
en situation
d'apprentissage

Quand l'activité métacognitive sera-t-elle susceptible de se manifester chez les enfants ? Si l'on considère les enfants comme des novices, au sens où beaucoup de situations et de tâches leur sont nouvelles, on pourrait s'attendre à ce qu'ils aient un niveau d'attention aux processus de pensée plus élevé. Langer (1978) défend cette hypothèse :

«Il existe un continuum de conscience qui varie directement en fonction du degré de répétition de l'expérience d'une activité. Plus nous nous sommes engagés dans l'activité, plus il est probable que nous nous fierons à des scénarios dans le déroulement de nos actions et des pensées qui l'accompagnent. Ceci impliquerait que les enfants recourent plus souvent à une activité cognitive sur la situation que les adultes, puisqu'ils n'ont pas encore eu l'occasion d'acquiescer un certain automatisme. Ceci peut rendre compte de certaines différences dans leur comportement que l'on attribuait auparavant à leur intelligence sous-développée.» *

Cependant Brown et de Loache (1978, cités par Robinson 1983) adoptent la position opposée :

«Quelle que soit la tâche, les «novices» sont non seulement dépourvus des capacités de travailler efficacement, mais encore ne disposent ni d'une capacité de participation auto-consciente ni d'une capacité d'auto-régulation de leurs actions... Ainsi une explication des raisons des déficits généralisés de l'activité métacognitive des enfants réside dans le fait que la plupart de nos tâches expérimentales sont à la fois nouvelles et difficiles pour eux.» *

Les recherches citées dans cette section donnent l'impression que l'activité métacognitive se manifeste uniquement lors d'une situation individuelle de résolution de problèmes. Elles ne

(4) «mindfulness» = état d'activité cognitive dans lequel les éléments cognitifs sont manipulés au fur et à mesure que l'individu construit son environnement

«mindlessness» = état d'activité cognitive dans lequel une action complexe se résout de manière automatique, sans attention consciente réelle, sur la base de «scénarios» plutôt que de nouvelles informations.

des situations
individuelles
et des tâches
difficiles

tiennent pas compte de la situation sociale dans laquelle la métacognition a lieu, ni des variables sociales qui pourraient l'influencer.

Il convient également de noter que, malgré la quantité de recherches effectuées sur ce sujet, aucune tentative n'a été faite d'identifier quelle est l'expérience qui est requise pour que l'individu parvienne à acquérir la capacité de se livrer à une activité métacognitive. D'autre part, ces recherches se centrent exclusivement sur la manifestation de l'activité métacognitive et non sur le contexte dans lequel elle se manifeste. (Pour plus de détails voir Robinson 1983).

2.2. Le développement de la métacognition

Wertsch (1979, 1989) a émis l'hypothèse que c'est en interaction avec l'environnement (en particulier avec l'aide des adultes) que l'enfant « apprend » (ou arrive à maîtriser) les processus cognitifs (voir aussi Rogoff 1990). Sa théorie se fonde sur l'affirmation de Vygotsky selon laquelle :

*« Nous pourrions formuler une loi génétique générale du développement culturel de la manière suivante : toute fonction du développement culturel de l'enfant apparaît deux fois ou à deux niveaux. Elle apparaît d'abord sur le plan social, puis sur le plan psychologique. Premièrement elle apparaît entre les personnes comme une catégorie interpsychologique, deuxièmement, à l'intérieur même de l'enfant comme une catégorie intrapsychologique. Ceci s'applique également à l'attention volontaire, à la mémoire logique, à la formation de concepts et au développement de la volonté. »**

l'effet de l'erreur

Robinson (1983) relève que, tant pour les adultes que pour les enfants, les erreurs peuvent servir de stimulation au développement métacognitif (par exemple, quand il n'atteint pas un résultat attendu, l'enfant peut se rendre compte de l'existence d'un problème et réfléchir alors à son comportement et à ses processus de pensée). Ainsi est-il nécessaire de préciser les conditions dans lesquelles les enfants prennent conscience de l'existence d'un problème.

2.3. Relation entre métacognition et comportement

On pourrait supposer qu'une des raisons principales qui incite à étudier la métacognition soit l'intérêt porté quant à son influence potentielle sur le comportement. Cependant il n'en est rien et il existe peu de recherches qui analysent cette relation. Bien des questions à ce sujet restent donc ouvertes, par exemple :

- a) Les stratégies métacognitives et comportementales (« knowing » et « doing ») se développent-elles simultanément ?
- b) Quels sont les éléments de l'environnement de l'enfant qui sont susceptibles de provoquer des changements dans la relation entre « knowing » et « doing » ?

réfléchir et agir ?

- c) Quand (et pourquoi) les individus utilisent-ils des stratégies efficaces sans être capables de les formuler explicitement (pour des exemples voir Gilly et Roux 1983 et Berthoud 1983).
- d) La capacité de formuler explicitement le mode de résolution d'une tâche change-t-elle la stratégie de résolution ?
- e) Quand la compréhension constitue-t-elle un prérequis à la réussite d'une tâche ? Et quand, inversement, la réussite d'une tâche constitue-t-elle un prérequis à sa compréhension ?
- f) Est-il nécessaire de comprendre une tâche pour la réussir ? (On trouve un exemple d'une tâche réussie sans qu'il y ait compréhension dans la discussion de Piaget (cf. Brinquier 1980) sur la difficulté des mathématiciens à expliquer la marche à quatre pattes.)

À ce sujet, il faudrait spécifier les mécanismes par lesquels les activités métacognitives et cognitives s'influencent mutuellement. Une direction causale n'a pas encore pu être mise en évidence : les personnes agissent-elles d'une certaine manière parce qu'elles savent certaines choses ou savent-elles certaines choses parce qu'elles agissent d'une certaine manière ? Jusqu'à présent les recherches sur ce sujet se sont centrées en premier lieu sur la manière dont les règles et les stratégies cognitives influencent le comportement. Elles ont accordé peu d'attention aux mécanismes métacognitifs qui permettent à l'individu de prendre conscience de ses activités cognitives et de pouvoir les utiliser pour guider son comportement, ces mécanismes restent encore à préciser (à ce sujet, voir Lefebvre-Pinard 1983).

2.4. La conscience des processus mentaux en relation avec autrui

la métacognition dans l'interaction sociale

Être conscient que l'on ne sait pas que faire, que l'on ne comprend pas ou que son comportement n'a pas produit le résultat escompté, peut constituer des éléments importants pour le développement métacognitif et cognitif. Robinson (1983) cite les expériences menées par Doise et ses collaborateurs (1981) comme un exemple où la **conscience** que les enfants ont de l'existence d'un problème est considérée comme étant en partie responsable de leurs progrès cognitifs. Voici quelques questions que Robinson pose à ce sujet :

- a) Comment (et sous quelles conditions) l'enfant prend-il conscience qu'il ne comprend pas un problème et que sa compréhension se trouve en contradiction avec celle d'un autre sujet ou que son comportement n'a pas produit le résultat escompté ?
- b) Quel rôle cette prise de conscience d'un problème (prendre conscience, par exemple, que la compréhension de l'enfant se trouve en contradiction avec celle d'un autre, etc.) joue-t-elle dans le progrès cognitif ?

- c) Quand (et comment) les enfants prennent-ils conscience de «l'insuffisance» de leur réflexion ? Comment cette prise de conscience contribue-t-elle à la réflexion à un niveau plus élevé ?

3. MÉTHODOLOGIE

Comme on pouvait s'y attendre, la multitude des approches théoriques de la métacognition a suscité un grand nombre de méthodologies visant à l'étudier.

3.1. Les descriptions verbales

Demander aux sujets de dire «comment ils pensent» semblerait être la façon la plus évidente d'accéder à la conscience qu'ils ont de leurs processus cognitifs. Morris (1981) constate que *«bien que le langage courant ne soit pas suffisant pour répondre à des questions [posées sur les processus cognitifs], il n'est pas moins nécessaire et constitue un point de départ valable... Il semblerait raisonnable pour des psychologues de commencer par des explications spontanées et courantes sur les actions des individus»*. * Dans ses recherches sur la métalinguistique, Berthoud (1983) a relevé l'importance des descriptions verbales : *«Il n'existe donc pas de relation immédiate entre le contenu et l'expression métalinguistique et cependant le moyen le plus direct à la conscience suppose le passage à la verbalisation»*.

Cependant la méthode par description verbale, comme source de données sur les représentations «correctes» des processus métacognitifs des sujets, reste très controversée (cf. Ericsson et Simon 1980). Parmi les facteurs qui peuvent influencer les descriptions verbales, on peut citer les éléments suivants :

- la disponibilité de la mémoire en fonction du temps
- la suppression de la mémoire en fonction du temps
- les mécanismes de jugement
- le contexte de l'entretien
- le comportement non verbal des participants
- les droits, obligations, devoirs, besoins etc... (de nature morale, sociale ou positionnelle) des interlocuteurs
- les intentions de «raconter» d'une manière prospective (avec intentions, objectifs, buts, etc) ou de «décrire» d'une manière rétrospective (voir à ce sujet Shotter 1981).

En ce qui concerne ce dernier facteur, Forgas (1983) relève que *«des explications, des raisonnements et des justifications ne constituent pas seulement une activité cognitive, mais aussi une performance morale servant à montrer et à réaffirmer la «personae social» de ceux qui la représentent»*. ⁽⁵⁾ Ainsi cette contro-

la description
verbale est-elle
fiable ?

des facteurs
multiples

(5) Pour une description plus approfondie de la dimension sociale des descriptions et explications, voir Bell, en préparation.

verse au sujet de l'exactitude des descriptions verbales perd de son importance, si l'on considère la situation d'élaboration et de verbalisation des auto-descriptions comme un déterminant essentiel de leur origine et de leur développement.

3.2. Études sur le terrain

- En enregistrant des propos spontanés, l'influence des facteurs expérimentaux peut être réduite. Cependant cette méthode pose des problèmes sur le plan de l'interprétation et de la classification des données.
- Combinaison de recherches sur le terrain et de recherches en laboratoire (cf. les expériences menées par Silbereisen et al.).

3.3. Comparaison entre le comportement du sujet et ses «explications métacognitives»

Cette dernière méthode a été utilisée notamment par Berthoud qui explique que, dans le domaine de la métalinguistique, elle consiste à prendre en considération *«non seulement les opérations sous-jacentes à l'activité métalinguistique et les jugements métalinguistiques, mais encore et surtout les relations, les coïncidences relatives qui existent entre ces deux sources de données»* (Berthoud 1983).

Toute discussion méthodologique sur le domaine de la recherche métacognitive suscite des questions fondamentales comme :

questions
méthodologiques

- a) Que prouvent (ou représentent) les descriptions verbales ? Constituent-elles une sous-estimation de la connaissance métacognitive ou surestiment-elles les capacités métacognitives du sujet ? (Ces questions nous ramènent au débat introspectionniste).
- b) Comment interpréter les manifestations (ou le manque de manifestations) de l'activité métacognitive ?
- c) Quels sont les mécanismes d'élaboration des descriptions verbales ?
- d) Quelle est la relation entre la verbalisation et les processus métacognitifs ? Clarke (1978, cité par Berthoud 1983) affirme que : *«le développement de la capacité d'explicitement verbalement ne doit pas être associée au développement de la capacité de réfléchir (...) La formation de concepts et représentations mentales dépasse sensiblement leur possibilité d'extériorisation (...) La question reste de savoir, si les opérations de pensée passent vraiment par le discours.»*

À quelle méthode faut-il recourir pour saisir la connaissance métacognitive des sujets ? Robinson (1983) soutient que : *«nous tendons à construire la meilleure image [de ce que les personnes savent] en recourant à une série de méthodes... plutôt que de présupposer que les descriptions sous-estiment les connaissances réelles des enfants. Les chercheurs peuvent comparer les*

*données obtenues par différents procédés, en prenant soin d'analyser de façon précise ce que chacun évalue.**

Forgas (1983) argumente également en faveur d'une pluralité des méthodes : *«La psychologie sociale a toujours été une science à plusieurs méthodes : dans ce domaine adapter la méthode au problème étudié représente peut-être la qualité la plus importante du chercheur. Beaucoup d'aspects de la cognition sociale, en particulier dans le domaine de la cognition collective, peuvent demander la création de méthodes nouvelles et ingénieuses, au moins au début.»**

CONCLUSION

La recherche dans le domaine de métacognition pose actuellement plus de questions et de problèmes qu'elle n'en résout. En conclusion, il convient de remarquer que :

questions de
recherche à
poursuivre

- 1) Étant donné que chaque auteur semble poser des définitions différentes selon son domaine de recherche, il faudrait chercher à atteindre un consensus et une clarification des différents termes employés dans la littérature sur ce sujet.
- 2) Avant d'appliquer différentes manipulations expérimentales qui encourageraient l'activité métacognitive, il convient d'analyser certaines questions fondamentales :
 - a) Qu'est-ce qui peut être considéré comme réflexion métacognitive ? Quel est son rôle dans le fonctionnement cognitif ?
 - b) Comment la connaissance et l'activité métacognitives influencent-elles l'activité cognitive ?
 - c) Quelle est la relation entre métacognition et verbalisation ?
 - d) Dans quelles conditions (s'il en existe) l'activité métacognitive se manifeste-t-elle ?
 - e) Par quels mécanismes l'activité métacognitive se développe-t-elle ?
 - f) Quelles sont les théories «naïves» de la (méta)cognition ? Quels sont les facteurs qui jouent un rôle dans son développement et son élaboration ? Comment les maintenir ou les changer ?
- 3) Un problème qui se pose dans plusieurs recherches sur la métacognition est constitué par le recours à la perspective comparative, c'est-à-dire à la comparaison entre ce que l'enfant ne sait pas et ce que l'adulte sait. Dans ce sens, l'évaluation des capacités métacognitives de l'enfant devient normative et le jeune enfant sera par conséquent considéré comme déficient en comparaison avec des enfants plus âgés et des adultes. Une approche plus féconde consisterait à considérer l'activité métacognitive de l'enfant pour elle-même.

de l'évaluation à
la norme

élargir le cadre
théorique de la
métacognition

- 4) À la lecture de la littérature sur la métacognition, on est souvent frappé par la ressemblance entre la théorisation de la métacognition et celle de la pensée scientifique ⁽⁶⁾ : l'idée qu'un individu puisse arriver à une interprétation «correcte» de ses actions ou qu'il soit capable, par l'observation, de décrire de manière correcte ses processus néglige son contexte social et historique. Une étude critique sur les origines et les influences sociales et idéologiques des modèles théoriques des processus cognitifs et métacognitifs serait nécessaire. Cette étude pourrait se prolonger notamment par la recherche d'une conceptualisation du fonctionnement cognitif qui ne le situerait pas uniquement au niveau individuel.
- 5) La plupart des recherches dans le domaine de la métacognition ayant limité leurs analyses à l'activité cognitive individuelle, l'activité métacognitive, telle qu'elle peut se manifester dans des contextes sociaux, n'a pas été étudiée de manière détaillée, bien qu'une grande partie du fonctionnement cognitif intervienne manifestement dans une situation d'interaction sociale. Peu d'études examinent :
 - a) la métacognition dans le contexte de l'interaction sociale
 - b) le rôle des facteurs sociaux dans le développement de la métacognition
 - c) les origines sociales de la métacognition
 - d) la relation entre la métacognition, la cognition et la cognition méta-sociale
 - e) la relation entre la métacognition et la «*subjectivité collective*» (Emler et Heather 1981) ou la «*thinking society*» (Moscovici 1983)

Toutes ces remarques appellent, nous semble-t-il, à un élargissement du cadre théorique de la métacognition. Une interprétation psychosociologique de ce champ apparaît susceptible d'ouvrir des voies nouvelles.

En guise de post-face

En situant le développement cognitif dans son rapport avec une interaction sociale, nous avons été amenés, depuis la première version de cet article (1985), à entreprendre une autre série de recherches sur le rôle du contexte social dans l'élaboration d'une réponse en situation de test (Grossen et Bell 1988, Grossen 1988, Schubauer-Leoni, Bell, Grossen et Perret-Clermont 1989).

En étudiant l'impact de la situation d'interrogation sur les réponses données par les enfants, nous avons constaté que, pour comprendre comment l'enfant parvient à élaborer une

(6) On peut également y déceler l'image sous-jacente du «self-made man».

réponse au problème posé par l'adulte-expérimentateur, plusieurs choses sont à examiner.

D'une part il faut examiner les caractéristiques du problèmes (sa structure logique par exemple) ; d'autre part prendre en compte l'enfant dans son individualité (l'état actuel de ses connaissances par exemple) ; mais aussi les caractéristiques du contexte social de la situation de test, y compris l'interaction sociale entre enfant et adulte.

Ainsi l'inclusion de la dimension sociale du développement nous a amenés à regarder la réflexion métacognitive sous une lumière différente. Une réponse métacognitive est-elle une indication directe du niveau cognitif de l'enfant ? Ou reflète-t-elle aussi les conditions sociales de sa production ? Ces questions - et beaucoup d'autres - nous ont conduits à explorer les recherches relevant du domaine de la métacognition et de l'introspection dans l'espoir d'une meilleure compréhension des origines et du fonctionnement de ces phénomènes.

Nancy BELL
Université de Genève et Université de
Neuchâtel

BIBLIOGRAPHIE

ABELSON, R. (1976). «A script theory of understanding, attitude, and behaviour» In : J. Carrol & T. Payne eds., *Cognition and Social Behavior*, Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates.

BELL, N. (en préparation). *La construction sociale des explications*. Thèse de doctorat. Université de Neuchâtel.

BOWERS, K. (1981). «Knowing more than we can say leads to saying more than we can know : on being implicitly informed» In : Magnusson (ed.), *Towards a Psychology of Situations*, Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates.

BRINGUIER, J. (1980). *Conversations with Jean Piaget*, Chicago : University of Chicago Press.

DOISE, W. & MUGNY, G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*, Paris : Interéditions.

ELMER, N. & HEATHER, N. (1981). «Intelligence : an ideological bias of conventional psychology» In : P. Salmon (ed.), *Coming to know*, London : Routledge Kegan Paul.

ERICSSON, K. & SIMON, H. (1980). «Verbal reports as data», *Psychological Review*, 87, 295-303.

FLAVELL, J. (1976). "Metacognitive aspects of problem-solving". In : L. Resnick (ed.), *The nature of intelligence*. Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates.

FLAVELL, J., (1981). «Cognitive monitoring» In : W. Dickson (ed.), *Children's Oral Communication Skills*, N.Y. : Academic Press.

FORGAS, J., (1983). «What is social about social cognition ?», *British Journal of Social Psychology*, 22, 129-144.

FURNHAM, A. (1988). *Lay Theories : Everyday understanding of problems in the social sciences*. Oxford : Pergamon Press.

GILLY, M. & ROUX, J.P., (1983). «Travail en interaction socio-cognitive et acquisitions cognitives individuelles», communication à Varsovie, Pologne.

GOODNOW, J. (1981). «Everyday ideas about cognitive development». In : J. Forgas (ed.), *Social cognition : Perspectives on everyday understanding*. London : Academic Press.

GROSSEN, M. (1988). *La construction de l'intersubjectivité en situation de test*. Cousset (CH) : DelVal.

GROSSEN, M. et BELL, N. (1988). «Définition de la situation de test et élaboration d'une notion logique». In : A.N. Perret-Clermont et M. Nicolet (Eds.), *Interagir et connaître : enjeux et régulations sociales dans le développement cognitif*. Cousset (CH) : DelVal.

LANGER, E., (1978). «Rethinking the role of thought in social interaction» In : J. Harvey, W. Ickes, R. Kiddo (eds.), *News Directions in Attributional Research*, vol. 2, Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates.

LEFEBVRE-PINARD, M., (1983). «Understanding and control of cognitive functions : implications for the relationship between cognition and behavior», *International Journal of Behavior Development*, 1, 15-33.

LEYENS, J.P. (1983). *Sommes-nous tous des psychologues ?* Bruxelles : Mardaga.

MISCHEL, W., (1979). «On the interface of cognition and personality : beyond the person-situation debate», *American Psychologist*, 34, 740-754.

MORRIS, P., (1981). «The cognitive psychology of self-reports», In : C. Antaki (ed.), *The social Psychology of Ordinary Explanations*, London : Academic Press.

MOSCOVICI, S., (1981). «Social Representations» In : J. Forgas (ed.), *Social Cognition*, London : Academic Press.

MOSCOVICI, S., (1983). «The Phenomenon of social representations», In : R. Farr & S. Moscovici (eds.), *Social Representations*, Cambridge : Cambridge University Press.

MUGNY, G. (ed.) (1985). *Psychologie sociale du développement cognitif*. Berne : Peter Lang.

NISBETT, R. & ROSS, L., (1980). *Human inference : strategies and shortcomings of social judgement*, Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall.

NISBETT, R. & WILSON, T., (1977). «Telling more than we can know : verbal reports on mental processes», *Psychological Review*, 84, 231-259.

PERRET-CLERMONT, A.N. (1979). *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berne : Peter Lang.

PERRET-CLERMONT, A.N. et NICOLET, M. (eds) (1988). *Interagir et connaître : enjeux et régulations sociales dans le développement cognitif*. Cousset (CH) : DelVal.

PIAGET, J. (1974). *La prise de conscience*, Paris : P.U.F.

PIAGET, J. (1974). *Réussir et comprendre*, Paris : P.U.F.

ROBINSON, E. (1983). «Metacognitive development» In : S. Meadows (ed.), *Developing thinking*, London : Methuen.

ROGOFF, B. (1990). *Apprenticeship in thinking*. Oxford : Oxford University Press.

SCHUBAUER-LEONI, M.L., BELL, N., GROSSEN M. & PERRET-CLERMONT, A.N. (1989). Problems in the assessment of learning : the social construction of questions and answers in the scholastic context. *International journal of Educational research*, 13, 6, 671-684.

SHATZ, M. (1978). «Children's comprehension of their mother's question-directives», *Journal of child language*, 5, 39-46.

SHOTTER, J. (1981). «Telling and reporting» In : C. Antaki (ed.), *The psychology of ordinary explanations*, London : Academic Press.

SHOTTER, J. (1984). *Social accountability and selfhood*. Oxford : Basil Blackwell.

SHOTTER, J. & NEWSON, J. (1982). «An ecological approach to cognitive development : implicate orders, joint action and intentionality» In : G. Butterworth & P. Light (eds.), *Social cognition : studies in the development of social understanding*, Sussex : The Harvester Press.

SILBEREISEN, R. & CLAAR, A. (1982). «Stimulation of social cognition in parent-child interaction : do parents make use of appropriate interactive strategies ?», communication donnée au colloque «Perspectives nouvelles à l'étude expérimentale du développement social de l'intelligence, Genève.

SMITH, E. & MILLER, F. (1978). «Limits on the perception of cognitive processes : a reply to Nisbett & Wilson, *Psychological Review*, 85, 355-362.

TAYLOR, S. & FISKE, S. (1978). «Saliency, attention and attribution : 'top of the head' phenomena» In : L. Berkowitz (ed.), *Advances in experimental social psychology*, vol. 11, N.Y. : Academic Press.

TVERSKY, A. & KAHNEMAN, D. (1973). «Availability : a heuristic for judging frequency and probability», *Cognitive Psychology*, 5, 207-232.

TVERSKY, A. & KAHNEMAN, D. (1974). «Judgement under uncertainty : heuristics and biases», *Science*, 184, 1124-1131.

VYGOTSKY, L.S., (1934). *Mind and society*, Cambridge, Mass. : Harvard University Press, (trad. : 1978).

VYGOTSKY, L.S. (trad., à paraître) «The genesis of higher mental functions» In : J. Wertsch (ed.), *The concept of higher Activity in Soviet Psychology*.

WEGNER, D. & VALLACHER, R. (1981). «Common sense in psychology» In : J. Forgas (ed.), *Social cognition*, London : Academic Press.

WERTSCH, J. (1979). «The social interactional origins of metacognition», paper presented at the biennial meeting of the Society of Research in Child development, San Francisco.

WICKLAND, R. & FREY, D. (1980). «Self-awareness theory : when the self makes a difference» In : D. Wegner & R. Vallacher (eds.), *The self in social Psychology*, N.Y. : Oxford University Press.

WILSON, T. (1985). «Strangers to ourselves : The origins and accuracy of beliefs about one's own mental states». In : J. Harvey et G. Weary (eds.), *Attribution : Basic issues and applications*, London : Academic Press.

À PROPOS DE L'EXPRESSION : L'ENFANT ÉPISTÉMOLOGUE

Anne-Marie Drouin

L'objet du présent article est de considérer les significations possibles, et leurs limites, de l'expression utilisée en didactique, «l'enfant épistémologue». Paradoxe ou ambitieuse si on prend l'épistémologie dans le sens strict de réflexion maîtrisée sur les concepts scientifiques, cette expression peut avoir l'intérêt de souligner le caractère réflexif de tout apprentissage scientifique.

1. LA NAISSANCE D'UNE EXPRESSION

«L'enfant épistémologue», cette expression à valeur provocante est revendiquée par Seymour Papert dans son livre *Jaillissement de l'esprit* ⁽¹⁾. Il en donne une définition lapidaire et en justifie l'usage et la pertinence en se référant à Piaget et aux travaux qu'ils ont effectués ensemble :

«Penser sur sa pensée c'est devenir épistémologue ; c'est entrer dans une étude critique de sa propre réflexion - une expérience que bien des adultes ne vivent jamais.

penser sur sa
pensée

Cette puissante image de l'enfant épistémologue m'a enflammé l'imagination du temps où je travaillais avec Piaget. En 1964 après cinq années passées au Centre d'épistémologie génétique de Piaget, j'emportais de là cette notion essentielle : celle de l'enfant considéré comme le bâtisseur actif de ses propres structures intellectuelles.» ⁽²⁾

Une telle affirmation ouvre la voie à de nombreuses réflexions qui, s'appuyant sur ce que l'on peut comprendre de la genèse des connaissances chez l'enfant, et sur ce que l'on peut savoir des structures opératoires et des notions jugées nécessaires pour la connaissance scientifique, tentent de mettre en évidence le mode d'apprentissage des sciences chez l'enfant. La démarche est séduisante, mais il reste que l'expression «enfant épistémologue» soulève quelques difficultés. On ne cherchera pas ici à répondre à la question de savoir si «penser sur sa pensée» aide effectivement à mieux apprendre, ni à celle de savoir si l'enfant est capable réellement, et jusqu'à quel point,

(1) Seymour PAPERT, *Jaillissement de l'esprit. Ordinateurs et apprentissage*. Paris, Flammarion, 1981. (*Mindstorms. Children, computer, and powerful ideas*, New York, Basic Books, 1980).

(2) Seymour Papert, *op. cit.*, p. 31.

de «penser sur sa pensée», mais on tentera plutôt de prendre en tant que telle l'expression «enfant épistémologue», pour en dégager des sens possibles et réfléchir sur leur pertinence.

2. L'ÉPISTÉMOLOGIE : UN MOT À SENS MULTIPLES

une formulation
déroutante

Dire que «penser sur sa pensée c'est devenir épistémologue» peut paraître un peu réducteur pour l'épistémologie. C'est pourquoi l'expression «enfant épistémologue» a quelque chose de déroutant pour qui donne au mot épistémologie un sens moins large et moins flou que celui qui semble ici être utilisé.

le recours à
l'étymologie

En fait le mot épistémologie lui-même ne va pas sans poser de problème. Certes le recours à l'étymologie peut donner un point de ralliement aux diverses définitions : *épistémologie* vient du grec *épistémé* (= science) et *logos* (= discours sur, étude de) ⁽³⁾. L'épistémologie apparaît donc comme une réflexion sur la science, qui ne se confond pas avec la science elle-même.

Mais le mot *science* à son tour peut être pris en plusieurs sens. Ou bien il s'agit *des sciences*, c'est-à-dire de connaissances organisées en disciplines et validées selon des méthodes précises ; ou bien science veut dire simplement savoir, connaissance en général, sans référence à des méthodes précises ni à des disciplines particulières. Ce double sens possible du mot science peut ainsi être source d'une certaine ambiguïté.

2.1. Les épistémologies et leurs modes d'approche

Avant de tenter une définition de l'épistémologie par son objet d'étude, il faut rappeler que sous le vocable «épistémologues», on trouve des auteurs aux démarches assez diversifiées. A titre d'exemples et sans prétendre être exhaustif, on peut rassembler quatre types d'orientation :

- a) Ou bien l'épistémologie s'appuie sur la science du passé, pour découvrir derrière les tâtonnements, les erreurs, les fausses routes, les intuitions sans lendemain et les obstacles divers, des conditions de possibilité de l'émergence de concepts scientifiques nouveaux, qui sont autant d'éclairages sur ce que c'est qu'une science et sur ses méthodes de validation. Cette épistémologie «historique» est celle où s'illustre Gaston Bachelard, et à sa suite, Georges Canguilhem ⁽⁴⁾.

(3) Cf. notamment le *Larousse illustré* de 1906, cité par le *Robert* de 1985 ; Pierre Macherey et Etienne Balibar, article «épistémologie», *Encyclopaedia Universalis* ; André Lalande, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, Paris, P.U.F., 12^e éd. 1976 (1^{re} éd. en fascicules dans le *Bulletin de la Société française de philosophie*, 1902-1923).

(4) On peut citer comme ouvrages de référence de ces auteurs :
- Gaston BACHELARD, *Le nouvel esprit scientifique*, Paris, Alcan, 1934, P.U.F., 10^e éd., 1968.

des démarches
diversifiées

- b) Ou bien l'épistémologie procède a priori, tentant de définir peut-être moins la science telle qu'elle est ou a été, que telle qu'elle devrait être dans sa pureté et sa rigueur. C'est une épistémologie plus proche de ce que les philosophes ont longtemps mis sous le terme de «logique», s'appuyant sur des formalisations a priori, définissant les critères idéaux de validation. Karl Popper, soulignant que le véritable discours scientifique est celui qui prend le risque d'être réfuté (ou «falsifié»), définit ainsi la «réfutabilité» comme critère de scientificité ⁽⁵⁾.
- c) Ou bien l'épistémologie observe la science telle qu'elle fonctionne dans le monde des scientifiques eux-mêmes, avec leurs rapports de force et leurs rivalités, s'intéresse à la difficulté, pour une théorie nouvelle, à s'installer à côté de la science reconnue par la communauté scientifique du moment, jusqu'à ce qu'une «révolution» scientifique parvienne à changer les normes. Cette épistémologie, plus «sociologique», est représentée par Thomas Kuhn, qui définit la «science normale» comme ce qui cristallise en une même structure, un moment donné, avec toutes les limites et les dangers d'interprétation forcée des phénomènes que comporte cette science dominante ⁽⁶⁾.
- d) Ou bien l'épistémologie, toujours à la recherche des caractéristiques du savoir scientifique, tente de les trouver dans la genèse du savoir, en s'appuyant sur une observation empirique des enfants. C'est ce que fait Piaget avec l'épistémologie génétique ⁽⁷⁾.

2.2. Un sens large et un sens étroit

Si l'on considère l'épistémologie non pas selon ses méthodes d'approche, mais selon l'extension de son objet, on peut définir un sens étroit du terme et un sens plus large.

- Gaston BACHELARD, *La formation de l'esprit scientifique*, Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective. Paris, Vrin, 1938.

- Georges CANGUILHEM, *La formation du concept de réflexe aux XVII^e et XVIII^e siècles*. Paris, P.U.F., 1955, Vrin (2^e éd. 1977).

- Georges CANGUILHEM, *La connaissance de la vie*, (2^e éd. revue et augmentée). Paris, Vrin, 1965.

- Georges CANGUILHEM, *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin, 1968.

(5) cf. Karl POPPER, *La logique de la découverte scientifique*. Traduit de l'anglais par Nicole Thyssen-Rutten et Philippe Devaux, préface de Jacques Monod. Paris, Payot, 1973 (*The Logic of scientific discovery*, London, 1959).

(6) cf. Thomas KUHN, *La structure des révolutions scientifiques*. Paris, Flammarion, 1972 (*The structure of scientific revolution*, Chicago, The University of Chicago Press, 1962, 1970).

(7) cf. Jean PIAGET, *Introduction à l'épistémologie génétique*. Paris, P.U.F., 1950 (3 tomes).

- Jean PIAGET, *L'épistémologie génétique*. Paris, P.U.F., «Que sais-je ?», 1970.

une étude
critique des
sciences

Au sens étroit l'épistémologie se définit comme «*l'étude critique des sciences, destinée à déterminer leur origine logique, leur valeur et leur portée*». ⁽⁸⁾

Au sens plus large, l'épistémologie est la «*théorie de la connaissance*», ou l'étude des processus d'acquisition des connaissances.

On peut rappeler que le mot *épistémologie* (et encore moins *épistémologue*) n'existe pas encore dans le *Littre*. Quant au *Vocabulaire de la philosophie* de Lalande, dont la première édition date du début du siècle, il en donne une définition qui laisse apparaître qu'il s'agit d'un néologisme - qui va peu à peu s'imposer et prendre un sens précis. La citation que fait Lalande d'une formule d'Emile Meyerson est significative à cet égard :

«*Le présent ouvrage appartient, par la méthode, au domaine de la philosophie des sciences, ou épistémologie, suivant un terme suffisamment approché et qui tend à devenir courant*». (E. Meyerson, *Identité et réalité*, Avant-propos, p. 1).

Le sens précis du mot, tel que Lalande le définit, apparaît sous la formulation suivante :

«*Ce mot désigne la philosophie des sciences mais avec un sens plus précis. Ce n'est pas proprement l'étude des méthodes scientifiques, qui est l'objet de la Méthodologie, et fait partie de la Logique. Ce n'est pas non plus une synthèse ou une anticipation conjecturale des lois scientifiques [...]. C'est essentiellement l'étude critique des principes, des hypothèses et des résultats des diverses sciences, destinée à déterminer leur origine logique (non psychologique), leur valeur et leur portée objective.*»

un sens souvent
trahi

Mais ce sens précis est destiné à être souvent trahi. Lalande souligne en effet que l'on ne devrait pas confondre épistémologie et *théorie de la connaissance* (ou gnoséologie), mais que cette confusion existe, sans doute sous l'influence de l'anglais *epistemology*.

«*Mais l'influence de l'anglais (et peut-être aussi la connaissance de moins en moins répandue du grec) font que l'on trouve assez fréquemment ce mot au sens de l'allemand «Erkenntnis Theorie» [alors que le terme allemand pour traduire épistémologie serait «Wissenschaftslehre»].*

Et Lalande conclut :

«*La distinction que fait le français entre épistémologie et théorie de la connaissance (gnoséologie) serait sans doute très utile ; mais elle n'est pas usuelle en italien, ni en anglais.*»

l'influence de
l'anglais

C'est aussi ce que fait remarquer le Robert : «*ce sens élargi, probablement dû à l'influence de l'anglais a été critiqué*». Et si l'on se réfère à un dictionnaire anglais on trouve bien cette définition plus large : ainsi, dans l'*Oxford English Dictionary*,

(8) Formulation du Robert de 1985.

«epistemology» est défini de la façon suivante : «*the theory, or science, of the methods or grounds of knowledge*»⁽⁹⁾.

2.3. Des distinctions fluctuantes

On voit que le mot *épistémologie* «devrait» se distinguer de *méthodologie* d'une part de *théorie de la connaissance (gnoséologie)* d'autre part. Par ailleurs, Robert comme Lalande, précisant que l'épistémologie étudie l'origine logique des sciences («*et non psychologique*», précise Lalande), établissent une frontière implicite non seulement entre l'épistémologie et la psychologie, mais aussi entre l'épistémologie et l'histoire des sciences, qui, elle, ne dédaigne pas de cerner aussi les conditions psychologiques de la naissance d'un concept.

Il y aurait ainsi l'épistémologie **stricto sensu** qui serait l'étude critique des sciences (et non de la connaissance en général), et qui se distinguerait de la méthodologie (qui, elle, aurait davantage une finalité pratique et normative). Cette épistémologie «pure» pourrait néanmoins établir des relations avec la méthodologie, car réfléchir sur les sciences implique aussi de réfléchir sur leur méthodes et notamment leurs méthodes de validation. De même entre l'épistémologie et l'histoire des sciences on peut concevoir des rapports de complémentarité. En effet, toute épistémologie, étudiant la formation des concepts scientifiques, est amenée à en saisir la genèse historique ; et l'histoire des sciences de son côté, en reconstituant la constitution des concepts scientifiques, met à l'œuvre implicitement des choix épistémologiques.

Par ailleurs, même prise en ce sens restreint, l'épistémologie est tiraillée entre son appartenance à une tradition philosophique ancienne, et sa tendance à vouloir devenir une science elle aussi. C'est la thèse que défendent Pierre Macherey et Etienne Balibar dans leur article «Epistémologie» de l'*Encyclopaedia universalis*. Ils montrent comment la tradition épistémologique (avant même l'emploi technique du terme) peut remonter à Platon, qui développe un certain type d'épistémologie où prime le modèle mathématique, et qui donne de la science une conception dégagée de l'empirisme, et distincte de la philosophie qui à ses yeux est seule capable d'une véritable connaissance. Plus tard d'autres conceptions épistémologiques naîtront avec Descartes et Kant. Le premier renonçant à la rupture entre philosophie et science fait de la philosophie une réflexion qui est en continuité avec la science, et définit les principes de celle-ci, en même temps qu'elle en imite les méthodes. Le second fait de la philosophie la nécessaire réflexion critique qui trace les limites du savoir possible. Mais au-delà de cette réflexion philosophique sur les sciences, se profile une tendance de l'épistémologie à devenir elle-même une science, «*science jeune encore*» disent les auteurs, et dont la tradition commençante est

épistémologie et
méthodologie

épistémologie et
histoire des
sciences

épistémologie et
philosophie

(9) *Oxford English Dictionary*, 1989 : «*la théorie ou la science des méthodes ou des fondements de la connaissance*».

l'épistémologie
comme science

représentée par les noms de Gaston Bachelard, Alexandre Koyré, Georges Canguilhem, Jean Cavallès, Michel Foucault. Pour qu'elle devienne scientifique, l'épistémologie doit rompre avec ses origines philosophiques. Pour cela elle ne doit plus être générale, mais «régionale», ce renoncement à une généralité qui impliquerait un redoublement à l'infini de la réflexion (il faudrait une épistémologie de l'épistémologie...) étant la condition pour que s'établisse la véritable *coupure* (selon le terme bachelardien) avec la tradition philosophique, qui dans cette perspective n'apparaît plus que comme la préhistoire de l'épistémologie scientifique. Il faut préciser que le choix fait par Balibar et Macherey de trois auteurs «types» tels que Platon, Descartes et Kant est lui-même soutenu par une conception particulière de l'épistémologie et de son destin. Un autre choix d'auteurs (Aristote, Leibniz et Comte par exemple) aurait sans doute permis un autre type d'analyse privilégiant davantage la continuité que la coupure.

On voit que la réflexion sur l'épistémologie est loin de faire l'unanimité et les quelques remarques qui précèdent soulignent la distance entre une tradition de l'épistémologie française qui se centre sur les sciences constituées ou en train de se faire, et qui elle-même prétend parfois aussi à devenir une science, et une épistémologie anglo-saxonne où les notions de connaissance et de processus cognitif donnent au terme un sens plus large.

2.4. Epistémologie et épistémologie génétique

épistémologie et
psychologie

De fait la vision élargie de la notion d'épistémologie n'est pas réservée au sens anglais ou italien. Les travaux de Piaget tentant d'expliquer la genèse des connaissances chez l'enfant, amènent d'emblée à une réflexion qui articule des données psychologiques concernant l'acquisition des connaissances au sens large du terme, avec une réflexion sur les concepts et les méthodes proprement scientifiques.

On trouve une remarque allant dans ce sens dans le vocabulaire de Lalande :

«Il me semble qu'en distinguant l'Epistémologie de la Théorie de la connaissance, il serait bon d'élargir par un autre côté le sens du premier terme, de manière à y comprendre même la psychologie des sciences ; car l'étude de leur développement réel en peut sans dommage être séparée de leur critique logique, surtout en ce qui concerne les sciences ayant le plus de contenu concret ; et même, pour les mathématiques, on est amené à en tenir compte dès qu'on sort de la pure logistque.»

Quant à Piaget lui-même, dans son introduction à l'ouvrage collectif *Logique et connaissance scientifique*,⁽¹⁰⁾ il tente de définir l'épistémologie en en donnant ce qu'il appelle deux «approximations»⁽¹¹⁾.

(10) Jean PIAGET (dir.), *Logique et connaissance scientifique*. Encyclopédie de la Pléiade, Paris, Gallimard, 1967.

(11) Jean PIAGET (dir.), *op. cit.* note 10, pp. 6-7.

deux
approximations

La première définit l'épistémologie comme *«étude de la constitution des connaissances valables»*. Il souligne le mot «constitution» qui fait de cette connaissance un processus, ainsi que le pluriel de «connaissances» qui suggère que des conditions différentes sont à envisager selon les disciplines, et enfin l'idée de validité qui est à mettre en rapport avec une conception normative du savoir.

Une deuxième approximation définit l'épistémologie comme *«étude du passage des états de moindre connaissance aux états de connaissance plus poussée»*. Cette définition fait intervenir la dimension de la genèse de la connaissance et Piaget fait remarquer qu'elle équivaut à la première si on considère que la constitution des connaissances valables n'est jamais achevée. Cette perspective piagétienne semble faire le lien entre une vision de l'épistémologie strictement centrée sur le savoir scientifique et l'organisation de sa validation, et entre une vision plus large englobant le processus même de connaissance ⁽¹²⁾.

Seymour Papert se référant à Piaget comme on l'a vu, prend donc l'épistémologie dans ce sens génétique, et élargit la notion de science à la connaissance en général. C'est sans doute en ce sens, et en ce sens seulement que l'expression «enfant épistémologue» pourrait avoir un sens.

3. DE L'ANALYSE À L'INTUITION

des sens qui se
superposent

Il semble bien que dans l'expression «enfant épistémologue» plusieurs sens du mot épistémologie se superposent ou se confondent, et que d'autres sont exclus.

Sont exclus notamment les sens qui associent trop précisément l'idée d'épistémologie à une conception particulière de la science et à une connaissance précise de son histoire, de ses méthodes et de ses résultats, autrement dit une conception de l'épistémologie comme discours tendant à maîtriser la science dans ses étapes et ses aspects divers.

Si l'on donne à épistémologie le sens d'épistémologie génétique, l'intérêt pour le développement des connaissances chez l'enfant y prend sa place. Mais dans ce cas, l'enfant est moins «épistémologue» lui-même qu'objet d'étude de l'épistémologie génétique.

une
épistémologie
inaccessible à
l'enfant

Pour que l'on puisse parler d'«enfant épistémologue», il faut que celui-ci ait une maîtrise de l'épistémologie dans l'un au moins de ses sens. L'enfant ne peut faire de l'épistémologie au sens où la philosophie fait de l'épistémologie si par épistémologie on entend philosophie générale des sciences. Il ne peut faire non plus de l'épistémologie au sens où le scientifique fait de l'épistémologie, c'est-à-dire au sens où, prenant du recul sur sa

(12) Jean PIAGET (dir.), *op. cit.* note 10, p. 124 sq.

propre démarche, il est capable de la resituer dans la science particulière à laquelle il a affaire. Il est peu probable que cette épistémologie régionale, qui suppose la maîtrise d'une discipline dans sa globalité, soit en tant que telle accessible à l'enfant.

un sens un peu large et intuitif

Mais si l'on entend par épistémologie la réflexion sur le savoir au sens le plus général de ce terme, on peut en effet considérer que l'enfant peut être induit à réfléchir sur son propre mode d'acquisition du savoir. Si faire de l'épistémologie se réduit à «penser sur sa pensée» l'enfant peut sans doute devenir épistémologue. On en reste alors à un sens un peu plus large et intuitif, où se mêlent la pensée, l'acquisition d'un savoir institué, une méthodologie, une réflexion sur les aptitudes et leur évolution, sur les obstacles à la pensée...

Sans doute s'agit-il là plus de «métacognition» (conçue comme une réflexion au second degré sur le savoir lui-même et ses modes d'accession) que véritablement d'épistémologie. Le vocabulaire français répugne un peu à sacrifier ce sens un peu flou du terme... Mais au-delà du problème de vocabulaire, qui après tout n'est qu'une question de convention sur laquelle il suffit de se mettre d'accord, d'autres problèmes se posent concernant l'idée de l'enfant épistémologue. Plusieurs interprétations en sont encore possibles.

4. LES ÉPISTÉMOLOGIES DE L'ENFANT

4.1. L'épistémologie de l'enfant comme introspection

une prise de conscience

L'enfant, a-t-on dit, doit pouvoir «penser sur sa pensée». Une telle formule évoque la réflexion au second degré, la possibilité de rendre compte des processus d'acquisition des connaissances. L'un des moyens qui semblent tout destinés à ce travail est sans nul doute l'introspection, ou l'auto-analyse, dans laquelle l'enfant serait invité - après coup - à analyser comment il a procédé pour raisonner. Nancy Bell ⁽¹³⁾ montre tous les problèmes théoriques qui surgissent dans une telle problématique : de quoi peut-on être conscient en ce qui concerne les opérations de la pensée ? Peut-on atteindre après coup le détail d'une démarche rationnelle et rendre compte des raisons de tel ou tel choix ? Et en supposant que cela soit possible, la prise de conscience de ce qui n'était pas conscient est-elle un gain supplémentaire par rapport à la recherche d'efficacité ? C'est ce type de questions qui a conduit à des recherches sur la métacognition et dont on peut voir dans ce numéro d'Aster les divers résultats.

(13) Nancy BELL. "Une perspective psychosociale sur la métacognition", dans ce numéro d'Aster.

4.2. L'épistémologie de l'enfant comme démarche prospective

des projets
méthodologiques

On peut considérer aussi que la question de la pensée sur la pensée peut se traduire par l'explicitation d'un projet, l'anticipation d'une démarche, la justification d'une méthode. Dans ce cas la réflexion ne se situe pas après coup, mais anticipe sur la réflexion elle-même et correspond à une phase préparatoire. Alors que la première version de l'enfant épistémologue faisait porter l'accent sur l'aspect des processus intellectuels utilisés, cette seconde version fait porter l'accent sur le choix des méthodes et leur justification.

4.3. L'épistémologie de l'enfant comme bilan des acquisitions

savoir que l'on
sait

Une autre façon de comprendre l'idée d'enfant épistémologue est de la considérer comme l'incitation à opérer un bilan sur les acquisitions, bilan qui peut être collectif alors et qui porte plus sur les contenus de connaissance et leur statut respectif. Être épistémologue reviendrait ici à **savoir** mais aussi à **savoir que l'on sait** et évaluer la valeur de ce savoir.

4.4. L'épistémologie de l'enfant comme réflexion sur la science

découvrir les
caractéristiques
de la démarche
scientifique

On se rapprocherait alors du sens classique d'épistémologie si ce bilan était l'occasion pour les enfants de définir non seulement leur savoir acquis en tant que tel, mais aussi de justifier en quoi ce savoir a pu être validé, et dégager ainsi des caractéristiques de la démarche scientifique. Le savoir ne porterait plus sur les contenus seuls mais sur le statut même de la science, ou plus modestement ou plus précisément, d'un savoir scientifique particulier. Qu'il s'agisse d'une épistémologie à caractère général et philosophique ou d'une épistémologie à caractère régional et scientifique, cette épistémologie des enfants aurait quelque ressemblance, même partielle, avec celle des adultes.

4.5. L'épistémologie de l'enfant comme démarche pédagogique

Enfin on pourrait revenir à une conception plus implicite de l'épistémologie en se référant, paradoxalement, à certaines remarques de Bachelard dans *La formation de l'esprit scientifique* ⁽¹⁴⁾.

Bachelard, partant du constat que «*le jeune milieu est plus formateur que le vieux*» voit dans les relations entre les élèves une plus grande efficacité pour l'apprentissage :

(14) Gaston BACHELARD, *La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. Paris, Vrin, 1969.

un jeune milieu formateur	<p>«Les maîtres, surtout dans la multiplicité incohérente de l'enseignement secondaire, donnent des connaissances éphémères et désordonnées, marquées du signe néfaste de l'autorité. Au contraire les camarades enracinent des instincts indestructibles.»⁽¹⁵⁾</p>
expliquer pour comprendre	<p>Autrement dit, les démarches sont plus facilement transmissibles par qui vient de les effectuer que par qui les connaît de trop loin et depuis trop longtemps. Ce qui fait dire à Bachelard : «Qui est enseigné doit enseigner. Une instruction qu'on reçoit sans la transmettre forme des esprits sans dynamisme, sans autocritique.»⁽¹⁶⁾</p>
avoir raison contre	<p>On peut voir ici à l'œuvre une sorte d'épistémologie implicite permettant à celui à qui on explique de comprendre plus facilement parce que l'exposé est parfaitement adapté à sa structure mentale, et qui permet à celui qui l'expose de mieux assimiler son jeune savoir en le restituant à sa façon par une prise de recul toute active et utile, et non purement gratuite et théorique. De cette façon les disciplines scientifiques évitent d'être figées en dogmatisme, et gardant bien ce caractère qui leur est propre, sont «une impulsion pour une démarche inventive». Cette impulsion ne va pas sans passer par le détour de l'«expérience psychologique de l'erreur humaine», et la force de conviction passe par le plaisir d'avoir raison contre quelqu'un : «Il ne suffit pas à l'homme d'avoir raison, il faut qu'il ait raison contre quelqu'un. Sans l'exercice social de sa conviction rationnelle, la raison profonde n'est pas loin d'être unerancune.»⁽¹⁷⁾</p>
alternance et dynamisme	<p>Bachelard qui qualifie lui-même son analyse d'«utopie scolaire» voit dans ce recours à une attitude active, voire compétitive de l'élève, la condition pour conserver au savoir scientifique son dynamisme. En effet «l'enfant ne cherche pas à s'imposer de façon constante ; il acceptera volontiers après avoir joué le rôle du général de prendre celui du simple soldat.»⁽¹⁸⁾ Et cette alternance dans les rôles peut se calquer sur une alternance dans les attitudes philosophiques, garante elle aussi du dynamisme de la science :</p> <p>«un enseignement reçu est psychologiquement un empirisme ; un enseignement donné est psychologiquement un rationalisme. Je vous écoute : je suis tout ouïe. Je vous parle : je suis tout esprit. [...] L'attitude psychologique faite d'une part de résistance et d'incompréhension, d'autre part d'impulsion et d'autorité, devient l'élément décisif dans l'enseignement réel, quand on quitte le livre pour parler aux hommes.»⁽¹⁹⁾</p>

(15) Gaston BACHELARD, *op. cit.* note 14, p. 244.

(16) Gaston BACHELARD, *op. cit.* p. 244.

(17) Gaston BACHELARD, *op. cit.* p. 245.

(18) Gaston BACHELARD, *op. cit.* p. 245.

(19) Gaston BACHELARD, *op. cit.* p. 246.

5. UN ABUS DE LANGAGE OU UN ENJEU FONDAMENTAL ?

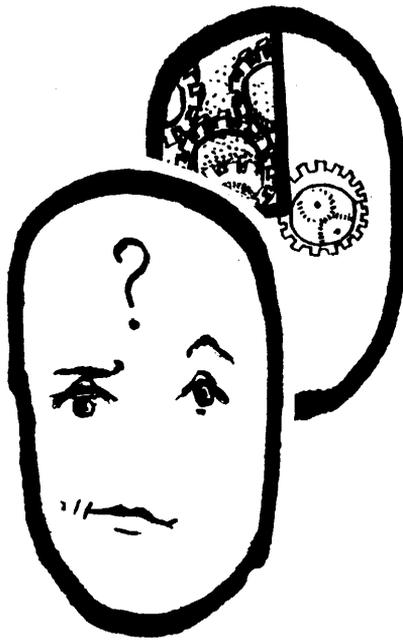
une fragilité de sens

Au total, pour les cinq sens que nous avons dégagés pour caractériser ce que pourrait être l'épistémologie de l'enfant, seule la quatrième définition (l'épistémologie comme réflexion sur la science) a quelques points communs avec ce que l'on peut entendre traditionnellement par épistémologie. Le premier sens (l'épistémologie comme introspection) a plus une valeur psychologique qu'épistémologique, le second (l'épistémologie comme démarche prospective) a plutôt une valeur méthodologique, le troisième (l'épistémologie comme bilan des acquisitions) n'est pas propre à la démarche scientifique en tant que telle et pourrait s'appliquer à toute discipline ou toute acquisition dont on veut faire un bilan. En ce qui concerne le cinquième sens (l'épistémologie comme démarche pédagogique), l'épistémologie en tant que telle demeure implicite et cette «action épistémologique» tient plutôt de l'aptitude à la pédagogie. Quant au sens numéro quatre (l'épistémologie comme réflexion sur la science), on pourrait objecter que ce à quoi peuvent aboutir les enfants demeure nécessairement partiel et qu'une véritable épistémologie suppose une maîtrise plus large et rigoureuse des méthodes et contenus scientifiques. Si bien que, au vu de ces remarques, on serait tenté de dire que la notion d'enfant épistémologue est un simple abus de langage, ou un néologisme anglo-saxon, mais n'a pas de sens véritable.

les mérites d'une expression

Pourtant une telle réflexion a pu faire prendre conscience de l'enjeu d'un apprentissage des sciences, qui ne veut pas être un simple enregistrement passif de connaissances. Même si en tant que telle la notion d'enfant épistémologue demeure floue, elle a le mérite d'amener à s'interroger sur ce que veut dire véritablement acquérir un savoir scientifique. Sans doute l'enfant ne peut devenir épistémologue au sens strict du terme, mais il ne peut non plus devenir «savant» à ce sens strict. Si bien que l'apprentissage des sciences - dans ses limites et sa modestie nécessaires - peut néanmoins choisir de faire coexister l'apprentissage de notions et de méthodes, avec la prise de recul sur ces méthodes, sur les démarches intellectuelles et sur le statut du savoir. Il ne s'agit pas de prétendre que l'enfant peut «faire de l'épistémologie», mais il s'agit de le sensibiliser, en même temps qu'aux acquisitions conceptuelles, à ce qu'est un concept scientifique, et l'aider à prendre conscience non seulement de ce qu'il sait, mais ce que c'est que savoir. Ce long processus peut être conçu comme une acquisition parallèle et complémentaire, contemporaine de l'apprentissage lui-même, et non comme bilan final et définitif, car on ne sait trop où il faudrait situer cette fin. Les choix didactiques reposent bien sur des choix épistémologiques.

Anne-Marie DROUIN
Lycée polyvalent de Corbeil-Essonne
Équipe de didactique des sciences
expérimentales, INRP



CONSTRUIRE DES MÉTHODES À L'ÉCOLE ÉLÉMENTAIRE : LA SÉPARATION DE VARIABLES ET LA MODÉLISATION

Jean-Claude Genzling

Les méthodes de résolution de problèmes (nous entendons par là ce qui est commun dans la diversité des procédures de résolution), tout comme les concepts, ne peuvent être appréhendées efficacement par les élèves par un simple effort d'exposition de l'enseignant : elles doivent être construites par les élèves engagés dans des activités de recherches de solutions à des problèmes posés par des situations fort diverses.

Les problèmes que peuvent rencontrer les élèves de l'école élémentaire peuvent être classés en deux catégories :

*- les recherches de relations causales (une grandeur effet peut dépendre de plusieurs grandeurs causes). Le problème porte généralement sur l'**existence** d'une relation entre deux grandeurs. De tels problèmes conduisent les élèves à maîtriser peu à peu la méthode qui consiste à séparer les variables causes et à faire varier l'une d'entre elles, en fixant la valeur des autres ;*

- les recherches d'explications (autres que causales). Elles nécessitent la construction et l'utilisation de représentations (ou modèles) du réel.

*Dans les deux cas, la simple répétition d'activités ne suffit probablement pas à faire prendre conscience aux élèves de la méthode. Il semble qu'il soit nécessaire de provoquer un **retour** sur les procédures de résolution (à l'aide de documents témoins) pour en dégager les spécificités, et de **comparer** entre elles des procédures de résolution portant sur des problèmes différents. Les élèves (guidés par le maître) peuvent dans ce cas mettre en évidence ce qui est commun dans des situations qui peuvent être, quant à elles, très éloignées.*

les élèves doivent
construire les
méthodes de
résolution de
problèmes

Après avoir défini un modèle pédagogique qui donne à l'élève un rôle actif dans la **construction** de ses connaissances et de ses méthodes de travail ⁽¹⁾, et vérifié la validité de ce modèle en milieu scolaire (essentiellement à l'école élémentaire et au collège), les différentes équipes de recherche en sciences expérimentales de l'Institut National de Recherche Pédagogique (du moins les équipes école) se sont attachées à expliciter la genèse de certains concepts (énergie, écosystème...) et les structures qu'ils tissent avec d'autres concepts ⁽²⁾. On retiendra ici l'idée d'activités de structuration développée par J.-P. Astolfi ⁽³⁾. Leur

(1) Michel DEVELAY. "Evolution des recherches pédagogiques en sciences expérimentales". *Bulletin Aster*, 20. 1983.

(2) On pourra se reporter à "Eclairages sur l'énergie". *Aster*, 2. 1986, et à "Explorons l'écosystème". *Aster*, 3. 1986.

(3) Jean-Pierre ASTOLFI. "Présentation de la recherche sur les procédures d'apprentissage en sciences expérimentales". *Bulletin Aster*, 20. 1983. Jean-Pierre ASTOLFI et Anne COULIBALY. "Structuration : tentative de clarification". Document interne, ESCIEX, INRP, 1983.

cette construction impose à l'enseignant la programmation d'activités de structuration

la séparation des variables est une composante essentielle de l'expérimentation

l'importance d'une méta-réflexion portant sur les procédures de résolution de problèmes

la modélisation est, avec l'expérimentation, une composante fondamentale de la méthode expérimentale

fonction essentielle est la construction par les élèves d'un savoir cohérent en prenant en compte les acquis ponctuels obtenus à l'issue des activités de résolution de problèmes.

La recherche portant sur la formation des compétences méthodologiques est plus récente ⁽⁴⁾. Il ne faut cependant pas en déduire que l'acquisition des méthodes a été systématiquement négligée au cours des recherches antérieures. On pourra par exemple relire le texte de Marcel Paulin ⁽⁵⁾ qui fixe très clairement les différentes étapes de la construction et de la maîtrise de la méthode que nous appelons la séparation des variables. La recherche actuelle de l'équipe école élémentaire porte plus particulièrement sur la construction et l'utilisation par les élèves de modèles dont la fonction est à ce niveau essentiellement explicative.

Les méthodes se construisent à l'occasion des procédures que les enfants mettent en œuvre lors des activités de résolution de problèmes. Elles ne peuvent être dégagées sans une **intention** et donc des interventions spécifiques du maître. Un **retour** sur le "comment on a fait pour..." est généralement nécessaire ; autrement dit la construction des méthodes demande de véritables moments structurants qui peuvent se situer :

- soit lors d'une activité de résolution de problèmes, lorsque la procédure de vérification mène à des contradictions ; c'est le cas lorsque l'expérimentation conduit à des résultats qui s'excluent logiquement,

- soit encore lors d'une **séquence autonome** programmée spécialement à cet effet. Une telle séquence est une séquence de structuration (ce terme désigne généralement des séquences dont le but est la généralisation de relations construites lors des activités de résolution de problèmes).

Nous nous proposons d'examiner ci-dessous la mise en œuvre de deux méthodes dont chacune revêt une grande importance :

- **la séparation des variables (au cours de l'expérimentation)** qui permet aux élèves d'établir l'**existence** de relations entre différentes grandeurs,

- **la modélisation** qui permet aux élèves de construire ou d'utiliser des représentations dont le pouvoir explicatif (à l'école) est fondamental.

Quel que soit le cas de figure, la fonction des moments structurants envisagés ci-dessus est d'amener les élèves à prendre conscience de la méthode et de mieux la maîtriser, en provoquant une **réflexion sur leurs propres démarches**, ou stratégies cognitives : c'est un travail de métacognition.

(4) *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales, Document 1*. Publication interne, ESCIEX, INRP, 1986.

(5) Marcel PAULIN. "Comment les élèves sont-ils conduits à séparer les variables dans des activités scientifiques scolaires ?" in : *Les démarches scientifiques expérimentales : théorie et pratique*. Actes des 1eres journées sur l'éducation de Chamonix. Paris. Université Paris VII, Didactique des disciplines. 1979.

1. LA SÉPARATION DES VARIABLES

1.1. Un effet peut avoir plusieurs causes

une grandeur
effet peut
dépendre de
plusieurs
grandeurs cause

Le besoin d'explication, le désir d'agir sur un phénomène amènent les élèves à dégager des causes ou variables possibles. *"Les explications causales sont les explications par excellence, celles qui satisfont l'enfant à l'exclusion de toute autre. Quand on met les enfants en face d'une évidence expérimentale (par exemple : les corps plongés dans l'eau deviennent plus légers) ils ne sont satisfaits et capables d'assimiler et de manier la relation introduite dans l'énoncé, que lorsqu'on a répondu au "pourquoi" qu'ils posent aussitôt... Or ce pourquoi signifie à peu près généralement : par quelle cause ?"* ⁽⁶⁾. Ainsi lorsque des élèves découvrent que les développements de plusieurs vélos sont différents, ils s'engagent spontanément dans des activités de comparaison qui, si elles sont discrètement guidées par le maître, leur permettront de recenser un ensemble de causes possibles qui sont toutes susceptibles d'expliquer les différences observées. Il va de soi que cette recherche de variables est particulièrement efficace si les élèves ont préalablement repéré les éléments appartenant à la chaîne cinématique d'un vélo et établi la fonction (rôle du plateau, de la chaîne, du pignon...) de chacun de ces éléments.

Le rôle du maître est ici important car les élèves doivent prendre conscience qu'un **effet donné peut avoir plusieurs causes**. Cette prise de conscience est favorisée par la confrontation de leurs opinions. Elle est confirmée lorsqu'ils constatent, après vérification, que plusieurs des hypothèses avancées sont effectivement reliées à l'effet. On peut donc modifier celui-ci en agissant sur plusieurs variables. Un problème **pratique** (par exemple : évaporer de l'eau très vite) peut donc admettre plusieurs solutions ou encore on peut rechercher la meilleure solution. Le maître devra insister sur ce point lors du moment structurant.

1.2. La construction d'une procédure de vérification

établir l'existence
d'une relation
entre deux
grandeurs

Un effet (ou la grandeur effet) peut dépendre de plusieurs variables (ou grandeurs causes). Comment vérifier si l'une d'entre elles **est une cause** ? Autrement dit comment vérifier si la grandeur effet (le développement du vélo, la vitesse d'évaporation...) **est reliée** à la grandeur cause (le nombre de dents du pignon, la longueur de la chaîne, l'étendue de la surface libre du liquide...) ?

Aucun raisonnement préétabli ne permet de répondre à cette question. Au contraire **ce raisonnement ne peut être cons-**

(6) Francis HALBWACHS. "La physique du maître entre la physique du physicien et la physique de l'élève". *Revue française de pédagogie*, 33, 1975.

l'importance de l'erreur dans la prise de conscience de la méthode

truit qu'à partir des essais et des erreurs des élèves. Il est tentant pour un maître de limiter l'autonomie des élèves, de réduire leur droit à l'erreur et de leur suggérer la "bonne manière" de vérifier. Dans une perspective constructiviste, cela serait une faute pédagogique : l'erreur est ici féconde et formatrice, et elle permet justement de prendre conscience de la méthode.

savoir comparer

Dans la mesure où les élèves ont l'**habitude de comparer** (les activités de comparaison doivent être privilégiées dès la petite section de maternelle) ils proposeront des procédures de vérification susceptibles de répondre au problème posé (elles contiennent toujours l'idée de comparer deux situations qui diffèrent par une ou plusieurs qualités...). Les élèves savent par ailleurs qu'une proposition (un résultat, une conclusion...) ne peut pas à la fois être vraie et fausse (connaissance empirique du principe du "tiers exclu" : une proposition et la négation de cette proposition ne peuvent être vraies simultanément et une proposition est vraie ou elle est fausse). Si donc deux groupes, vérifiant la même hypothèse, obtiennent des résultats contradictoires, alors l'un au moins des deux groupes a commis une erreur dans la conception ou dans la réalisation de sa procédure de vérification.

l'importance de la réflexion a posteriori sur les procédures de résolution

La recherche de cette erreur, sur le plan expérimental et si nécessaire sur le plan du **raisonnement**, exige un retour sur ce qui a été fait. Il faut comparer la démarche des deux groupes. Il s'agit là d'un moment assis, d'un moment de **méta-réflexion**, qui doit mener à la prise de conscience de la méthode par **l'ensemble du groupe classe**. Cette réflexion sur le passé ne peut aboutir que si elle peut s'appuyer sur des documents produits par les différents groupes. La trace écrite qui nous paraît la mieux adaptée à cet effet est le tableau de comparaison qui donne une description (en termes d'actions ou d'opérations) aussi complète que possible de l'expérience.

l'importance des tableaux de comparaison

L'exemple ⁽⁷⁾ reproduit page ci-contre met en évidence le **rôle des tableaux** : ils gardent la trace de l'action, ils sont la mémoire du groupe. Lorsque la méthode est encore mal maîtrisée (au CE 2 et au CM 1) il est souhaitable que les enfants fassent apparaître **la suite ordonnée des opérations (actions) effectuées au cours de l'expérience**. Ils retracent alors la démarche du groupe avec ses exigences : les valeurs de l'ensemble des variables, sauf celle de l'une d'entre elles, doivent être fixées. Lorsque cette condition n'est pas réalisée on ne peut conclure. Inversement si on suit scrupuleusement la méthode et si la conclusion est contraire aux prévisions, alors on peut suspecter l'existence d'une variable cachée.

(7) Extrait de : *Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire. 3 : Initiation physique et technologique*. Paris, INRP, coll. Recherches Pédagogiques, 74, 1975, pages 77 et 78.

“...les enfants répartis en deux groupes cherchent à imaginer une expérience capable de prouver que l'évaporation se fait plus vite à chaud... Les prévisions ne sont vérifiées que pour le premier groupe... On (le groupe classe) cherche une explication à cette contradiction : la maîtresse intervient pour guider la comparaison en faisant chercher ce qui est pareil, ce qui est différent dans chaque groupe d'abord, puis d'un groupe à l'autre.

On facilite la comparaison en l'organisant sous la forme d'un tableau : on reprend les opérations depuis le début pour faire chaque tableau.

	Groupe 1		Groupe 2	
	Pot 1	Pot 2	Casserole	Pot en verre
On a mis	de l'eau	de l'eau	de l'eau	de l'eau
On en a pris	2 cuillerées	2 cuillerées	2 cuillerées	2 cuillerées
On l'a mis dans	un pot en verre	un pot tout pareil	une casserole	un pot en verre
On l'a mis sur	le bureau	le radiateur	le bureau	le radiateur
L'eau a disparu après :	15 min	10 min	5 min	10 min
	L'eau s'évapore plus vite sur le radiateur		L'eau s'évapore plus vite sur le bureau	

Une lecture comparative des deux tableaux met en évidence :

- un seul changement pour le groupe 1 : la température.

- deux changements pour le groupe 2 : la température et la nature du récipient.

Les élèves prennent conscience que l'expérience du groupe 2 ne permet pas de conclure car "on ne sait pas si c'est la température ou le récipient qui fait changer le résultat".

le problème des variables liées

Dans la pratique il est parfois difficile de ne faire varier qu'une seule variable. Reprenons l'exemple de l'évaporation : si nous prenons deux récipients de même nature (même substance), de forme cylindrique mais de section différente, et si nous versons dans ces récipients la même quantité d'eau, **la hauteur** d'eau va être différente dans chacun de ces récipients. Cette variable n'apparaît guère dans les tableaux car elle ne correspond pas à une opération élémentaire de la procédure. Or les élèves, pour peu qu'ils tentent d'interpréter les résultats, y sont très sensibles : "c'est d'abord la première couche d'eau qui s'en va puis la deuxième..." disent-ils, et le nombre de couches dépend de la hauteur. Les élèves peuvent penser à juste titre que deux variables ont changé. Cette difficulté, si elle se présente (il s'agit du problème des variables liées), ne peut être dépassée (dans ce cas précis) que si on établit que la vitesse d'évaporation ne

dépend pas de la quantité d'eau contenue dans le récipient (supposé cylindrique). La quantité d'eau peut donc varier, ce qui permet de choisir des hauteurs égales...

Cette courte discussion met l'accent sur un autre aspect de la méthode : une variable **reconnue comme non pertinente** peut être supprimée dans les tableaux de comparaison et lors de l'expérimentation elle peut prendre n'importe quelle valeur. Une telle maîtrise de la méthode est difficile à atteindre au CM.

1.3. La généralisation de la méthode

faire apparaître si possible la suite logique des opérations effectuées

Le moment structurant d'une activité de résolution de problèmes devrait permettre aux élèves de prendre conscience de la méthode qui a permis de répondre au problème posé. L'outil privilégié de cette prise de conscience est le tableau de comparaison qui doit faire apparaître (chaque fois que cela est possible) la suite ordonnée des opérations qui, prises globalement, constituent la procédure. Ce type de tableau est une mémoire et dans ce cas précis il permet de reconstruire la procédure.

Pour certains problèmes, cette suite ordonnée d'opérations est quelconque, c'est-à-dire que l'ordre dans lequel on fixe les valeurs des variables n'est pas imposé par une suite logique d'actions se déroulant dans le temps. Il en est ainsi du problème du développement du vélo. Si l'on veut savoir si celui-ci dépend du nombre de dents du pignon, on prend un vélo muni de plusieurs pignons et on mesure le développement pour au moins deux pignons différents (les autres facteurs sont nécessairement fixés).

la prise de conscience de la méthode et sa généralisation sont favorisées par la comparaison

Sur le plan de l'apprentissage de la méthode, ce cas apparaît comme différent du cas de la vitesse d'évaporation ; la méthode est cependant la même. Pour favoriser cette prise de conscience, un maître peut programmer des **séquences spécifiques** qui amènent les élèves à comparer les démarches mises en oeuvre au cours d'activités différentes : il s'agit ici de véritables **séquences de structuration** dont la fonction est de généraliser une méthode.

Nous donnons ci-dessous en exemple quelques extraits d'une telle séquence conduite dans un CM1 : outre une consolidation et une généralisation de la méthode, cette séquence a permis au maître de faire le point avec les enfants avant de programmer de nouveaux sujets d'études. Elle comporte deux phases bien distinctes : une lecture successive de tableaux de comparaison suivie par une lecture comparée de tels tableaux.

- Le maître demande aux élèves de lire un premier tableau (fig 1)

Est-ce que la laine chauffe ?		
ce qui peut être important \ expériences	1	2
le récipient	en aluminium	un récipient pareil
le support (du récipient)	une plaque de polystyrène	la même plaque
l'endroit où est posé le récipient	sur une table	sur la même table
la quantité d'eau (dans le récipient)	cinq verres d'eau	la même quantité d'eau
la température de l'eau au début	20° C < t < 21° C (celle de la salle de classe)	la même température 20° C < t < 21° C
présence de laine	oui	non
température de l'eau après une demi-heure	20° C < t < 21° C	20° C < t < 21° C

Conclusion : la laine ne chauffe pas.

Le maître : *Comment avons-nous fait pour répondre à la question : est-ce que la laine chauffe ?*

Des élèves : *On a fait deux expériences (deux montages : un avec laine et l'autre sans laine).*

Le maître : *Pourquoi avons-nous fait deux expériences ?*

Emilie : *..Si on ne faisait pas une expérience sans la laine, on ne verrait pas la différence.*

Emilie semble avoir bien compris le rôle du montage témoin.

Le maître : *..Qu'est-ce qui changeait dans les deux expériences ?*

Sophie : *Dans une il y avait de la laine et pas dans l'autre.*

Le maître : *Y a-t-il encore autre chose qui change ?*

Les élèves : *Non .*

Le maître : *Est-ce que le tableau dit aussi qu'il n'y a qu'une seule chose qui change ?*

Les élèves : *Oui .*

Bertrand : *Quand il y a présence de laine il y a oui et non et pour le reste il y a toujours la même chose .*

Le maître : *..On pourrait écrire comment on a fait pour répondre à la question ...*

Figure 1

Le groupe classe retient la phrase suivante : pour savoir si la laine chauffe, on a comparé deux expériences où tout était pareil sauf la laine. (Une demi-heure après le début de l'expérience, les élèves ont lu et comparé les températures de l'eau contenue dans les deux récipients ; initialement la température de l'eau était celle de la salle de classe). Cette formulation est trop concise car elle n'explique pas que la réponse à la question posée est fondée sur la comparaison, au bout d'un certain temps, des températures de l'eau contenue dans les deux récipients.

- Le maître demande aux élèves de lire un deuxième tableau (fig 2)

Est-ce que le développement dépend du nombre de dents du pédalier ?		
ce qui peut être / vélos	1	2
roues	une certaine grandeur	la même grandeur
chaîne	une certaine longueur	la même longueur
pignon	un certain nombre de dents	le même nombre de dents
pédalier	un grand nombre de dents	un petit nombre de dents
mesure du développement en m.		
conclusion		

Figure 2

En comparant différents vélos le groupe classe a établi que le développement pouvait dépendre de la grandeur des roues, de la longueur de la chaîne, du nombre de dents du pignon et du nombre de dents du plateau. Les élèves n'ont pas encore mesuré le développement des vélos décrits dans le tableau de comparaison.

Le maître : *Comment faut-il faire pour répondre à la question ?*
 Anne : *Il faut compter le nombre de dents du pédalier*

Cette élève n'est pas la seule à répondre ainsi et si une autre élève n'est pas "tellement d'accord" c'est seulement parce

qu'elle estime que ce comptage " n'est pas très évident car il y a beaucoup de dents ". De toute évidence tous les élèves de la classe n'ont pas saisi la méthode à mettre en œuvre dans ce cas particulier.

La procédure qui a servi à répondre à la question portant sur le rôle de la laine, n'est pas transférée spontanément ici. Cela n'est pas en contradiction avec le fait que ces mêmes élèves aient compris que le développement pouvait dépendre de la longueur de la chaîne, de la grosseur du pignon,... La courte discussion qui suit, permet à Anne (et aux autres élèves qui pensent comme elle) de prendre conscience qu'il ne suffit pas de compter le nombre de dents des pédales pour répondre à la question posée.

Marianne : *Il faut comparer le résultat de chaque expérience . Au maître qui lui demande de préciser ce qu'elle entend par expérience, elle répond : il faut comparer le développement des deux vélos*
 Le maître : *Et si les développements sont égaux, quelle sera la conclusion ?*
 Un élève : *Le nombre de dents du pédalier n'est pas important*

- Le maître demande aux élèves de lire un troisième tableau (fig 3)

vélos		
ce qui peut être important	1	2
roues	une certaine grandeur	la même grandeur
chaîne	une grande longueur	une petite longueur
pignon	grand nombre de dents	petit nombre de dents
pédalier	un certain nombre de dents	le même nombre de dents
mesure du développement en m.		
conclusion		

Figure 3

Ce tableau incomplet (la question à laquelle il permet de répondre n'est pas indiquée) comporte une ambiguïté (deux variables qui varient). Proposé par le maître, il n'a pas été établi avec les élèves en prévision d'une expérimentation.

Le maître : *Cherchez à quelle question ce tableau permet de répondre.*

Un seul élève répond : *Est-ce que le développement dépend de la longueur de la chaîne ?*

Le maître : *Êtes-vous d'accord ou pas d'accord ?*

Adeline : *Je ne suis pas tellement d'accord car là où il y a chaîne il y a grande longueur et petite longueur et là où il y a pignon il y a grand nombre de dents et petit nombre de dents.*

Au maître qui lui demande de préciser sa pensée, elle ajoute :

Si on pense à l'autre tableau il faudrait seulement changer la longueur de la chaîne.

Adeline a probablement compris la méthode ; le doute qui subsiste ne peut être levé car Sophie propose une nouvelle question qui, de toute évidence, jette le trouble dans les esprits : *"est-ce que le développement dépend de la longueur de la chaîne et du nombre de dents du pignon ?"* Plusieurs élèves pensent que c'est là, la question qui correspond au tableau. Le maître rappelle alors aux élèves comment ils ont procédé pour répondre à la question relative à la laine. Adeline comprend alors l'erreur de Sophie : *"il faudrait faire deux tableaux"*. Elle a saisi que cette question correspond à deux questions indépendantes, auxquelles il faut répondre séparément.

Le maître : *Qu'est-ce que tu proposes de changer à celui-là ? (le tableau de la figure 3)*

Adeline : *À "pignon" on pourrait enlever "grand nombre de dents" et "petit nombre de dents" et on pourrait mettre "le même nombre de dents".*

Le maître : *Et qui a une idée concernant la question ?*

C'est Sophie qui répond

Sophie : *Est-ce que le développement dépend de la longueur de la chaîne ?*

Les élèves semblent d'accord avec Sophie.

Le maître : *Pourquoi êtes-vous d'accord avec Sophie ?*

Jean-Philippe : *Parce qu'on a barré "grand nombre de dents" et "petit nombre de dent".*

Le groupe classe reprend le même travail en fixant la variable "longueur de la chaîne". 18 élèves sur 22 trouvent alors la question qui correspond à ce nouveau tableau.

- Le maître propose aux élèves de lire deux tableaux simultanément

Il s'agit des tableaux des figures (1) et (2).

Dans l'esprit du maître cette comparaison devrait permettre aux élèves de prendre conscience que **la méthode est la même** dans les deux cas.

Adeline : *C' est les mêmes tableaux .*

Le maître demande aux élèves de rechercher (travail par équipe) les ressemblances et les différences dans les deux tableaux. Les résultats de cette recherche sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Ressemblances	Différences
<ul style="list-style-type: none"> - une seule chose change - on recherche ce qui peut être important - on compare deux expériences 	<ul style="list-style-type: none"> - les questions ne sont pas les mêmes

Comme on peut le voir, ce tableau contient les **caractères essentiels de la méthode**. La séquence se termine par la recherche d'une formulation écrite. Voici celle retenue par le groupe classe : *"pour répondre à certaines questions (pour chercher ce qui est important pour expliquer...), on compare deux expériences dans lesquelles on change une seule chose."*

On peut penser que la majorité des élèves a compris qu'on répond aux deux problèmes en opérant de la même façon, c'est un début de généralisation.

2. LA MODÉLISATION ⁽⁸⁾

la modélisation est une méthode de résolution de problèmes

Un modèle est une **représentation systémique et hypothétique** d'une partie de la réalité, délimitée par la pensée **en fonction d'un problème à résoudre**. A l'école élémentaire, ce problème est généralement une recherche d'explication, plus rarement une tentative de prévision. Cette partie de la réalité ou **système** peut être un objet (la terre, un objet technique : une diode, un transistor...) ou un ensemble d'objets ayant des propriétés et liés entre eux par des relations (par exemple le système solaire).

2.1. Un modèle ne décrit pas la réalité telle qu'elle est

Il la décrit telle qu'elle pourrait être. Cette réalité peut être non visible (par exemple un mécanisme ou un organe), très complexe (le nombre d'éléments est très grand) ou encore inaccessible globalement à l'observation (par exemple un système astronomique). Les éléments du système peuvent aussi être non détectables par les sens (les particules d'eau). Bref, contraire-

(8) On trouvera des études de cas dans "Modèles et modélisation". Aster, 7, 1988.

un modèle que l'on construit décrit une situation en fonction d'un problème à résoudre

ment au sens commun, il est généralement impossible de décrire complètement et totalement une réalité et ceci d'autant plus que les relations entre ses éléments (interactions) échappent par leur nature même aux techniques d'observation (sa description ne peut être réduite à la description du perçu). La seule façon de l'appréhender est donc de construire une représentation ne rendant compte que de certains aspects de cette réalité. On ne conserve dans cette représentation que les caractères qui nous paraissent indispensables pour répondre aux problèmes posés par le réel ; problèmes qu'il faut résoudre pour mieux le connaître. Ainsi, si on suppose qu'un gaz est formé de particules toutes identiques, il n'est pas nécessaire de s'interroger sur leur forme si on veut expliquer et calculer la pression que ce gaz exerce sur les parois du récipient qui le contient. De même si on veut savoir pourquoi la lune change de forme, il n'est pas nécessaire de s'interroger sur l'origine de la lumière émise par le soleil; cette dernière question est cependant fondamentale si on cherche à déterminer la durée de vie de celui-ci. La construction d'un modèle implique donc un choix parmi les descriptions possibles de la réalité ; ce choix est guidé par le type de problème à résoudre. La représentation retenue, d'une part ne la décrit pas complètement, d'autre part est partiellement hypothétique dans la mesure où une grande partie de cette réalité échappe à nos instruments d'observation.⁽⁹⁾

2.2. La modélisation est une activité intellectuelle complexe

Elle est tout d'abord la **construction** d'un modèle ou l'**appropriation** d'un modèle proposé par le maître (ou par un document) ou encore la **mobilisation** d'un modèle déjà construit.

Elle est ensuite la **conduite d'un raisonnement** : un modèle est un objet **pour penser**. Représentation d'un système dont il ne décrit que certains aspects (choisis en fonction d'un problème à résoudre), le modèle s'exprime par un ensemble de relations qui permettent d'**inférer** de nouvelles relations connues (fonction explicative du modèle) ou inconnues (fonction prédictive du modèle).

2.3. La prise de conscience de la notion de modèle et de la modélisation

Il s'exprime à l'aide de signifiants divers

Un modèle représente certains aspects (généralement mal connus ou inconnus) d'un système réel. Il peut s'exprimer à l'aide de signifiants (ou codes symboliques) très divers : ma-

(9) Jean-Claude GENZLING, in : Jean-Pierre ASTOLFI, Anne-Marie DROUIN, (coord.). *La modélisation à l'école élémentaire*. Rapport de la recherche coopérative sur programme LIREST-INRP. Document multigraphié. 1990.

quettes, mimes, dessins, schémas, représentations graphiques, relations mathématiques... Lorsque le signifiant présente un fort pouvoir figuratif (par exemple une maquette) il y a risque de transfert des propriétés du modèle au phénomène réel. C'est généralement le cas pour les systèmes astronomiques (système solaire...) et leurs "modèles maquettes".

un système réel
peut être
représenté par
des modèles
différents

Un système réel donné peut être représenté par différents modèles : ainsi le refroidissement d'un liquide chaud peut être interprété par un modèle substantialiste (l'échange de chaleur avec l'extérieur transite par une substance intermédiaire) ou par un modèle mécaniste. De même le système **terre - soleil** peut être représenté soit par un modèle géocentrique soit par un modèle héliocentrique. Inversement un même modèle (par exemple un modèle particulaire) peut représenter des systèmes réels différents .

un même modèle
peut représenter
des réalités
différentes

La modélisation, définie comme la construction (ou la mobilisation) et l'utilisation de modèles, permet d'interpréter et de prévoir. Elle est donc aussi une méthode de résolution de problèmes, qui sont essentiellement des demandes d'explications à l'école élémentaire. Le modèle n'est pas lui même l'explication : il permet de l'établir ; autrement dit, pour l'atteindre il faut raisonner.

Les élèves ne peuvent établir spontanément les caractères des modèles et de la modélisation que nous avons évoqués ci-dessus. Une activité de structuration est nécessaire. Une telle activité n'est évidemment possible que si plusieurs activités de modélisation ont été menées préalablement. Le maître amènera les élèves à réfléchir sur la manière dont ils ont résolu un certain nombre de problèmes au cours de ces activités. Nous donnons ci-dessous à titre d'exemple de larges extraits de la transcription d'une telle séquence. (10)

(10) Jean-Claude GENZLING et Daniel RIBER. *La modélisation à l'école élémentaire*. Document interne, ESCIEX, INRP, 1988.

Le maître a inscrit au tableau les énoncés (notés Q1, ..., Q5), de cinq problèmes que le groupe classe a résolus au cours de l'année :

- Q1 : explique la dissolution du sucre dans l'eau.
- Q2 : explique la disparition de l'eau dans un récipient.
- Q3 : explique pourquoi un conducteur s'échauffe quand un courant le traverse.
- Q4 : explique pourquoi les jours et les nuits se succèdent.
- Q5 : explique pourquoi la durée des jours et des nuits n'est pas la même toute l'année.

Au mur sont affichés des ensembles de phrases définissant quatre modèles (notés M1, ..., M4) permettant de répondre aux cinq questions précédentes. Il s'agit des versions définitives des phrases, car elles ont souvent été remodelées lors des séquences précédentes.

- M1 : - on imagine que dans un morceau de sucre il y a des particules identiques.
 - on imagine que les particules sont immobiles.
 - on imagine que les particules s'attirent.
- M2 : - on imagine que l'eau est formée de particules identiques.
 - on imagine que ces particules sont constamment agitées.
 - on imagine que si on chauffe le liquide, les particules sont plus agitées.
- M3 : - on imagine que dans les métaux il y a des particules identiques (électrons) qui peuvent se déplacer et d'autres particules identiques qui sont immobiles (ions).
 - on imagine que la pile provoque le déplacement des électrons dans un seul sens.
 - on imagine que dans le conducteur les ions résistent au déplacement des électrons.
- M4 : - on imagine que le soleil est immobile.
 - on imagine que la terre tourne régulièrement autour d'un axe passant par les pôles.
 - on imagine que la direction de l'axe reste fixe.
 - on imagine que la terre tourne autour du soleil en un an.

Les élèves ont répondu à la question Q5 à l'aide du modèle M4 et d'un modèle géocentrique dont le texte figure dans leur cahier de sciences. Les différentes phrases définissant ces modèles sont également représentées à l'aide de schémas. Rappelons que pour répondre à la question Q4, les élèves avaient construit quatre modèles différents qui rendaient tous compte du phénomène étudié. C'est à l'issue de la résolution du problème 5 qu'un seul modèle a été retenu.

- Le maître veut faire prendre conscience aux élèves de la méthode mise en œuvre pour répondre aux questions 1 à 5

Le maître :	<i>Comment avons-nous fait pour répondre à ces questions ? ... Pierre-Henri ?</i>
Pierre-Henri :	<i>Dans la deuxième phrase par exemple, on a imaginé que dans l'eau il y a des molécules.</i>
Le maître :	<i>Oui tu donnes un exemple, on a imaginé que dans l'eau il y a des molécules, enfin c'est un peu mal dit ce que tu dis ; l'eau est formée de molécules.</i>
Jérôme :	<i>Dans certains cas on a fait des expériences.</i>
Le maître :	<i>On a fait des expériences ?</i>
Jérôme :	<i>Dans d'autres on a raisonné.</i>
Le maître :	<i>Explique dans quels cas on a fait des expériences.</i>
Jérôme :	<i>Dans : explique la disparition de l'eau dans un récipient.</i>
Le maître :	<i>Avons-nous fait des expériences pour répondre à cette question ?</i>
Jérôme :	<i>Non.</i>
Le maître :	<i>Il faut que ce soit bien clair ! Avons-nous fait des expériences pour répondre à cette question ?</i>
Des élèves :	<i>Oui ! ...Non !</i>
Le maître :	<i>Oui ou non, et on justifie la réponse.... Caroline ?</i>
Caroline :	<i>Oui.</i>
Le maître :	<i>Pourquoi ?</i>
Caroline :	<i>On a pris des poids et on a pesé la masse de l'eau.</i>
Le maître :	<i>Attention Caroline, tu n'as pas écouté ma question ; Est-ce qu'on a fait des expériences pour répondre à ces questions ? Est-ce que l'expérience dont tu viens de parler où l'on a pesé l'eau a été faite pour répondre à ces questions-là ?</i>
Jérôme :	<i>C'était pour savoir si ça disparaissait.</i>
Le maître :	<i>Ah bon ! je parle de ces questions aujourd'hui, est-ce qu'à une de ces phrases (il s'agit des questions Q1,...Q5) on a répondu par une expérience ?</i>
Des élèves :	<i>Non.</i>

Les expériences dont parle Jérôme sont celles qui ont permis de mettre le phénomène d'évaporation en évidence : les élèves ont pesé pendant quelques jours, toujours à la même heure des récipients de formes variées, fabriqués avec des substances différentes, qui contenaient initialement la même quantité de liquide.

Pour atteindre le but fixé à la séquence (mettre en évidence que la modélisation est une méthode de travail différente de l'expérimentation), il est nécessaire que tous les élèves soient convaincus que ce ne sont pas ces expériences qui ont permis de répondre à la question : que devient l'eau qui s'évapore ?

Claire-Marie : *Non , on a répondu avec des phrases, on n'a pas répondu avec des expériences.*

Le maître : *On a répondu avec des phrases ? Quelles sortes de phrases ?*

Un élève : *Des phrases qu'on a complétées avec des schémas .*

Le maître : *C'est tout à fait juste ce que tu dis ! Mais qu'est-ce que c'était comme sortes de phrases ?*

Cyril : *Des explications possibles.*

Le maître : *Des explications possibles ; des choses qu'on imagine comme dirait Pierre-Henri.*

Un élève : *Aussi des suppositions.*

Le maître : *Des suppositions ; donc à chacune de ces cinq questions on a répondu par des phrases, c'est juste, et ces phrases vous l'avez vu sont accrochées là au mur.*

Il existe donc des questions scientifiques auxquelles on répond non pas en expérimentant mais à l'aide de phrases qui sont "des explications" possibles.

- Les ensembles de phrases M1..... M4 définissent des modèles qui aident à répondre aux questions posées

Le maître : *Bon voilà un groupe de phrases, un ensemble de phrases qu'on peut aussi compléter par des schémas. Je n'ai pas mis les schémas au mur ; vous les avez dans votre classeur ; est-ce que quelqu'un peut nous relire un autre groupe de phrases permettant de répondre à une question? ... Caroline ?*

Caroline lit l'ensemble de phrases M3.

Le maître : *Voilà déjà deux groupes de phrases différents ; avant de relire les autres, je voudrais quand même vous dire une chose : ces ensembles de phrases ont un nom, un nom que vous ne connaissez peut-être pas ; un tel ensemble s'appelle un modèle (le mot est écrit au tableau). Caroline a lu un modèle.*

Après avoir introduit le mot modèle, le maître cherche à dégager la fonction explicative d'un modèle.

Le maître :	<i>Mais est-ce que chacun de ces modèles est la réponse à une de ces questions-là ? Je reprends la question du sucre : explique la dissolution du sucre dans l'eau ; est-ce que le modèle que quelqu'un a lu il y a quelques instants est la réponse à cette question ?.... Silence.</i>
Camille :	<i>Moi, je crois plutôt que c'est une réponse indirecte.</i>
Le maître :	<i>Pourquoi indirecte ? explique-toi.</i>
Camille :	<i>Parce qu'on ne répond pas tout à fait à la question ; on répond à une autre question.</i>
Pierre-Henri :	<i>On répond de quoi le sucre est fait.</i>
Claire-Marie :	<i>Mais on ne dit pas pourquoi, on n'explique pas.</i>
Claire :	<i>ces phrases nous aident à faire la réponse.</i>
Le maître :	<i>ces phrases nous aident à faire la réponse, c'est pourquoi nous avons été satisfaits. C'est vrai que cet ensemble de phrases, ce modèle nous permet de trouver la réponse, mais ce n'est pas la réponse ; ces phrases là nous permettent de répondre à la question.... Est-ce valable pour les autres aussi ?</i>
Un élève :	<i>Oui.</i>
Le maître :	<i>On prend le cas : explique pourquoi les jours et les nuits se succèdent. Est-ce qu'on a la réponse là haut ?</i>
Des élèves :	<i>Non.</i>
Le maître :	<i>Nicolas ?</i>
Nicolas :	<i>Non.</i>
Le maître :	<i>Mais quel est le modèle qui permet de répondre ? Tu nous relis les phrases ?</i>

Nicolas lit les phrases définissant le modèle M4. Le maître rappelle à ce moment que, lors de la résolution du problème 4, le groupe classe avait imaginé quatre modèles, et que trois de ces modèles avaient été éliminés au cours de la séquence ayant pour objet la résolution du problème 5.

Jusqu'à présent le groupe classe a dégagé deux idées importantes caractérisant la modélisation :

- on n'a pas répondu à certains problèmes (scientifiques) à l'aide d'expériences ;
- on peut répondre à ces problèmes en utilisant un (ou plusieurs) modèle(s). Un modèle n'est pas en lui-même la réponse au problème.

La prise de conscience d'un certain nombre de propriétés de ces modèles s'impose maintenant. Pour cette raison le maître tente de **rendre explicites les points communs des différents modèles** construits par le groupe classe.

Le maître :	<i>" Je voudrais maintenant que vous réfléchissiez aux points communs qu'il peut y avoir entre les quatre modèles " .</i>
-------------	---

Les élèves notent leurs réflexions sur une feuille.

• **Une même proposition peut appartenir à plusieurs modèles**

Pierre-Henri : *Les modèles 1 et 2 se ressemblent car tous les deux parlent de molécules.*

Le maître : *Est-ce juste ?*

Un élève : *Oui, le modèle 1 parle de molécules de sucre et le modèle 2 de molécules d'eau.*

Claire-Marie : *Mais le modèle 3 parle de particules ; on peut aussi dire que les modèles 1, 2, 3 parlent de particules.*

Le maître : *On est tout à fait d'accord, mais Pierre-Henri a dit que les deux premiers parlaient de molécules ; toi tu ajoutes que dans les trois premiers modèles on parle de particules.*

• **Un modèle présente un caractère hypothétique**

Nicolas : *Dans les quatre modèles on suppose quelque chose.*

Le maître : *C'est vrai, on suppose quelque chose, quel est le mot qui dit qu'on suppose ?*

Nicolas : *Peut-être.*

Le maître : *Il y a soit peut-être, soit ?*

Un élève : *On imagine.*

Le maître : *Donc ce sont toujours des suppositions comme tu dis.*

• **Un modèle représente un système**

Le maître : *... Mais puisque tu parles d'ensembles de phrases, relis donc le dernier, cet ensemble qu'est-ce qu'il décrit ? Il parle de quoi ? vous devez le savoir ; on en a parlé au planétarium.*

Un élève : *Le système solaire.*

Le maître : *Oui ces phrases décrivent le système solaire, mais est-ce qu'on ne pourrait pas dire que les trois autres modèles ne décrivent pas aussi une espèce de système ?*

Un élève : *Oui*

Le maître : *Ce serait quel système pour le premier ?*

Jérôme : *Le système du sucre*

Le maître : *Le deuxième ?*

Un élève : *Le système eau*

Le maître : *Et ici ?*

Un élève : *Le système électricité*

Le maître : *Ah non !*

Un élève : *Le système métal*

Le maître : *Métal, sucre, eau et système solaire ; donc on pourrait dire que chaque modèle décrit un système, voilà encore un point commun.*

Il est évident que des élèves de l'école élémentaire ne peuvent concevoir ce qu'est un système au sens du physicien (rappelons qu'un système est décrit par un ensemble de grandeurs physiques). Mais au delà des mots, il est important qu'ils saisissent qu'un **modèle représente une partie de la réalité** (un morceau de sucre, de l'eau contenue dans un récipient,...).

- **Des modèles semblables permettent de résoudre des problèmes différents**

Le maître : *N'y a-t-il pas deux modèles qui se ressemblent plus étroitement que d'autres parmi ces quatre là ?*
 Un élève : *Oui.*
 Pierre-Henri : *C'est le premier et le deuxième.*
 Le maître : *Pourquoi ?*
 Pierre-Henri : *Parce que ce sont des systèmes de molécules.*
 Le maître : *Oui ce sont des systèmes auxquels on a réfléchi à l'aide de molécules et ces molécules sont comment ?*
 Pierre-Henri : *Identiques.*
 Le maître : *Identiques pour chacun des deux systèmes.*
 Un élève : *Immobiles ou ...*
 Le maître : *Elles peuvent être immobiles, se déplacer et s'attirer, donc ce sont vraiment deux systèmes qui se ressemblent.*

- **Un même système peut être représenté par des modèles différents ou encore un même problème peut être résolu à l'aide de modèles différents**

Le maître attire l'attention des élèves sur la question Q4.
 Le maître : *Comment on a répondu à cette question ? Marie-Claire ?*
 Marie-Claire : *On a répondu en expliquant un système.*
 Claire : *On a donné quatre explications possibles.*
 Le maître : *Au lieu de dire quatre explications possibles ?*
 Un élève : *Quatre modèles.*
 Le maître : *Donc pour une question, on avait quatre modèles et parmi ces quatre modèles est-ce qu'il y en avait un qui était farfelu ?*
 Jérôme : *Non.*
 Le maître : *Oui, les quatre modèles permettaient de répondre à la question et c'est seulement pour répondre à une autre question qu'on en a abandonné certains, mais pour répondre à cette question nous avons trouvé quatre modèles.*

Le maître revient alors au point déjà développé en début de séance : la modélisation est une méthode de travail.

- Le maître : *Puisque tu parles de répondre, comment peut-on répondre à un problème en science ?*
- Claire-Marie : *On imagine un modèle.*
- Un élève : *Une maquette.*
- Pierre : *Des expériences.*
- Un élève : *Des schémas.*
- Le maître : *Oui mais ceux-ci font suite aux expériences.*
- Claire : *Se documenter.*
- Le maître : *Qui connaît encore une autre façon, par exemple quand on sort ?*
- Un élève : *On peut encore observer.*
- Le maître : *Donc on a trouvé une nouvelle façon de répondre à un problème en sciences : c'est d'imaginer un modèle.*

A ce moment-là (qui pourrait être la fin de la séquence), Pierre fait une remarque importante.

- Pierre : *Alors on imagine que dans le morceau de sucre il y a des molécules identiques ; on pourrait aussi dire qu'il y a des molécules qui ne s'attirent pas.*
- Le maître : *Je vois ce que tu veux dire ! Tu dis quelque chose d'intéressant ; tu veux dire qu'on pourrait imaginer à la limite n'importe quoi.*
- Pierre : *Oui.*
- Le maître : *Mais attention, est-ce que nous avons écrit n'importe quoi là ?*
- Un élève : *Non.*
- Le maître : *Je reviens toujours à l'astronomie, on a découvert que pour répondre à la cinquième question, on ne pouvait plus imaginer n'importe quoi... On avait quatre modèles pour commencer et tout à coup on a vu qu'on ne pouvait pas garder les quatre. Ceci veut bien dire qu'on ne peut pas imaginer n'importe quoi et pourquoi on n'a pas pu garder les quatre ? Claire ?*
- Claire : *On a posé une question et les quatre modèles étaient possibles et l'on a posé l'autre question et ils n'étaient plus possibles .*
- Le maître : *Oui.*
- Claire : *Et on a posé l'autre (question) et ils n'étaient plus possibles.*
- Le maître : *Pourquoi n'étaient-ils plus possibles ? Qu'est-ce qui nous a permis de les éliminer ?*
- Un élève : *On a fait des expériences (cet élève fait référence à des simulations à l'aide d'une maquette).*
- Le maître : *Oh non on n'a pas fait beaucoup d'expériences.*

.../...

.../...

Claire-Marie : *C'est l'histoire de Foucault, c'est lui qui a fait une expérience pour expliquer que la terre tournait .*

Le maître : *Là on est d'accord, cette expérience a permis d'en éliminer deux et pourquoi avons nous éliminé le troisième ? Avons-nous fait une expérience ? ...*

Claire-Marie : *Non, on a vu une photo et on a dit que l'axe (de la terre) était dirigé vers l'étoile polaire.*

Le maître : *Est-ce une expérience ?*

Un élève : *C'est une observation.*

Le maître : *Donc finalement on l'a éliminé grâce à quoi ?*

Un élève : *À une observation.*

Le maître : *Parce qu'on l'a comparé à une représentation de la réalité ; parce qu'il y en a qui correspondent à la réalité et d'autres qui ne correspondent pas à la réalité et dans ce cas qu'est-ce qu'on a fait ?*

Un élève : *On les a éliminés.*

De telles activités de structuration devraient aider les élèves à prendre conscience :

- de l'**idée de modèle** en tant que représentation d'une réalité qui fait problème. Le caractère hypothétique de cette représentation apparaît dans le langage (nous imaginons, nous supposons, ...).
- de la **modélisation** conçue comme une nouvelle méthode de travail impliquant à la fois la construction ou la mobilisation d'un modèle et son utilisation (on raisonne à partir des propositions fondant le modèle) pour établir la réponse au problème posé.
- de ce qu'un même système peut être représenté par plusieurs modèles. Un modèle peut être éliminé au cours d'une nouvelle activité de résolution de problème.

EN CONCLUSION

La construction des méthodes ne peut relever du hasard et il est vain d'espérer qu'elle puisse se faire sans séquences spécifiques. De telles séquences engagent nécessairement les élèves dans une réflexion portant sur les procédures qu'ils ont mises en œuvre dans différentes activités de résolution de problèmes (recherches de causes, recherches d'explication...). Elles demandent de prendre du recul par rapport aux activités particulières pour rechercher **les points communs** que présentent ces différentes procédures. Elles amènent les élèves à comparer des traces écrites (tableaux de comparaison, signifiants de modèles...) dont chacune décrit le chemin suivi qui a permis de trouver la réponse.

la construction de méthodes particulières

qu'il sera
nécessaire
d'articuler
ultérieurement

Elles mettent alors en évidence que pour certains problèmes, ce sont toujours les mêmes opérations de pensée qui permettent d'aboutir. De telles opérations définissent une méthode.

Nous n'avons envisagé ici que des méthodes particulières : la séparation des variables (l'expérimentation) et la modélisation. Une étape ultérieure serait de les articuler, tant il est vrai qu'une démarche de modélisation ne saurait être indépendante de l'expérimentation.

Jean-Claude GENZLING
Ecole Normale de Colmar

ÉLABORER L'IDÉE D'EXPÉRIENCE

Martine Szterenbarg

Comment sortir d'un enseignement de la biologie où l'essentiel du temps se passe de plus en plus souvent à justifier des connaissances scientifiques par la présentation d'« expériences-papier » sans que l'enseignant se soit assuré que les concepts méthodologiques d'hypothèse, de résultat ou de conclusion ont un sens pour les élèves ?

Ce texte propose deux progressions didactiques destinées à faire travailler ces concepts. Le principe en est commun : favoriser une réflexion au second degré des élèves sur une expérience qu'ils sont invités à concevoir et réaliser par eux-mêmes. Comment articuler la réflexion permettant la conceptualisation et la réalisation pratique de l'expérience sur laquelle elle s'appuie ? Les deux progressions présentées donnent des réponses différentes.

Après une présentation rapide de conceptions d'élèves de sixième sur ce qu'est une expérience scientifique, seront reliées ici deux modalités pédagogiques différentes empruntées à deux années consécutives ⁽¹⁾ en cours de biologie pour faire travailler les élèves sur ce concept. Le principe commun est le suivant :

- faire réaliser une expérience pour résoudre un problème scientifique, ce qui suppose d'imaginer et de sélectionner des hypothèses plausibles, d'élaborer un montage grandeur nature, d'être confronté aux aléas de la réalisation pratique ;
- prendre du recul par rapport à cette expérience : en anticipant par écrit ses étapes successives, en critiquant la procédure expérimentale projetée pour la remodeler et l'affiner avant de la réaliser, en utilisant des outils graphiques synoptiques.

Dans ce texte, l'accent sera mis sur ces phases de réflexion distanciée des élèves, en montrant comment les confrontations, l'écriture et le retravail contribuent à faciliter la structuration des idées et la conceptualisation.

Ce principe peut être généralisable, et non ses modalités d'application. Celles-ci sont en effet très variables, car s'inscrivant dans le fonctionnement de la classe dépendant des différents acteurs : élèves et enseignants, ensemble unique.

(1) Ce travail a été mené trois années consécutives avec sept classes de sixième d'un collège de banlieue, situé en « Zone d'Éducation Prioritaire », caractérisée par un fort taux d'échec scolaire.

1. UNE NÉCESSITÉ : TRAVAILLER SUR LES CONCEPTS MÉTHODOLOGIQUES CONCERNANT L'EXPÉRIMENTATION

Arrivée au collège... Sixième... Sciences expérimentales...
Expérimentales ?

1.1. Constat de départ : la méconnaissance des élèves sur ce qu'est une expérience scientifique

Si l'on demande, à ces élèves arrivant au collège, d'indiquer ce qu'est pour eux, une expérience scientifique, on recueille des formulations renvoyant à des images très différentes concernant le statut de la science et sa place dans l'école ; des représentations dont il nous faut tenir compte si l'on veut travailler sur différents concepts méthodologiques tels l'hypothèse, le résultat ou la conclusion, auxquels notre enseignement fait toujours référence sans qu'ils ne soient abordés en tant que tels.

pour les élèves le
domaine de la
biologie :
l'observation !

- Certaines de ces formulations d'enfants renvoient à une image des **sciences biologiques comme sciences d'observation**, correspondant à une conception ancienne. Peut-être cela est-il dû à des résidus de leur enseignement antérieur.

«Une expérience, c'est dessiner ce qu'on va faire ou ce qu'on fait ; c'est quand on regarde par exemple les muscles d'un animal» Souad.

«Une expérience, c'est regarder à l'aide de diapositives, de films, de photocopiés ; on n'utilise aucun objet.» Séverine.

«Pour moi, une expérience en science, c'est de regarder quelque chose et d'en apprendre quelque chose.» Aurore.

Ces représentations placent l'élève en situation de passivité par rapport aux apprentissages ultérieurs attendus par l'enseignant : science du regard et de la mémoire, et non science de l'expérimentation, de l'intervention sur le réel.

ou la recherche
de pointe

- Certains élèves nimbent l'expérience d'un halo de mystère qui la met hors de leur portée tout en la survalorisant : **domaine du savant, de la recherche médicale...**

«Pour moi, une expérience, c'est quelque chose de nouveau quelque chose d'important.» Lutfi.

«C'est comme si on était des savants, cherchant des réponses à des questions.» Pollen.

«Une expérience, c'est par exemple si je recherche une solution contre une maladie grave.» Neary.

De telles représentations éloignent l'expérience du possible scolaire, du champ d'investigation et d'apprentissage de ces élèves.

... ce qui peut
rendre l'élève
passif

Par ailleurs, elles semblent d'autant plus fortes que ces enfants sont issus de classe défavorisée, d'origine immigrée où la science conserve peut-être un statut social mythifié ; la science, solution de tous nos maux...

- Seuls certains perçoivent l'expérience comme à leur portée, **s'inscrivant, en quelque sorte, dans le projet de l'école et le travail en classe** : construire de la connaissance en intervenant sur un réel complexe pour le comprendre,

«Une expérience, c'est découvrir de nouvelles choses, car, à l'école, on peut faire une expérience.» Hallma.

«Une expérience est une chose qu'on imagine et qu'on vérifie si cette chose marche, et grâce à cela, on connaît beaucoup de choses.» Farah.

Dans ce cas, l'élève se place comme un acteur dans sa quête du savoir, quête prenant pleinement sa place à l'école.

Ceci n'est qu'une présentation succincte des représentations qui ont été recueillies auprès de soixante-dix élèves de sixième. Elle ne se prétend pas exhaustive.

Les regroupements sous lesquels elles sont présentées ici, sciences de l'observation, science du savant et science de la découverte possible à l'école, ne sont pas les seuls possibles. Ils nous ont semblés néanmoins intéressants, les deux premiers groupes de représentations montrant bien le **fossé qui peut exister entre les contenus spécifiques à notre discipline, son enseignement et les attentes qu'en ont les élèves.**

Ignorer ces représentations, de la part de l'enseignant, serait travailler avec un contrat didactique, fondé sur un malentendu, source d'erreurs, entre les projections des élèves quant à l'enseignement qu'ils vont recevoir en biologie au collège, et les objectifs que poursuit l'enseignant.

... et entraîner des malentendus entre élèves et enseignants

1.2. En tirer les conséquences

Un tel constat ne peut que renforcer la nécessité de faire travailler les élèves sur l'objet spécifique aux sciences expérimentales : **l'expérience** et les concepts qui la sous-tendent tels que l'hypothèse, la variable, le résultat...

être confronté à un problème scientifique

- Pour permettre la naissance d'une dynamique intellectuelle et modifier l'image que certains élèves ont de l'activité scientifique, il s'agit non seulement de leur demander d'analyser des expériences faites par d'autres, mais d'abord de privilégier leur activité propre en leur soumettant un problème biologique à résoudre.

- Enfin, il s'agit de provoquer chez eux, une **distanciation** susceptible de les amener à réfléchir sur la démarche qu'ils mettent en œuvre dans la résolution de ce problème.

Cette distanciation peut être obtenue par l'**anticipation** sous forme écrite de l'expérience à réaliser, ce qui permet de la percevoir comme un tout articulé logiquement.

se distancier

- Par ailleurs, en soumettant certains écrits au **regard critique de la classe**, les élèves peuvent comparer, confronter, échanger et discuter sur l'expérience. Ils peuvent ensuite **repren**dre leurs travaux, les corriger, les améliorer.

L'anticipation, la confrontation, les reprises successives des écrits, enrichis par ces phases réflexives, «où l'on se voit penser et dire l'expérience», peuvent être des procédés

didactiques permettant des apprentissages plus solides sur l'idée d'expérience que ceux obtenus en se «lançant» dans l'action, tentation immédiate des élèves.

C'est dans cette optique que différentes procédures pédagogiques peuvent être mises en place. En voici deux exemples.

2. ARTICULER RÉFLEXION PRÉALABLE ET RÉALISATION CONCRÈTE D'UNE EXPÉRIENCE POUR EN COMPRENDRE LE PRINCIPE

La première série de travaux que nous décrivons concerne des élèves ayant eu peu ou pas d'activité scientifique auparavant, comme c'est le cas malheureusement pour la plupart des élèves de sixième.

Les élèves sont donc particulièrement neufs en ce qui concerne l'expérience et les procédures qu'elle peut utiliser.

Pour les initier à ce type d'activité, il a semblé pertinent de mettre en œuvre le procédé décrit plus haut comme suit :

on leur propose de réaliser une expérience pour résoudre un problème qu'on leur soumet. Auparavant, on leur demande d'écrire un document préparatoire, prévoyant les étapes de l'expérience. Certains documents, sélectionnés par l'enseignant, sont projetés et soumis à la critique collective de la classe. Deux nouvelles versions successives de ce document préparatoire sont rédigées, avant leur utilisation effective pour la réalisation de l'expérience. Celle-ci, faisant surgir des problèmes inattendus, oblige à de nouveaux remaniements.

2.1. Sensibiliser les élèves à l'expérimentation et poser le problème à résoudre

Je leur avais projeté antérieurement un film portant sur «l'étude expérimentale du vol de la chauve-souris.»

être sensibilisé à l'expérimentation

L'analyse de cette expérimentation m'avait semblé correctement faite par les élèves : ils avaient bien distingué les objectifs poursuivis par l'expérimentateur lorsqu'il supprimait la possibilité d'utilisation de la vue ou de l'ouïe chez l'animal, ils avaient su indiquer les résultats obtenus et tirer les conclusions de ces expériences tout en ayant des difficultés quant à leur interprétation et il fallut leur donner des informations sur les ultrasons émis par la chauve-souris et captés par les oreilles. Les élèves me semblaient mûrs pour réaliser une expérience analogue.

A cette fin, **je pose à la classe un problème concret :**

«Avec quel(s) organe(s) des sens le lapin repère sa nourriture ?» Je leur spécifie qu'ils auront à réaliser des expériences pour trouver les réponses mais qu'avant de les réaliser, il s'agit de bien savoir ce que l'on va mettre en œuvre.

le problème biologique est posé

La première idée des élèves est d'aller chercher les lapins (nous avons un élevage au collège) et de regarder ; rappelons-le, les

sciences sont souvent pour eux sciences de l'observation (cf. paragraphe 1.1.). Ma tâche est de freiner le désir immédiat en leur demandant de réfléchir auparavant à ce qu'ils recherchent. La classe, peut-être influencée par la projection antérieure, sélectionne, pour répondre au problème posé, trois hypothèses : la vue, l'odorat et l'ouïe, comme sens impliqués dans ce repérage.

d'abord, émettre
des hypothèses
plausibles

On pourrait s'étonner de voir l'ouïe sélectionnée, je l'ai été moi-même ! Mais comme a dit Steeve, un élève de cette classe : *«oui, je garderai l'ouïe, comme hypothèse... Peut-être que c'est comme l'écreuil, il remue la noisette, et si il entend, c'est qu'elle est mûre !»*.

C'était donc pour lui, une hypothèse plausible et pas une simple recondiction mécanique de la situation présentée dans le film, liée à l'étonnement qu'ils avaient éprouvé à propos de l'utilisation de ce sens par la chauve-souris.

Quoiqu'il en soit, il m'a semblé plus intéressant de laisser ces trois hypothèses, au lieu des deux auxquelles on pourrait s'attendre : ceci obligeait les élèves à sortir d'un choix binaire et à bien comprendre qu'il était nécessaire d'isoler une variable pour pouvoir conclure.

puis créer des
documents
anticipatoires

Avant de se lancer dans l'expérimentation, il est utile de se faire une idée précise de la marche à suivre, donc d'émettre des hypothèses et de prévoir les actions nécessaires à la production d'éléments de réponses au problème posé.

C'est même là un des premiers éléments de situation qui amène les élèves à considérer l'ensemble d'une démarche d'expérience comme un tout visant un but : répondre à une question en articulant idées, raisonnement et intervention sur le réel. Cette vision d'ensemble permet aussi aux élèves d'accéder à une conception plus générale de ce qu'est une expérience.

Pour aider à la formation de ce raisonnement anticipatoire, je propose aux élèves de préparer, individuellement ou en groupe, un document qui permettra de présenter la marche à suivre et de noter les résultats.

Je ramasse donc ces écrits. Or ce sont, pour la plupart, des monographies sur le lapin ou son alimentation.

Ils illustrent bien la persistance de la méconnaissance de ce qu'est une expérimentation pour ces élèves de sixième, malgré les bonnes réponses données à propos du film sur la chauve-souris.

2.2. Une première séance d'élaboration

Loin d'écarter ces productions des plus imparfaites, j'en sélectionne plusieurs, représentatives des erreurs commises par la classe, qui étaient de trois types :

partir de ses
erreurs...

- incompréhension de la consigne donnée par méconnaissance de ce que représente une expérience scientifique, tel qu'en témoigne le document 1, ci-après ;
- consignation d'un résultat ou d'une conclusion, alors que l'expérimentation n'a pas eu lieu, comme dans le document 2 ;

- apparition de l'idée de protocole expérimental, mais sans que les variables, organes des sens en jeu, ne soient isolées comme on pourra le voir dans le document 3.

...pour apprendre grâce au regard de l'autre

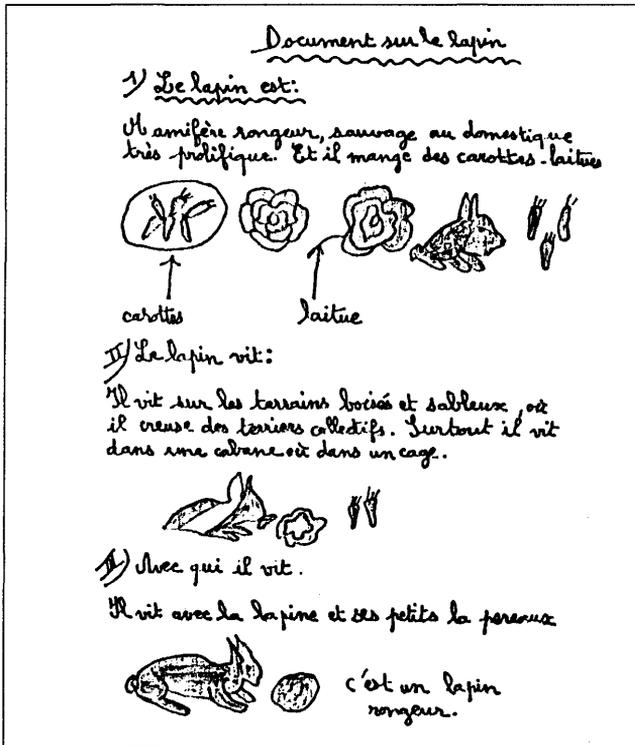
Je décide donc, après les avoir reproduits sur transparents, de les projeter à la classe et de les soumettre à sa critique, en débutant par le plus éloigné de la compréhension de la tâche (doc. 1) pour terminer par celui qui tente le plus de s'en approcher (doc. 3).

La discussion à propos de ces documents concernera l'ensemble des élèves qui y retrouveront quelque chose de semblable à ce qu'ils ont produit. Par ailleurs, elle pourra préciser et affiner le concept d'expérience au long des projections des documents en éliminant les erreurs les plus criantes du doc. 1 pour approcher l'idée de variable grâce au doc. 3.

• le document 1

trois écrits anticipatoires sont sélectionnés

Ce document porte bien son nom : «document sur le lapin» ; c'est, en réduction, une monographie sur cet animal, et seuls les dessins concernent le problème posé : l'alimentation. Par ailleurs, l'élève auteur de cet écrit ne semble pas concevoir que la classe puisse être un lieu où l'on puisse réaliser des expériences. (cf. 1.1).

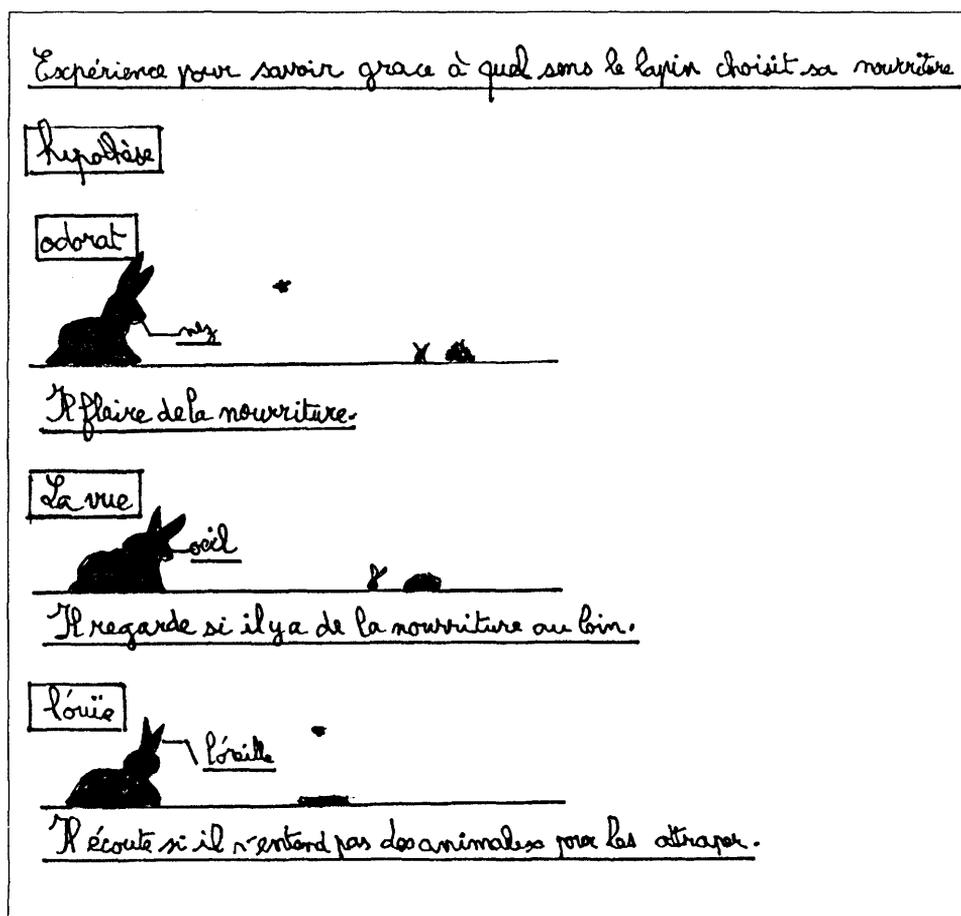


Document 1

• le document 2

Ce deuxième document projeté porte plus que le précédent sur l'objet du travail de la classe : les trois hypothèses à tester y figurent d'une certaine façon, mais les dessins semblent plutôt les concrétiser, comme si l'élève, par ces figurations, se les appropriait ; les légendes renforcent cette concrétisation en mettant l'accent sur la matérialisation des trois hypothèses par les organes des sens en jeu.

La phrase qui suit les dessins va aussi dans ce sens : verbalisation des situations plausibles ; l'ouïe ne pouvant être conçue que pour la défense de l'animal et non dans le choix de la nourriture, aucun aliment ne figure ici devant l'animal.



• le document 3

je cache	Expérience
	Je mets une feuille de laitue devant le lapin blanc, elle la mange. Je mets une carotte devant le lapin et j'attache ses yeux et je mets un crayon de couleur orange.
	Résultat
	Le lapin mange la carotte et laisse le crayon.
	Conclusion
	Le lapin a senti l'odeur du crayon et de la carotte.

Document 3

Là, l'élève a bien imaginé une procédure expérimentale dans le sens d'une intervention concrète sur une situation (cf. 1.1.). Après s'être assuré que le lapin mange, donc a faim (première phrase et première phase expérimentale), il envisage d'une part de lui présenter deux objets différant par l'odeur mais non par la couleur, et d'autre part, simultanément de supprimer la vue permettant la discrimination de ces deux objets. La chaîne logique semble embrouillée, certaines actions paraissant redondantes. Souhaite-t-il s'assurer que vraiment seul l'odorat peut intervenir ?

C'est la seule des trois hypothèses qui ait été envisagée. Est-ce la seule qui lui ait semblé plausible ?

Pour organiser la discussion collective de la classe

- les consignes du travail demandé ont été réécrites au tableau :

- fabriquer un document sur lequel on indiquera les expériences à réaliser, pour savoir avec quel(s) organe(s) le lapin repère sa nourriture ;
- sur ce document, il faut prévoir de la place pour indiquer les résultats des expériences une fois faites et la conclusion.

et soumis au regard des élèves de la classe

- les documents, reproduits sur transparents, sont projetés à la classe.

EXTRAITS DE LA DISCUSSION AUTOUR DU DOCUMENT N°1

<i>Professeur</i>	<i>Vous êtes professeur, vous voulez aider l'élève à améliorer son travail. Que lui direz-vous ?</i>
<i>Lynda</i>	<i>Ce n'est pas le travail demandé : on ne sait pas si elle veut parler de l'ouïe, de la vue... des expériences que vous avez demandées.</i>
<i>Mohamed Rabbah</i>	<i>On ne sait pas comment le lapin repère sa nourriture. Les dessins qu'elle fait expliquent mal comment le lapin fait pour repérer sa nourriture.</i>
<i>Stéphane</i>	<i>Les carottes, on dirait un petit chou.</i>
<i>Fabrice</i>	<i>Elle n'a pas fait d'expériences.</i>
<i>Steeve</i>	<i>Elle n'a pas compris ce que vous aviez demandé. Vous n'avez pas demandé ce qu'il mangeait, mais comment il repérait.</i>
<i>Fatima</i>	<i>Vous n'avez pas demandé où il vit.</i>
<i>Brahim</i>	<i>Vous avez demandé comment il repère.</i>
<i>Alain</i>	<i>Vous avez demandé comment il repérait sa nourriture, le document donne d'autres renseignements.</i>
<i>Frantz-Wildad</i>	<i>Elle a marqué des choses, oui, mais elle n'a pas compris, écouté ce que vous avez demandé.</i>
<i>Mourat</i>	<i>Dans l'expérience, on ne sait pas si il voit, si il sent, ou si il entend.</i>

qui les critiquent
oralement

Outre quelques remarques d'ordre général ou formel formulées par Stéphane et Frantz-Wildad, la plupart des interventions des enfants portent sur la non-adéquation du document produit à la consigne donnée : il ne s'agit pas d'expériences (2 remarques) et cela ne concerne pas le repérage (5 remarques). Seuls deux intervenants, Lynda et Mourat, mettent l'accent en les rappelant, sur les hypothèses choisies et à traiter.

Je passe alors à la projection du document n° 2 et la discussion de la classe reprend.

De cette discussion sont extraites ici les phrases exprimant une idée nouvelle ou complémentaire des formulations de la discussion précédente. Pour avoir une indication sur leur proportion par rapport à l'ensemble des remarques des élèves, on pourra se reporter au tableau du paragraphe 2.5. Il en sera de même pour toutes les discussions ultérieures.

- *Il n'a pas inventé d'expériences, mais il a fait des schémas, des hypothèses.*
- *Madame, vous n'avez pas demandé comment il fait pour repérer les animaux qui vont l'attaquer.*
- *Dans les schémas, il a écrit, marqué l'ouïe, la vue, l'odorat mais il n'a pas montré comment le lapin ferait pour repérer sa nourriture.*
- *On voit que dans la première il marque «il sent», mais il ne lui a pas caché les oreilles, les yeux ne sont pas bandés.*
Dans toutes le lapin peut voir, entendre, sentir.

Dans ces interventions, on peut noter que, maintenant, la tâche des élèves semble mieux appréhendée, certains énonçant le statut que doit avoir l'expérience : il s'agit de l'inventer, de traiter les hypothèses sélectionnées, et, pour les traiter correctement, il faut les isoler.

Dernière discussion de cette première séance, avec la projection du document 3.

Le fait que, dans ce dernier document présenté à cette séance, figurent un résultat et une conclusion écrite, alors que l'expérience n'a pas encore été réalisée, va permettre aux élèves de clarifier leur compréhension de ces deux concepts.

- Avec ce document, on sait avec quel organe le lapin repère sa nourriture. Le document donne la réponse.
- Le sujet est mélangé. C'est moins clair que les autres feuilles. Il met résultat, conclusion...
- A la conclusion, il parle d'odeurs.
- Conclusion, c'est dire quelque chose qu'on a écrit ?
- Moi je pense que cela ne montre pas tous les organes, tout ce qui est demandé.
- Cela ne montre que l'odorat.
- Cela montre seulement certaines expériences, mais pas tout.

Les élèves abordent ici des questions concernant le statut du résultat et de la conclusion (on ne peut pas connaître un résultat ni en tirer une conclusion avant d'avoir fait l'expérience) et la nécessité de prendre en compte chacune des trois hypothèses sélectionnées.

des acquis...

Si l'on essaie de suivre, au fil de cette séance, les points abordés concernant l'expérimentation, **on peut s'apercevoir que petit à petit, les élèves passent du problème posé (le repérage), à la notion d'expérience qui peut permettre de tester des hypothèses (surtout dans la discussion 1) ; ils abordent ensuite la nécessité d'isoler les variables pour tester ces hypothèses (discussion 2), pour pouvoir obtenir un résultat et tirer une conclusion qui réponde au problème posé (discussion 3).**

... mais le sont-ils bien pour tous ?

Néanmoins, même s'il y avait eu verbalisation des caractéristiques de l'expérimentation par certains élèves, il m'était nécessaire de savoir si elles étaient reprises par l'ensemble des élèves de la classe.

Aussi, après cette première séance d'élaboration, je leur demande de reprendre en groupe leurs travaux, de les corriger, de les améliorer en se servant des critiques émises à propos des documents projetés.

A nouveau, je ramasse ces deuxièmes moutures anticipatoires de l'expérience à réaliser.

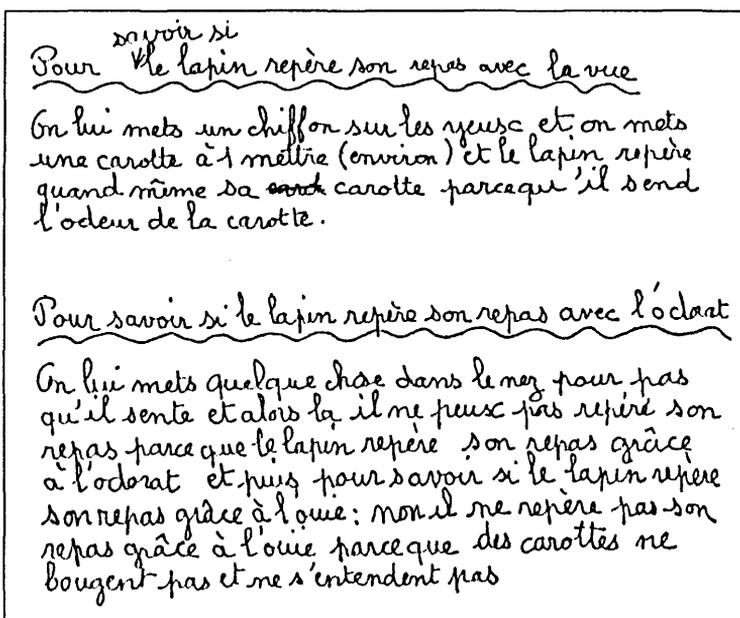
2.3. Affiner la compréhension et les apprentissages grâce au retravail écrit, au regard critique et distancié des élèves sur ces deuxièmes productions anticipatoires

des erreurs
subsistent dans
ces 2^{èmes}
documents

Dans ces deuxièmes moutures, la plupart des élèves ont bien prévu la réalisation de montages expérimentaux.

Néanmoins, il subsiste des erreurs dans la plupart des documents. Le statut de l'expérience est souvent en cause : même si l'on a des idées, des attentes ou des convictions, on ne peut préjuger du résultat ou de la conclusion d'une expérience non réalisée. Seule cette dernière, une fois faite, peut permettre de confirmer ou d'infirmer ces convictions.

Le document 4 est donc projeté pour clarifier ces points.



Document 4

elles permettent
de clarifier aux
yeux de tous...

Les auteurs de ce document, qui la première fois avaient présenté des documents de type monographique (semblables au premier document projeté à la séance précédente), ont intégré la nécessité de l'intervention de l'expérimentateur, pour séparer les variables.

Néanmoins ils n'ont sélectionné que deux hypothèses sur les trois demandées, éliminant l'ouïe qui leur semble une hypothèse aberrante : «les carottes ne bougent pas et ne s'entendent pas». Aucune place n'est prévue pour noter le résultat et la conclusion, une fois l'expérience faite, comme la consigne de ce deuxième travail le spécifiait ; en effet ceux-ci sont déjà indiqués alors qu'aucune expérience n'a eu lieu.

ce qu'est un
résultat, une
conclusion

La discussion qui accompagne la projection du document reprend les concepts abordés à la séance précédente en les explicitant et en clarifiant le raisonnement et la procédure à mettre en œuvre lors de la réalisation d'une expérimentation : prévoir une expérience pour chacune des hypothèses envisagées, même si l'une d'entre elles semble peu plausible ; ne pouvoir obtenir des résultats et en tirer des conclusions que lorsque l'expérience a eu lieu.

- Dans la première, elle dit ce qu'elle va faire, puis elle dit le résultat.
- Ils ont bien marqué les hypothèses, bien souligné les énoncés mais ils ont oublié de prévoir les expériences.
- Il ne faut pas mettre la conclusion avant l'hypothèse ; ne pas écrire la conclusion avant d'avoir fait l'expérience.
- Elle n'a pas fait toutes les expériences demandées, elle a fait l'expérience pour la vue et pour l'odorat, sans les prévoir.
Elle n'a rien prévu pour l'ouïe.

Quelques erreurs, dans ces deuxièmes documents anticipatoires de classe, concernaient la chaîne logique du raisonnement. Même s'ils étaient minoritaires, il me semblait utile de présenter à toute la classe un de ces documents, pour corriger ces erreurs de raisonnement.

Ce fut fait par l'intermédiaire du document 5.

document: indiquer les expériences à faire avec hypothèses
- vue, odorat, ouïe

Dalida: dit que c'est grâce à l'ouïe qu'il repère sa nourriture.

Virginie: dit que c'est grâce à l'odorat et à la vue, mais surtout grâce à l'odorat.

Johice: dit pareil que Virginie.

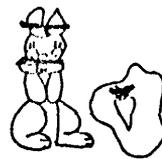
1^{er}) expérience



Je bouche et je bande
ses yeux et je
cache une carotte



Je bande et je
bouche le nez
et je cache
la carotte



Je bouche le nez et
bouche les oreilles
et je cache la
carotte.

ou bien de
démêler
la chaîne logique
du raisonnement
à tenir...

pour isoler une
variable

Avant de présenter les expériences envisagées sous forme de dessins, le groupe qui a rédigé ce document a ressenti le besoin d'énoncer les différentes «convictions-conclusions» de ses membres. Les expériences viennent après, comme moyen de départager les différents avis.

Les résultats et conclusions ne sont pas indiqués, le rôle de l'expérience étant bien de pouvoir trancher entre les différents avis, par les résultats qu'elle permettra d'obtenir et les conclusions qu'ils pourront en tirer.

Néanmoins, la chaîne logique de raisonnement est parfois confuse : certaines actions sont redondantes : cacher la carotte et bander les yeux, ou bien s'annulent : seuls les yeux de l'animal sont disponibles dans la dernière expérience envisagée alors que l'aliment est caché.

C'est sur ces points que vont porter, en classe entière, mes questions. Elles vont permettre aux élèves du groupe de revenir sur leurs erreurs de pensée, et de corriger leur procédure.

Prof Oreilles bouchées, cacher les yeux, cacher la carotte...!
Virginie Quand je disais les yeux bandés et la carotte cachée, ce n'était pas la peine.
Prof Et s'il n'avait pas les yeux bandés, est-ce que ce serait utile ?
Virginie Oui, alors ça ferait le même résultat !

revoir une
dernière fois sa
procédure
expérimentale

et les
raisonnements qui
la sous-tendent

Séance suivante, derniers moments avant l'expérimentation... Les élèves, une dernière fois, confrontent leurs raisonnements, explicitent en groupe leurs démarches, mettent au point les dernières retouches.

Dans l'extrait suivant de conversation d'un groupe d'élèves retravaillant leur document anticipatoire, la chaîne logique du raisonnement nécessaire pour réaliser une expérience correcte est maintenant construite : **on voit apparaître certains connecteurs logiques** quasiment absents dans la première phase du travail - ils sont soulignés intentionnellement dans cet extrait. Ils témoignent de l'avancée des élèves dans la construction et la compréhension de ce que représente, du point de vue scientifique, une hypothèse, un résultat... dans une expérience.

Alain Là, on prend l'odorat...
Alors on lui cache les yeux et les oreilles...
Murat Pour qu'il sente.
Rabbah Alors, on a dessiné un lapin, on lui a caché les oreilles et on lui a caché les yeux donc il reste l'odorat.
Alain On voit qu'il peut sentir... On ne sait pas. Maintenant, on va faire la vue
Murat On va lui boucher le nez et bander les yeux...
Zakaria Après on voit si...
Alain Pas les yeux, puisque c'est la vue.
Murat Ah ! oui, le nez et puis les oreilles, pour ne pas qu'il sente et pour ne pas qu'il écoute.
Alain ... Et donc pour savoir s'il voit la carotte qui est devant lui.
[...]
Rabbah Non, alors conclusion...
Alain Conclusion : on ne sait pas ce qui va se passer puisque on n'a pas fait encore l'expérience !

2.4. Éprouver la pertinence de son raisonnement et de son anticipation en passant «aux actes»

enfin ! On va réaliser l'expérience projetée

Enfin, jour J pour les enfants !

On va chercher les lapins ; nous avons un élevage au collège. Chaque groupe a apporté son matériel, sait ce qu'il recherche, ce qu'il va mettre en œuvre, ce qu'il pourra en apprendre.

Hélas ! Le lapin ne tolère pas de bandeau sur les yeux !

Comment faire ? Le passage à la réalité oblige à revoir la procédure, tout en gardant son sens.

mais la réalité résiste !

Quelques élèves pensent à intervenir sur l'aliment présenté plutôt que sur le lapin puisqu'il ne se laisse pas faire. L'idée fait vite le tour des différents groupes, et les élèves relèvent bientôt les résultats expérimentaux.

La confrontation à la situation concrète et l'impossibilité dans laquelle se trouvaient les élèves de réaliser le protocole expérimental qu'ils avaient envisagé, les a obligé à **trouver des équivalents logiques à leurs actions.**

Peut-être la discussion ayant eu lieu à propos du document 5, (dans laquelle Virginie signalait que cacher la carotte ou bander les yeux du lapin revenait au même), les y a-t-elle aidés. Quoiqu'il en soit, le passage à la réalité a renforcé, de ce fait, **la compréhension de la chaîne logique du raisonnement à tenir.**

et cela renforce les apprentissages

Les compte-rendus des expériences réalisées sont ensuite rédigés à partir des derniers documents anticipatoires.

Ainsi, Zakaria, un élève du groupe dont la discussion a été reprise au paragraphe précédent, et qui y semblait particulièrement passif, a intégré de nombreux connecteurs logiques dans son compte-rendu qui forme un tout structuré logiquement et qui témoigne de la rigueur du raisonnement tenu, comme on pourra le voir dans ce court extrait.

On a bouchées les oreilles du lapin pour qu'il n'entende pas la nourriture
 - Et comme on ne pouvait pas bander les yeux du lapin la nourriture a été enveloppée par une serviette blanche pour qu'il ne voit pas la nourriture.
 - Conclusion à la fin de la première expérience le lapin a fini par trouver la nourriture. Je pense qu'après cela restant le lapin se dirige avec l'odorat

Document 6

ultérieurement faire des reprises

Ces phases de construction de l'idée d'expérience ont été reprises, réinvesties ultérieurement dans l'année, et ce, à plusieurs reprises à propos de l'analyse et la compréhension d'expériences présentées sur d'autres sujets d'étude tels la respiration ou la nutrition des plantes.

2.5. Quelles avancées des élèves ? Éléments d'analyse et d'évaluation

- Évolution des productions écrites

des écrits...

Outre les remarques formulées lors de la présentation des différentes phases du travail des élèves, quant à l'évolution de leurs raisonnements (par exemple sur l'expression de liens logiques d'ordre déductif), on peut essayer d'appréhender les progrès des enfants en comparant les erreurs commises dans les premières puis les secondes moutures des documents anticipatoires qui ont fait l'objet de réflexions critiques de la classe ; ces documents étaient en effet assez représentatifs de ceux de l'ensemble de la classe.

	Documents				
	1	2	3	4	5
	1 ^{ères} moutures			2 ^{èmes} moutures	
Dans les productions écrites, erreurs commises (ou absence de prise en compte) en ce qui concerne :					
le repérage	X				
la notion d'expérience.....	X	X			
les hypothèses à tester	X		X		
la nécessité d'isoler les variables	X	X			
le plan expérimental	X	X	X	X	
le résultat expérimental	X	X	X	X	
la conclusion d'une expérience.....	X	X	X	X	
la chaîne logique du raisonnement.....	X				X

...qui permettent de suivre l'évolution des apprentissages

La critique de plus en plus fine des élèves de la classe oblige chacun à expliciter pour autrui ses conceptions, à prendre du recul par rapport à ses idées. Ce regard distancié qu'ont alors les enfants sur leurs productions permet des avancées significatives dans les écrits et les concepts qui les sous-tendent.

- La nature des interventions verbales des élèves

... et font l'objet des réflexions des élèves

Elle a, elle aussi, évolué dans cette classe de sixième ; les interventions portant sur la forme du document produit diminuent au profit de celles concernant des concepts précis de la notion d'expérience ou la rigueur du raisonnement, comme le tableau suivant permet de le percevoir.

Ce tableau reprend l'intégralité des interventions orales des enfants dans les discussions dont les extraits cités plus haut avaient été tirés. Chaque barre verticale représente une intervention d'enfant.

Interventions des enfants portant sur :	à propos des documents					
	1	2	3	4	5	6
	1 ^{re} moutures			2 ^{es} moutures		3 ^{es} moutures
la consigne non comprise	■	■				
le repérage	■					
la notion d'expérience						■
les hypothèses à tester	■	■			■	■
la nécessité d'isoler la variable				■		■
le plan expérimental			■	■		■
le résultat expérimental					■	■
la conclusion d'une expérience			■	■		■
la logique du raisonnement		■			■	■

les paroles influencent à leur tour les écrits

Les interventions et les productions écrites des élèves suivent des évolutions semblables.

Elles sont reliées de façon dialectique : ce sont les interventions verbales qui permettent l'évolution des productions écrites, et ces interventions ne sont elles-mêmes possibles que grâce aux productions écrites.

Donc, **grâce à la création d'outils graphiques** anticipatoires de l'action à réaliser, leurs remodelages successifs pour aboutir à la rédaction d'un compte-rendu, **la rigueur du raisonnement se met en place progressivement**, presque sur le papier, pourrait-on dire, et les élèves ont pu passer du stade informel des débuts, à un stade beaucoup plus élaboré pour la plupart d'entre eux, des concepts d'expérience, d'hypothèse, de variable, de résultat, de conclusion, **grâce à l'organisation de moments «où l'on se voit penser», et où l'erreur peut devenir tremplin d'une construction collective de savoir.**

Par ailleurs, tout en percevant bien l'aspect limité des expérimentations réalisées par les élèves, (peut-on généraliser en ne partant que d'une dizaine d'essais avec trois lapins différents ? ⁽²⁾), **tout ce travail a enchanté les élèves.**

Son aspect bénéfique s'est ressenti tout au long de l'année, que ce soit en ce qui concerne **leur curiosité, leur questionnement ou leur avidité à faire des expériences pour trouver des réponses et comprendre.**

Il faut signaler néanmoins des avancées inégales des élèves dans leurs acquisitions et leur maîtrise des concepts concer-

un bilan positif pour le travail en classe

(2) Cette question ne me semblait pas pouvoir être abordée à ce moment par la classe.

bien qu'inégal
quant à la
maîtrise des
concepts

nant l'expérience. Une phase de régression a été observée lors d'un réinvestissement ultérieur dans un travail sur une expérience relatée, non réalisée par eux-mêmes.

Doit-on y voir une difficulté à saisir toute la complexité de la situation expérimentale pour des élèves de sixième ? Est-ce lié aux difficultés que ces élèves (définis pour la plupart comme étant en échec scolaire) éprouvent face à l'écrit dont ils se sentent exclus et qui les rebute ?

Quelles qu'en soient les raisons exactes, cela met en évidence la nécessité d'une **pédagogie de reprise**, qui ne considère pas qu'une fois travaillés, les concepts sont acquis ; la nécessité aussi d'**articuler le travail sur l'écrit avec la réalisation concrète de l'expérimentation**, sans penser qu'il s'agit d'une perte de temps mais en la concevant plutôt comme une étape utile permettant aux élèves d'accéder à l'abstraction des situations expérimentales écrites.

3. UNE AUTRE PROGRESSION : TRAVAILLER D'ABORD DIFFÉRENTES FORMES GRAPHIQUES POUR COMPRENDRE L'ORGANISATION D'UNE EXPÉRIENCE

autre année, ...

Cette année-là, la classe de sixième intégrait de nombreux élèves venant de classe non-francophone : enfants ayant peu été scolarisés dans leur pays d'origine et maîtrisant peu la langue française. Ces données ne doivent pas être perdues de vue pour lire le travail qui suit. La procédure mise en place vise les mêmes objectifs que précédemment :

autres élèves, ...

- acquisition et maîtrise de la notion d'expérience
 - capacité à concevoir et réaliser une expérience pour répondre à un problème donné
 - capacité à théoriser ses apprentissages
- le tout, par distanciation vis-à-vis de son travail, de ses écrits, en les remodelant, les modifiant pour les améliorer en même temps que ses idées.

Pour répondre à deux préoccupations,

- la difficulté de ces élèves, présentée plus haut,
- le fait que dans la procédure précédente j'avais observé une phase de recul dans les acquis concernant les concepts de l'expérience lors d'un réinvestissement (peut-être pouvait-on réduire cette régression apparente ?),

autre procédure
pédagogique à
mettre en œuvre

je décidai, cette année-là et avec ces élèves, de faire précéder la phase de conception et de réalisation d'une expérience par une **phase d'analyse plus poussée de l'expérience** présentée dans le film sur la chauve-souris. Par ailleurs, je systématisai les **formulations écrites des concepts de l'expérience** après l'expérimentation, pour renforcer les apprentissages chez ces élèves en difficulté.

Ce sont donc **ces deux nouvelles étapes** qui seront plus détaillées ci-après, celle portant sur la réalisation de l'expérience s'étant déroulée selon les mêmes modalités que lors de la progression précédente, bien que plus rapidement.

Je tiens en outre à signaler que les séquences se sont tenues en demi-groupe, moyens octroyés par l'établissement pour répondre aux difficultés des élèves.

3.1. Apparition du problème scientifique et des expériences à analyser

Après un rappel sur nos organes des sens, je pose, a priori, le problème suivant : *«Quels sont les organes des sens que la chauve-souris utilise pour se diriger la nuit ?»*

Les idées de la classe sont notées : yeux pour la vue, museau pour l'odorat et oreilles pour l'ouïe.

Un nouveau problème se pose alors : comment départager les différents avis : l'un suggère de lire des documents, un autre de faire des expériences et un troisième enfin d'observer la chauve-souris.

On va chercher l'animal empaillé, et certains élèves mettent en doute l'utilisation des yeux pour se diriger, étonnés par leur petitesse.

Je propose de regarder un film présentant des expériences réalisées avec cet animal et parallèlement leur est distribué un questionnaire pour en faire l'analyse, comme dans la première progression.

Comme précédemment, les élèves y répondent correctement, mais la discussion, lors de la correction, fait bientôt ressortir que les notions d'hypothèses testées par l'expérimentateur, des résultats qu'il obtient et des conclusions qu'il faut en tirer, semblent des plus confuses !

3.2. Analyser une expérience à l'aide de différents outils graphiques

Je distribue en fin de séance, **un premier outil graphique (un tableau)**, que les élèves doivent remplir en utilisant les données du film et du questionnaire. La consigne spécifique qu'il s'agit d'inventer une manière adéquate pour le remplir et d'utiliser des codes.

Une grande inventivité quant aux codes créés apparaît bientôt dans les tableaux, dont les deux suivants rendent peu compte.

l'expérience : un moyen de départager les avis

n° expérience	hypothèses		résultat	conclusion
	vue	ouïe		
Christina 1	/	/	+	// avec oo ?
2	· /	/	+	(P) vol pas oo
3	/	· /	-	sans P (P)

oo vue
? ouïe

les codes
/ non caché
· / oui //

+ se dirige bien
- se dirige mal

// il vole bien
(P) il vole mal.

Document 7

n° expérience	hypothèses	testés	Résultat	conclusion
Hayet 1	—	—	+	elle vole bien
2	∩	∩	=	se cogne un peu
3	—	∩	—	vole mal

— : porte rien ; ∩ : elle porte quelque chose
+ : elle vole bien = : vole pas très bien - vole mal

Document 8

voir sur écran sa production...

Plusieurs de ces tableaux, choisis pour leur diversité, l'explicitation présente ou non de codes de lecture, les erreurs commises notamment dans la confusion qui existe entre résultat et conclusion, ont été reproduits sur transparent.

Ils sont projetés au groupe et chaque auteur présente et explicite son travail aux autres.

C'est souvent l'occasion pour cet auteur de s'apercevoir de ses erreurs, comme si la projection, agrandissant et permettant le regard critique des autres élèves, agissait comme révélateur.

...permet d'en percevoir les imperfections et de s'autocorriger

Ainsi, Hayet allant présenter son tableau, le corrige ainsi ; en s'exclamant « je me suis trompée, pour la deuxième expérience, j'avais mélangé... j'avais oublié qu'elle (la chauve souris) ne portait qu'un bandeau sur les yeux, et qu'elle volait bien. »

n° expérience	hypothèses	testés	Résultat	conclusion
Hayet 1	—	—	+	elle vole bien
2	∩	∩	= +	se cogne un peu
3	—	∩	—	vole mal

— : porte rien ; ∩ : elle porte quelque chose
+ : elle vole bien = : vole pas très bien - vole mal

Document 9

voir d'autres productions d'élèves...

...en faire la critique...

... change le statut de l'erreur

Durant ce temps, les autres élèves ne doivent pas interrompre le présentateur, même s'ils sont en désaccord avec lui.

Ils repèrent puis notent par écrit, ce qu'ils trouvent bien, intéressant dans le travail projeté et parallèlement ce qui ne va pas, ce qu'il faudrait changer.

Ce n'est qu'une fois leurs remarques écrites qu'ils peuvent oralement les retourner à l'élève qui présentait son travail pour qu'il l'améliore.

C'est alors l'occasion de clarifications et, aidée par les remarques de Christina, Hayet peut mieux faire la distinction entre résultat et conclusion.

En contre-partie, Christina qui utilisait des codes très créatifs mais un peu complexes aux dires des autres, se servira du travail d'Hayet pour les simplifier.

Cette phase du travail a permis un **enrichissement des modes d'utilisation graphique d'un tableau, un entraînement à sa lecture**, tout en amorçant une construction des concepts d'hypothèse, de résultat et de conclusion.

Par ailleurs, elle a permis de **sortir de la problématique souvent préjudiciable du «tout bon» ou du «tout faux», qui fait que les élèves rejettent d'un bloc leur travail au lieu de le reprendre, de le transformer en corrigeant ce qui doit être amélioré.**

feuille
de
critique
de
Christina

Tableau appartenant à	Ce qui est bien, ce que me donne des idées pour améliorer mon travail	Ce qui ne va pas, ce qu'il faudrait changer.
Véronique	La conclusion est assez bien.	C'est se t-et- qui ne va pas, dans sa légende elle a mis t-ven se dire bien; elle aurait dû mettre t-mon ca chée.
Fabrice		Il a fait 2 tableaux 1 tableau pour la conclusion; il faudrait lire le 2 ^{ème} . On pourrait enlever le 1 ^{er} .
Fatima	t-et- sont les deux signes compréhensibles	Trop compliqué. Il faudrait que la légende soit moins écrite
Hayet	Le code est bien.	Elle est trompé. Pour la conclusion c'est un peu Résultats
Hardim		Conclusion trop d'écriture. seulement 3 code.
Christina		Il y a beaucoup de signes donc légende trop longue

et incite au
retravail

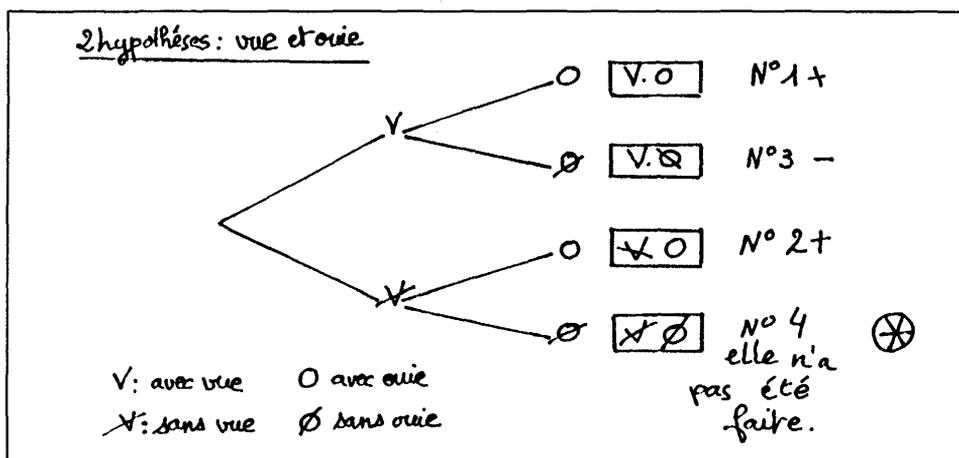
Chacun, a donc pour tâche, d'intégrer les remarques de l'ensemble de la classe, d'utiliser ce qu'il a trouvé intéressant dans les travaux projetés **pour reprendre son tableau et l'améliorer**.

Ces tableaux améliorés présentent une simplification du mode de remplissage et des codes. Cela a permis de dégager l'essence de la signification de l'intitulé des colonnes : hypothèse, résultat conclusion qui, peut-être, se noyait dans la riche diversité graphique utilisée.

un autre outil
graphique

Pour renforcer les apprentissages sur les concepts de l'expérience, **un autre outil graphique est proposé : un schéma en arbre**.

Chacun s'essaye à le remplir, et doit indiquer le numéro de l'expérience du film au bout de chaque branche.



Document 11

pour réinvestir et
transférer

Cela suppose deux types de compétences : compétence de lecture et compétence de transfert : donner du sens à une forme graphique nouvelle et à des codes imposés en les référant à ce qui a été vu dans un film et à ce qui a déjà été travaillé à travers un autre graphisme.

La branche de l'arbre comportant un astérisque pose problème aux élèves : « nous n'avons pas vu quatre expériences, quel serait son intérêt ? »

...la
compréhension
des concepts de
l'expérience

Apparaît alors, dans la discussion qui s'instaure, la possibilité d'une autre hypothèse, d'un autre sens qui n'aurait pas été testé et qui pourrait intervenir avec l'ouïe dans la perception des obstacles par la chauve-souris ; sens nécessaire mais non suffisant. Seule cette expérience non faite permettrait d'affirmer que l'ouïe est responsable du bon déplacement de l'animal, la nuit.

Ainsi est posée la question de la sélection des hypothèses de départ et celle du plan expérimental.

3.3. Réaliser une expérience : une tâche déjà bien déblayée

Après ces quatre séquences, la classe ouvre un «dossier d'étude» intitulé : «avec quels organes des sens le lapin choisit sa nourriture, expérience que nous réalisons.»

- Phase préparatoire

face au problème

Il n'y a alors pas comme l'année précédente d'incompréhension sur le sens du travail à faire (il s'agit de faire une expérience en classe), comme si la phase précédente avait clarifié l'objet du cours de biologie.

Les élèves débattent des hypothèses plausibles et n'en retiennent que deux : l'odorat et la vue.

anticiper individuellement son action

Ils doivent alors faire un **document anticipatoire** qui présente l'expérience envisagée et laisse de la place pour pouvoir noter les résultats et la conclusion.

Et là, aucune recherche documentaire, mais la réutilisation de tableaux et le réinvestissement des codes mis au point dans la première phase du travail sur l'expérience.

mais se mettre d'accord avec d'autres

Ces documents sont le résultat d'un travail individuel le plus souvent réalisé à la maison, aussi, de retour en classe, **les élèves d'un même groupe doivent-ils les confronter et se mettre d'accord sur une production collective.**

En regardant de près la production d'Hayet, élève d'un niveau moyen, on peut suivre les étapes de sa pensée et de son travail.

<p>En 1^{er} on laisse la carotte devant le lapin En 2^e on cache la carotte pour savoir si c'est avec la vue ou l'odorat qu'il trouve la nourriture En 3^e on enlève l'odeur de la carotte mais seulement si il on faim</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>n°</th> <th>Vue</th> <th>l'odorat</th> <th>Résultats</th> <th>Conclusion</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>+</td> <td>+</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>∩</td> <td>+</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>+</td> <td>∩</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					n°	Vue	l'odorat	Résultats	Conclusion	1	+	+			2	∩	+			3	+	∩			<p>TRAVAIL INDIVIDUEL D'HAYET</p>
n°	Vue	l'odorat	Résultats	Conclusion																					
1	+	+																							
2	∩	+																							
3	+	∩																							
					<p>TRAVAIL DU GROUPE : AJOUT</p>																				

Dans la première étape individuelle, Hayet a semble-t-il réutilisé le cadre du tableau mis au point pour traiter un autre problème (chauve-souris), ainsi que ses symboles.

Néanmoins, celui-ci n'est pas une simple copie du tableau antérieur. Elle a spécifié en effet au dessus le sens de la première expérience qu'elle a prévue : savoir si le lapin a faim.

des dessins
permettant de
concrétiser
l'expérience
projetée

Dans une deuxième étape, les membres du groupe ont ajouté des dessins sous le tableau. Ceci a permis de concrétiser la réalisation des expériences prévues, les aspects figuratifs des dessins permettant aux élèves de visualiser les aspects matériels à mettre en œuvre. Ceci s'est retrouvé dans les productions de plusieurs groupes.

Il n'y a qu'un groupe qui ait envisagé de faire une expérience dans laquelle la vue et l'odorat n'étaient plus disponibles pour le lapin. Il faut ici signaler que, lors du choix des hypothèses à retenir, l'un des élèves du groupe souhaitait que l'on teste aussi l'ouïe. Il arguait du fait que le vent bruissait différemment dans les herbes, selon leur nature. On retrouvait là la même hypothèse que celle de la classe (présentée en 2) de l'année précédente.

Il est donc vraisemblable que le but de cette troisième situation expérimentale - tester l'intervention d'organes des sens autres que la vue et l'ouïe - était présent dans l'esprit de ces élèves qui réinvestissaient ainsi la discussion ayant eu lieu à propos du schéma en arbre.

• Phase de réalisation

Les élèves vont chercher les lapins : quatre animaux.

Hélas, les lapins apportés en classe sont paralysés et ne songent qu'à se cacher dans les coins !

à nouveau la
réalisation oblige
à revoir son
anticipation

Il nous faut donc revoir les procédures expérimentales : expérimenter dans l'unique grand clapier au sol du local à lapins, endroit familier aux animaux. Il est donc décidé que chaque groupe utilisera la procédure qu'il a prévue, avec successivement tous les lapins de l'élevage.

A nouveau, les contraintes et aléas matériels obligent les élèves à progresser : s'ils souhaitaient utiliser l'ensemble des lapins, ce n'est pas seulement par curiosité, mais parce que, disaient-ils, certains animaux pouvaient être moins gourmands, tous pouvaient ne pas se servir des mêmes sens...

et oblige à un
recueil statistique
des résultats

On peut noter, chez eux, dans cette phase de réalisation concrète, un souci de rigueur scientifique qui seul permet de pouvoir généraliser et conclure.

Pendant qu'un groupe met en œuvre son expérience, les autres élèves doivent noter tout ce qui se passe. L'expérience devient donc la somme des essais des différents groupes avec les différents lapins.

Les élèves doivent, alors, pour le cours suivant, rédiger un écrit qui rende compte des nouvelles conditions d'expérience

mises en œuvre. Ils ne peuvent se servir tel quel, de leur document anticipatoire, la réalité les ayant contraints à modifier leurs prévisions. Différentes procédures sont utilisées :

- Certains élèves ont, comme Hayet, inventé **une nouvelle présentation graphique**, le document préparatoire ayant surtout servi à conceptualiser l'expérience dans ses principes.
- D'autres, comme Christina, ont **complété leur document anticipatoire** par des subdivisions, une pour chacun des quatre animaux.
- Certains, comme Murat, ont tiré les conclusions des résultats obtenus, et les ont fait entrer, en généralisant, dans leur document anticipatoire, sans rendre compte des nouvelles procédures expérimentales ni des différents résultats chiffrés obtenus.

différentes
confrontations

Les confrontations ont joué un rôle important dans l'ensemble de ce travail. Ici, c'est la confrontation avec la réalité qui entraîne un saut qualitatif. Les aléas de l'expérimentation et la résistance qu'elle oppose aux projets ont permis de passer d'une expérimentation prévue le plus souvent avec trois essais à une autre, plus généralisable, de plus d'une trentaine d'essais.

ont facilité les
apprentissages

Cela a permis de mieux comprendre le caractère parfois abusif de l'expérience type présentée dans les manuels, dont on ne voit pas si elle est unique ou un résultat statistique d'une multitude d'essais.

3.4. Essai d'analyse de l'évolution des apprentissages pour trois élèves : Christina, Murat et Hayet

Les documents écrits sont une aide appréciable pour l'enseignant qui souhaite avoir une idée précise des apprentissages des élèves à travers les activités qu'il leur propose.

Voici un essai d'analyse des écrits successifs de trois élèves.

des élèves
différents...

Ces trois élèves ont été choisis pour la diversité de leur profil scolaire. Christina, bien que d'origine étrangère maîtrise bien la langue française et on la qualifie de «bonne élève». Hayet, n'ayant pas de problème particulier, est peu scolaire comme le sont souvent les élèves de ce collège. Murat, enfin, est arrivé en France depuis seulement trois ans ; c'est un élève dit intelligent, faisant beaucoup d'efforts mais maîtrisant mal la langue française.

Au départ les acquis de ces élèves sont hétérogènes en ce qui concerne :

des
connaissances de
départ différentes

- **l'utilisation d'un tableau**, le maniement de symboles abstraits
- **la maîtrise des notions de résultat et de conclusion.**

Le regard critique porté par la classe sur certaines des productions des élèves a permis une amélioration sensible de l'ensemble des travaux. Pour les trois élèves suivis, on peut observer :

les progrès sont d'ordre différent...

- une simplification du code utilisé par **Christina** ce qui renforce l'aspect synoptique et visuel du tableau,
- un enrichissement dans son utilisation par **Murat** qui s'essaye ensuite à mettre au point une symbolisation plus abstraite,
- la correction de certaines erreurs commises par **Hayet**, dans les rubriques concernant une des trois expériences du film, même si elle prend encore le résultat pour la conclusion.

Au moment de la constitution des documents préparatoires à la réalisation de l'expérience, les élèves ont réemployé systématiquement des tableaux. Mais les réinvestissements de la phase antérieure sont différents selon les élèves :

et peuvent être «lus» dans les écrits

- ainsi, **Christina** abandonne la structure du tableau utilisé pour analyser l'expérience de la chauve-souris, et en crée une autre, répondant mieux à la nouvelle tâche ;
- **Murat** semble reprendre le même tableau, mais il y intègre une nouvelle expérience qui lui a été inspirée par l'utilisation du schéma en arbre et la discussion qui a suivi ;
- enfin, **Hayet**, qui reprend tel quel le tableau initial semble, par les phrases qui y sont annexées, mieux faire la distinction entre le résultat (trouver sa nourriture) et la conclusion (le sens qui intervient).

La façon d'adapter (dans les compte-rendus) les tableaux anticipatoires à la situation expérimentale réelle, différente de ce qui avait été prévu, témoigne aussi des avancées et des obstacles qui subsistent.

de même que les difficultés qui subsistent

- **Murat** évite le problème en ignorant la présentation de la diversité des essais et des résultats obtenus, il conserve son écrit tel qu'il l'avait prévu en y faisant entrer ce qu'il a tiré de l'expérience réalisée.
- **Hayet** ignore son document anticipatoire au profit d'un autre répondant mieux à la consigne donnée. Ce qui souligne une indépendance acquise face à un outil graphique, ce qui ne semblait pas le cas dans son document anticipatoire qui reproduisait le tableau antérieur.
- Seule des trois, **Christina** modifie son tableau initial de manière à le rendre apte à intégrer les nouvelles informations non prévues.

Donc des chemins et des apprentissages différents selon les élèves et leurs difficultés initiales.

L'ensemble de ces deux phases du travail de classe leur a permis de progresser à la fois dans l'utilisation de tableaux et dans la maîtrise de ce qu'est une expérience.

3.5. Théoriser, grâce à des écrits successifs, ce qu'est une expérience scientifique

Les concepts méthodologiques travaillés m'avaient semblé moins explicités sur le plan verbal dans cette deuxième procédure pédagogique qu'ils ne l'avaient été dans la première et je craignais par ailleurs que les élèves ne se soient trop exclusivement centrés sur la maîtrise des outils graphiques. Je cherchais aussi à réduire dans la mesure du possible les régressions observées l'année précédente.

C'est avec cet ensemble de préoccupations que j'engageai cette nouvelle phase de travail.

expliciter par écrit les concepts

Je distribue aux élèves une fiche leur demandant de spécifier ce qu'est pour eux une hypothèse, un résultat expérimental, une conclusion et une interprétation.

Lors de la rédaction de ces formulations, les élèves soulignent la difficulté qu'ils éprouvent à pouvoir mettre des mots derrière ce qu'ils disent avoir compris.

se ressourcer pour les enrichir

Face à cette difficulté, je leur propose deux exercices susceptibles de consolider leur conceptualisation et d'enrichir leur mode d'expression. Le premier leur demande de colorier dans un texte les phrases qui à leur avis expriment une hypothèse. Le second leur demande, dans un autre texte, de colorier les phrases indiquant un résultat, de les interpréter et de justifier leur interprétation. La correction de ces exercices permet aux élèves de repérer les éléments verbaux qui dans une phrase indiquent l'aspect hypothétique, ce qui représente une aide importante pour ces enfants en difficulté pour maîtriser la langue française et son écrit. Après ces exercices, les élèves sont invités à rédiger une nouvelle série de formulations des concepts d'hypothèse, résultat, interprétation.

un exercice réussi

Un contrôle suit : je demande, après un repérage d'hypothèses dans un texte d'indiquer la différence qu'ils font entre une hypothèse, un résultat et son interprétation. Il a été relativement bien réussi, comme en témoignent ces quelques réponses : *«Une hypothèse, pour moi, c'est une supposition, une idée qu'on ne sait pas si elles sont vraies, qu'on vérifie par une expérience»*. Ou bien : *«Un résultat indique ce qu'on voit, ce qui se passe. Une conclusion, c'est là où on peut dire si nos hypothèses sont fausses ou justes, par rapport aux résultats des expériences.»*

dégager une formulation commune des concepts

- A l'issue de cet ensemble d'exercices, les élèves confrontent leurs formulations, et la classe se met d'accord sur une série de formulations communes, que chacun reprend sur sa fiche individuelle.

date	pour moi, une <u>hypothèse</u> c'est...	pour moi, le <u>résultat</u> d'une expérience c'est...	pour moi, la <u>conclusion</u> ou l' <u>interprétation</u> c'est...
4/03/89 (après les expériences)	Une hypothèse c'est une idée	De l'avoir élaboré, de l'avoir vue.	Expliquer pourquoi, comment.
23/05/89 (après les exercices)	c'est une supposition sur quelque chose	C'est ce que donne la fin l'expérience	la conclusion affirme l'hypothèse et le résultat de l'expérience.
26/05/89 (classe)	une hypothèse est un essai d'explication ce que l'on suppose juste possible pour expliquer ce que l'on observe. On ne sait pas si elle est juste	C'est ce que l'on voit ce qui se produit à la fin de l'expérience Ce n'est pas une explication.	c'est l'affirmation ou l'infirmité de l'hypothèse en fonction du résultat obtenu c'est une explication, c'est ce qu'on pense.

Document 13

écrire exige une
construction
mentale plus
importante

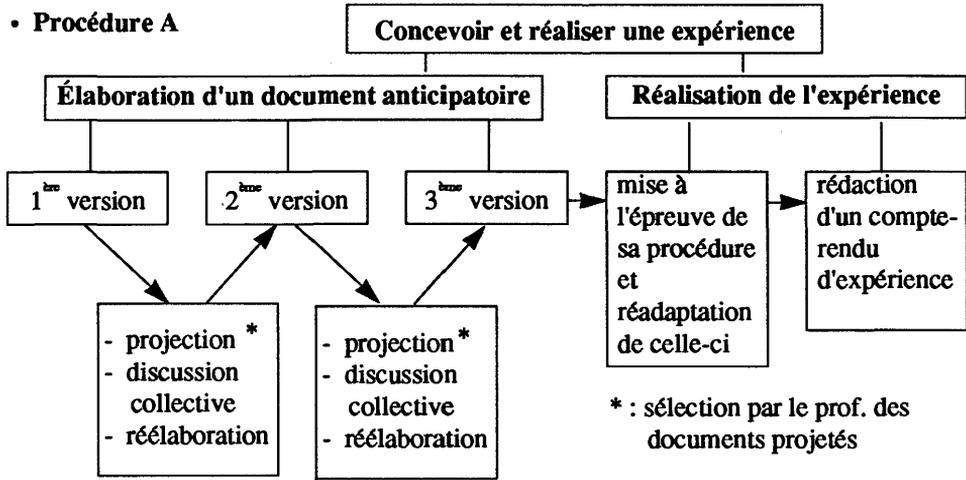
Ce travail a permis de mettre des mots derrière les conceptualisations des enfants. Il y a un saut entre mettre en œuvre une idée et la conceptualiser. L'écrit, par la forme définitive qu'il peut prendre et son aspect distancié - faire sortir de soi ses idées et les regarder sur le papier - oblige à un effort de construction mentale plus rigoureuse. Par ailleurs obliger l'élève à formuler par écrit ses concepts, les lui faire travailler lui montre d'une part l'importance que nous, en tant qu'enseignants, leur accordons, et lui permet d'autre part, d'évaluer ses acquis.

4. COMPARAISON DES DEUX PROGRESSIONS

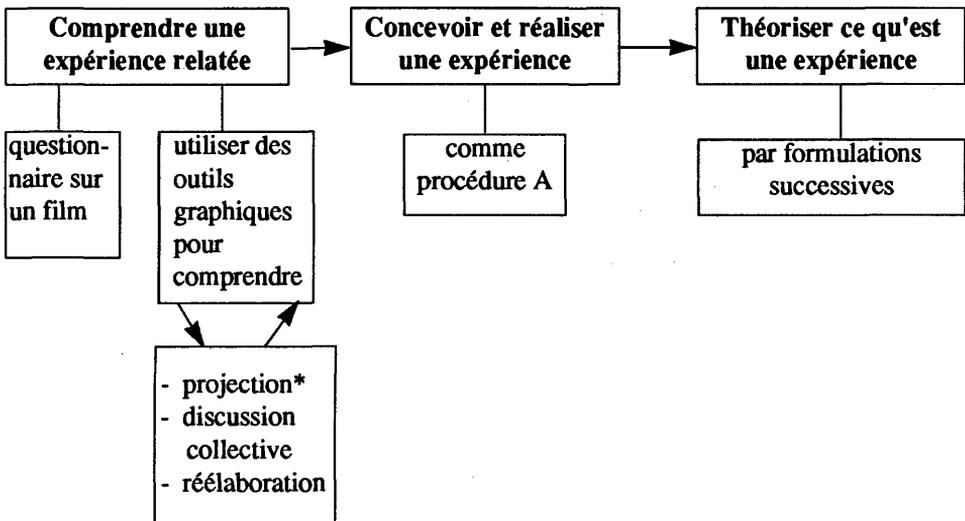
des étapes de
travail différentes

Pour faire apparaître les points communs et les divergences entre ces deux procédures pédagogiques, on peut mettre en parallèle ces présentations synoptiques de l'enchaînement des étapes de chacune d'entre elles :

• Procédure A



• Procédure B



mais toujours articulation entre phases de réflexion, de réalisation, de confrontation

Les deux progressions font alterner des phases d'action, de réalisation pratique et des phases de réflexion avec pour support des écrits et des confrontations.

Toutes deux proposent des reprises successives assez nombreuses et misent sur les réélaborations. Mais la seconde ajoute des phases supplémentaires par rapport à la première.

Une première différence réside dans le fait que dans la première procédure, les élèves élaborent d'emblée une expérience, alors que dans la seconde, cette phase est précédée d'un travail sur des outils graphiques structurants (tableau et schéma en arbre).

entrer
directement ou
en «différé» dans
l'expérience

Dans la première, la structure de l'expérience émerge progressivement à partir des apports successifs des élèves et des rectifications qu'ils proposent, alors que dans la seconde, la structure de l'expérience est donnée par l'enseignant, par les outils graphiques qu'il propose et l'inventivité des élèves ne s'exprime qu'à l'intérieur de ces cadres imposés.

Dans cette dernière, une phase d'explicitation des concepts méthodologiques, qui n'existait pas dans la première, est introduite pour consolider les apprentissages.

Ces modifications dans la progression répondent à deux préoccupations principales :

- une adaptation à la présence importante d'élèves non-franco-phones, qui parallèlement à leurs difficultés à manier la langue française ont plus de mal à utiliser des outils graphiques
- le souci d'éviter la régression observée l'année précédente, lors d'essais de réinvestissements.

les aléas
expérimentaux
entraînent des
apprentissages
uniques

Une autre différence est, quant à elle, attribuable au hasard de la situation expérimentale : les difficultés de la réalisation pratique de l'expérience la deuxième année ont conduit à introduire un aspect statistique inattendu. La multiplicité des essais et des résultats s'est imposée aux élèves et les a amenés à réfléchir sur le rôle du nombre d'essais par rapport au raisonnement à mener. Ce qui n'avait pas du tout été abordé la première année.

difficile
évaluation qui
interdit de porter
un jugement

Peut-on émettre un jugement comparatif entre les deux procédures ? La deuxième tente en effet de résoudre certains problèmes rencontrés dans la première. Lors de cette seconde procédure, les élèves, plus en difficulté scolaire, font en effet moins d'erreurs, trouvent d'emblée une structure relativement satisfaisante pour l'expérience qu'ils proposent. Mais cette procédure est beaucoup plus guidée par l'enseignant. Se sont-ils réellement approprié la structure en question qui est celle qui leur a été donnée par le professeur ? Se sont-ils contentés de la reproduire ? Les apprentissages sont-ils plus solides ? Il est difficile de trancher.

En effet, d'une année sur l'autre, la procédure pédagogique tente de résoudre les problèmes rencontrés précédemment, tout en cherchant à s'adapter aux particularités du public de chaque année et de chaque classe.

et d'ériger un
modèle

En conséquence, les résultats obtenus auprès des élèves dépendent à la fois de la procédure employée et des particularités des populations d'élèves. Comme il s'agit de situations réelles, on ne peut séparer ces deux variables et en conséquence, **on doit se garder de juger de la supériorité intrinsèque d'une procédure par rapport à l'autre.**

On ne peut en ériger une en modèle à reproduire tel quel, quelles que soient les situations de classe et d'enseignement.

5. CONCLUSION

L'ensemble du travail présenté, que ce soit les représentations des élèves sur l'objet de notre enseignement, leurs attentes, ou bien leurs difficultés à maîtriser ce qui constitue notre spécificité (l'aspect expérimental), tout ceci ne peut que **nous inciter à faire construire par les élèves des concepts tels que ceux d'hypothèse, variable, conclusion.**

Si l'on souhaite rendre **cette construction solide**, c'est-à-dire faire qu'elle s'inscrive dans le réseau des schèmes de pensées et de concepts de l'enfant, ce travail doit se mener à partir de ce que sont nos élèves, en leur laissant la possibilité d'emprunter des chemins diversifiés dans leurs apprentissages.

Cette construction sera aidée et plus rapide si nous acceptons de les laisser se livrer à ce qui pourrait apparaître comme des détours : confronter, échanger avec d'autres qui peuvent enrichir, déstabiliser et permettre de réelles structurations des savoirs, permettre enfin à chacun d'entre eux de construire ses modes d'apprentissage et de les théoriser.

Martine SZTERENBARG
Collège Romain Rolland,
Clichy-sous-Bois

BIBLIOGRAPHIE

Équipe de recherche ASTER. *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*. Rapport de recherche. Paris. INRP à paraître.

Équipe de recherche INRP. *Éveil scientifique et modes de communication*. Paris. INRP, Coll. *Recherches pédagogiques*, 117, 1983. Chap. 2 : «Rôle des langages dans la construction de la pensée scientifique».

Évelyne CAUZINILLE-MARMÈCHE, Jacques MATHIEU, Annick WEIL-BARAIS, *Les savants en herbe*. Berne. Peter Lang. 1983.

Gabriel GOHAU. «Faut-il raisonner logiquement ?» *Cahiers Pédagogiques*, n° 214, mai 1983.

Seymour PAPERT. *Jaillissement de l'esprit*. Paris. Flammarion. 1981 (traduction française). New York. Basic Books. 1980 (1^{ère} édition).

Marcel PAULIN. «Comment les enfants sont-ils conduits à séparer les variables dans des activités scientifiques scolaires ?» In : *Les démarches scientifiques expérimentales, théorie et pratique*. Actes des premières Journées sur l'Éducation Scientifique de Chamonix. Paris. Univ. Paris VII. 1979.

Martine SZTERENBARG. «Sur les traces du lapin blanc», «*L'enseignement scientifique*», *Cahiers pédagogiques*, 278, 1989.

HISTOIRE DES SCIENCES ET RÉFLEXION ÉPISTÉMOLOGIQUE DES ÉLÈVES

Pierre Fillon

L'histoire des sciences et des techniques est l'Arlésienne de l'enseignement scientifique : toujours annoncée, rarement mise en pratique dans les classes. Cet article se propose de montrer comment son introduction, même modeste, permettrait de :

- *modifier les pratiques des professeurs en les incitant à la pluridisciplinarité et en les encourageant à prendre en considération les représentations de leurs élèves ;*
- *faire réfléchir les élèves d'une part sur leurs conceptions sur la science et la technique dans la société et d'autre part sur la possibilité de reconsidérer leurs propres modèles spontanés qui font obstacle à la construction du savoir scientifique à la lumière de modèles scientifiques historiques.*

une incitation
souvent répétée
mais peu de
réalisations
pratiques

Depuis la fin du 19^e siècle, les différents ministres de l'Éducation nationale et l'Académie des sciences sollicitent les professeurs de sciences en leur demandant d'intégrer dans leur enseignement des éléments d'histoire des sciences. Malgré une incitation institutionnelle (il y a eu une épreuve d'histoire des sciences dans le concours d'agrégation de physique jusque dans les années 1920) ce vœu est resté vain aussi bien dans les programmes officiels (où l'idée est seulement abordée mais aucune instruction donnée) que dans les pratiques d'enseignement scientifique.

quelques
tentatives...

D'une part les quelques enseignants ayant tenté d'intégrer un peu d'HST ⁽¹⁾ dans leurs cours se sont bornés la plupart du temps :

- à faire une étude chronologique des découvertes scientifiques et techniques ;
- à citer quelques anecdotes qui sont le plus souvent caricaturales ;
- à présenter succinctement la biographie de quelques «savants».

D'autre part, lorsqu'on aborde la possibilité d'utiliser autrement l'HST en sciences, les professeurs, malgré un intérêt manifeste, s'interrogent immédiatement sur les aspects et problèmes suivants :

- le parallélisme entre les difficultés des élèves à construire certains concepts et celles rencontrées par les physiciens de l'époque à les élaborer ;

(1) Dans la suite de l'article, l'histoire des sciences et des techniques sera notée HST.

des interrogations
et des craintes de
la part des
professeurs

- la crainte que les élèves ne se souviennent de concepts périmés plutôt que de ceux actuellement admis par la communauté scientifique ;
- l'idée que l'introduction de l'HST ne pourrait se faire qu'en construisant les concepts avec les élèves dans l'ordre historique de leur découverte ;
- la perte de temps par rapport à un enseignement axiomatique qui serait plus efficace. En effet, le modèle dominant de l'enseignement scientifique est de type axiomatique ; une présentation rigoureuse et claire, y compris appuyée sur un dispositif expérimental de démonstration, serait le moyen le plus adéquat pour transmettre la connaissance scientifique. Nous n'entrerons pas ici dans un tel débat, mais nous soulignerons simplement que les résultats même de l'enseignement scientifique, qui reste actuellement très fortement axiomatique pour diverses raisons, montrent que ce type d'enseignement ne convient qu'à une minorité d'élèves et éloigne de la science un nombre trop important de jeunes.

des interrogations
internes à la
discipline

Enfin, on peut remarquer que **les interrogations des professeurs envers un tel enseignement sont essentiellement internes à la discipline**. Rares sont ceux qui soulignent l'intérêt d'une possibilité d'approches complémentaires et convergentes avec des disciplines telles que les sciences humaines, la philosophie et la biologie. Les relations complexes entre la science, la technique et la société ne sont pas envisagées.

Ces interrogations et craintes sont sûrement à l'origine de la réticence des enseignants à utiliser l'HST (on peut aussi ajouter le manque de formation dans ce domaine des professeurs de sciences).

Aussi est-il apparu nécessaire qu'un groupe de recherche pluridisciplinaire de l'INRP organise une réflexion sur les finalités et les conditions d'utilisation et de mise en œuvre d'un enseignement d'HST au niveau des collèges et lycées. Cette recherche-action avait aussi pour mission de proposer, après expérimentation dans les classes, des séquences d'enseignement intégrant l'HST ⁽²⁾. Ce travail de réflexion et de proposition pluridisciplinaire a été complété par une étude interne à la discipline sur la prise en compte des représentations des élèves et de l'histoire des sciences pour aider l'élève à construire un concept scientifique ⁽³⁾.

Ces deux réflexions (d'une part pluridisciplinaire et d'autre part disciplinaire) ont permis de dégager deux axes possibles

(2) Le rapport relatif à cette recherche doit être publié dans la collection *Rapports de Recherche* à l'INRP au cours de l'année 1991.

(3) FILLON P., *La prise en compte des représentations et de l'histoire des sciences peut-elle aider l'élève à construire un concept scientifique ?* Mémoire de DEA de didactique des sciences physiques, Université Paris 7, 1988.

deux modes
d'utilisation de
l'histoire des
sciences...

l'une à tendance
culturelle et
pluridisciplinaire...

l'autre à
orientation
didactique et
disciplinaire

d'utilisation de l'HST dans l'enseignement. Ces deux orientations ont la même finalité : aider l'élève à réfléchir sur ses propres représentations en ce qui concerne les sciences.

La première utilisation possible de l'HST a une **tendance plus culturelle** et vise la **modification ou la création de certaines représentations sociales sur la science**. Elle a été plus particulièrement analysée par le groupe de recherche INRP. Dans ce cas, l'approche est externe à la discipline et nécessite la **pluridisciplinarité**.

La deuxième utilisation est en général interne à la discipline et donc plus souvent **disciplinaire**. Elle vise à aider l'élève à mieux construire un concept scientifique particulier mais aussi à **considérer autrement ses propres représentations** relatives à celui-ci, en les confrontant d'une part à l'expérience et d'autre part aux modèles construits par les premiers physiciens ayant abordé ce domaine. Les hypothèses méthodologiques proposées dans cette deuxième orientation ont été développées et analysées partiellement dans le projet de recherche correspondant au mémoire de DEA cité précédemment. Elles demandent encore des validations dans un cadre plus général lors de recherches à venir.

Cet article se propose d'exposer les deux orientations qu'il nous semble possible de donner à un enseignement d'HST dans le secondaire. En ce qui concerne l'orientation culturelle, seules les représentations des élèves sur les aspects sociaux-économiques des relations Science-Technique-Société ⁽⁴⁾ seront présentées (avant et après un enseignement d'histoire des sciences). Pour l'orientation didactique, une séquence pédagogique sera présentée après avoir examiné les similitudes et différences entre les représentations des élèves et un modèle historique des scientifiques. Pour chacun des axes retenus, les difficultés rencontrées et les limites d'utilisation mises en évidence seront dégagées.

1. MODIFIER LES REPRÉSENTATIONS SOCIALES SUR LA SCIENCE CHEZ LES ÉLÈVES

1.1. Les objectifs culturels de l'enseignement de l'HST

Les apports majeurs de l'enseignement de l'HST dans les collèges et les lycées se retrouvent aussi bien dans les approches disciplinaires que pluridisciplinaires.

L'enseignement de l'HST **incite à la pratique de la pluridisciplinarité** entre des disciplines qui traditionnellement s'ignorent. L'ouverture indispensable vers les autres disciplines s'avère profitable aux élèves (décloisonnement des disciplines

(4) Dans la suite de l'article Science-Technique-Société sera noté STS.

ouverture vers les autres disciplines par la pluridisciplinarité

avec un meilleur transfert des connaissances et méthodes acquises dans une discipline vers une autre) mais aussi aux professeurs qui comprennent mieux les avantages du travail en équipe et de la concertation qui permet la mise en commun des idées.

Il permet de créer ou modifier des représentations sociales sur la science chez les élèves.

De nombreux rapports incitent à la **construction d'une culture scientifique chez les élèves** ; citons par exemple le rapport Bourdieu-Gros ⁽⁵⁾ :

construire une culture scientifique chez les élèves par une modification de leurs représentations sur les relations S.T.S.

«L'enseignement des mathématiques ou de la physique tout autant que celui de la philosophie ou de l'histoire, peut et doit permettre de préparer à l'histoire des idées, des sciences ou des techniques (cela, évidemment, à condition que les enseignants soient formés en conséquence). [...] un enseignement capable de professer à la fois la science et l'histoire des sciences ou l'épistémologie...»

Outre une étude des relations STS, cette formation passe aussi par une interrogation sur ce qu'est la science et sur ses présupposés éthiques. Ces deux niveaux d'étude interfèrent fréquemment et obligent dans un cas comme dans l'autre à prendre en compte et souvent à remettre en cause les représentations spontanées des élèves.

• Les relations science - technique - société

s'opposer à la représentation de la technique en aval de la science

Un enseignement de l'HST s'oppose à l'**image d'une technique qui découle de la science** pour montrer des moments de relative indépendance de l'une par rapport à l'autre, et l'absence de relation mécanique entre ces domaines. En effet, la relation entre la science et la technique est souvent pensée comme linéaire, la science préparant la mise au point d'objets techniques qui ne seraient que le résultat d'une sorte de bricolage ingénieux des savoirs. M. Daumas est de ce point de vue catégorique : *«Il est de tradition de subordonner le développement des techniques au progrès scientifique. Rien n'est moins exact. Il faut abandonner le schéma élémentaire suivant lequel la connaissance scientifique des problèmes naturels a conduit, d'époque en époque, l'évolution des techniques. Il n'y a pas un siècle seulement que les sciences exercent une influence profonde sur les techniques, alors que probablement depuis les origines de la pensée les techniques ont suggéré aux savants les sujets de leur recherche.»* ⁽⁶⁾ Contrairement à la science dont le développement procède, pour beaucoup d'auteurs, de ruptures, de rectifications d'erreurs, de réorganisations fondamentales de la pensée, **la technique se développerait plutôt de façon continue et cumulative**. La liaison entre science et technique est alors située comme un fait récent et de plus en plus subordonné aux

la technique se construit de façon cumulative et continue

(5) BOURDIEU P., GROS F., *Propositions pour l'enseignement de l'avenir*, Paris, Ministère de l'Éducation Nationale, 1985.

(6) DAUMAS M., *Histoire générale des techniques*. Tome 1, Paris, PUF, 1979.

finalités économiques et sociales que se donnent les sociétés. L'économie contribue à arrimer la science à l'univers de la technique devenu, depuis un peu plus d'un siècle, un univers technologique. Il devient donc impossible de penser séparément sauf pour la clarté de tel ou tel moment de la réflexion, les trois termes de Science, Technique et Société.

la science
comme la
technique répond
à une demande
sociale

Il montre le **poids de la demande sociale** aussi bien pour la science que pour la technique, mettant ainsi en cause dans un grand nombre de situations l'idée d'une science désintéressée ; les pouvoirs aussi bien politiques, qu'économiques ou culturels interviennent constamment pour orienter ou modifier les axes de recherche.

le chercheur ne
travaille pas
isolément

Il situe le chercheur, le scientifique dans un environnement social ; celui-ci n'est pas un solitaire dont l'esprit n'est préoccupé que de faire progresser la science ou d'améliorer les conditions de vie mais il est soumis à des influences sociales, économiques et politiques.

rompt avec une
hiérarchie entre la
science et la
technique

Il **rompt avec l'idée d'une hiérarchie** entre la science, activité gratuite tournée vers la seule connaissance, et la technique qui serait asservie aux intérêts économiques et financiers.

• L'épistémologie des sciences

faire réfléchir
l'élève sur la
méthode
scientifique

L'enseignement de l'HST : permet de faire travailler les élèves sur la **méthode scientifique** et de les placer en situation de conflit vis-à-vis de représentations spontanées telles que la théorie suit l'expérience ou que la théorie ou le modèle sont vrais. La mise en situation historique montre que les théories scientifiques sont des produits historiques, qu'elles sont remises en cause, réélaborées, soumises perpétuellement à la critique de la pensée mais aussi de l'expérience. Ce type d'étude, menée avec des élèves, est un moyen pour essayer de leur faire prendre conscience de l'assimilation fréquente entre le discours et la réalité dont traite ce discours.

les théories
scientifiques font
l'objet de
réfutations

Il souligne l'**importance et l'utilité des débats, des controverses, des conflits... dans la production des théories scientifiques** ; celles-ci sont l'objet d'entreprises de réfutation. L'enseignement de l'HST permet de dévoiler à l'élève ce que lui masque en partie l'enseignement scientifique qu'il reçoit au collège et au lycée. En effet l'enseignement traditionnel propose à l'élève des concepts, modèles ou théories entièrement construits et qui ne peuvent être soumis à réfutation en raison de leur acceptation par la communauté scientifique.

recentrer
l'enseignement
scientifique sur les
problèmes plutôt
que sur les
résultats

Il s'intéresse d'abord à l'**histoire des problèmes plus qu'à celle des résultats**. Cet aspect prend en partie à contre-pied l'enseignement scientifique traditionnel qui se focalise plus particulièrement sur les résultats. Cela permet de relativiser, auprès des élèves, les acquis de la science et de souligner le rôle essentiel pour l'élaboration de la connaissance scientifique des tâtonnements, erreurs et remises en cause. Cela peut permettre à l'élève de prendre conscience par comparaison, de son propre mode de construction du savoir et de modifier à ses yeux (mais aussi à ceux de ses professeurs) le statut de l'erreur.

le discours scientifique est une reconstruction humaine

Il montre que la science mais aussi l'histoire est un construit. Le discours historique est une **reconstruction humaine** à partir de faits au même titre que le discours scientifique. Chaque domaine ayant ses caractéristiques et limites propres. Un domaine nouveau, pour la plupart des élèves, comme l'est l'HST offre un terrain plus souple pour cette prise de conscience.

réfléchir sur les transferts de concept d'une science à l'autre

Il réfléchit sur les **conditions de transfert d'un concept d'une science à l'autre**. Sans approfondir cette question avec des élèves du secondaire, l'HST offre des occasions pour attirer leur attention sur l'emploi des concepts dans différents systèmes théoriques (du point de vue de leur évolution d'une discipline à l'autre, des domaines de validité différents etc...).

- Les implications éthiques de la production scientifique et technique

l'enseignement des sciences implique l'enseignement d'une éthique

La production technique et scientifique est un acte à la fois individuel et social qui met en jeu des valeurs. Des questions déjà anciennes resurgissent aujourd'hui avec encore plus d'acuité sur la signification du progrès scientifique, sur le rôle des sciences et des techniques dans le façonnage de nos sociétés, sur les valeurs impliquées par les orientations de recherche scientifique et technique. De son côté l'enseignant, vis-à-vis de l'élève, n'est pas un simple instructeur qui livre des résultats scientifiques ou techniques ; depuis toujours l'enseignement des sciences, tant de la nature que de l'homme et de la société, implique **l'enseignement d'une éthique** : rigueur, honnêteté, esprit rationnel et critique, respect des résultats expérimentaux ...

Cette orientation justifie encore plus fortement un travail, une interrogation et une mise en cause des représentations que chacun, élève et enseignant, a de la production scientifique et technique et des conditions d'insertion de cette production dans la société. Elle demande une réflexion sur les présupposés culturels et éthiques de cette production et de sa place dans la société.

- Des apprentissages méthodologiques et une motivation

On peut citer :

- tous les savoir-faire et méthodes développés par la lecture de textes historiques,
- les compétences que développent les travaux sur la chronologie ou la périodisation ; ils montrent que toute élaboration de l'une comme de l'autre résulte de choix.

susciter la motivation des élèves à la science

A l'articulation des finalités d'ordre didactique et de celles d'ordre culturel, un enseignement d'HST peut être un **moyen de motivation des élèves** à la science et à la réflexion sur la science par le biais de la culture. Celle-ci peut permettre aux élèves de comprendre comment la mise au point de certaines techniques, dont les conséquences sur la société ont été ou sont

construire des représentations des disciplines scientifiques plus ouvertes

encore très importantes, n'a abouti que par la maîtrise de certains concepts scientifiques fondamentaux. Cette approche amène certains élèves à être demandeurs de connaissances scientifiques.

Il travaille sur les conditions d'élaboration du savoir et contribue ainsi à la **construction de représentations «ouvertes» des disciplines scolaires** et, au delà, des savoirs scientifiques. Celles-ci peuvent favoriser les résultats des élèves dans la discipline. Cette hypothèse a été confirmée par les résultats obtenus lors d'une recherche INRP sur l'articulation CM2-6^e : *«Il existe des liens entre la réussite scolaire des élèves dans une discipline et les représentations que ceux-ci ont de son objet, de sa fonction, de ses méthodes, de son champ d'application,... Ainsi des élèves pour qui une discipline scolaire n'a de finalité qu'elle-même, rencontrent plus de difficultés que ceux pour qui la discipline à une utilité sociale ou pratique.»*⁽⁷⁾

les représentations des élèves sur les relations STS et leur évolution après enseignement

Une enquête auprès d'élèves de collèges montre quelques-unes de leurs représentations sur les relations STS qui ont été relevées avant enseignement et comment elles ont évolué après un enseignement d'HST qui les avait choisies comme objectifs. D'une part, seront présentées celles très ancrées dans l'esprit des élèves d'une science désintéressée et d'une technique orientée vers le profit et les aspects matériels et d'autre part, celle de la technique qui ne serait qu'une application a posteriori de la science. Ces visions des relations STS chez les élèves sont pour les historiens des obstacles à la construction du savoir historique par exemple sur les deux révolutions industrielles au 19^e siècle. Le choix de ces objectifs-obstacles à dominante socio-économique à l'intérieur du groupe INRP a été orienté par sa composition pluridisciplinaire. Les séquences d'enseignement réalisées ont porté sur l'histoire du transport de l'électricité et de l'éclairage électrique.

1.2. Représentations des élèves sur les relations entre la science, la technique et la société

• Avant tout enseignement d'HST

En classe de quatrième (50 élèves), la question suivante est posée :

«Selon vous, quel facteur joua le rôle le plus important dans le foisonnement des inventions au 19^e siècle : le hasard, l'imagination, l'observation, le besoin, l'argent ? Classez-les du plus important au moins important.»

Les élèves privilégient **l'imagination** (1 élève sur 2) et **l'observation** (1 élève sur 3) comme causes des nombreuses inventions au 19^e siècle. Le hasard, le besoin et surtout l'argent

(7) *Les enseignements en CM² et en 6^e - Ruptures et continuités*, Paris, INRP, collection *Rapports de Recherches*, 1987.

pour les élèves, l'imagination et l'observation sont les principales causes des découvertes au 19^e siècle

n'ont que peu d'influence pour eux. Avant cette question, les élèves avaient étudié, dans le cadre des programmes de la classe, les progrès scientifiques et techniques au 19^e siècle (la révolution industrielle). Cet enseignement n'avait pas les caractéristiques décrites précédemment pour une introduction de l'HST.

Toujours en quatrième, la question suivante a été posée.

«*Selon vous, qu'est-ce qui poussa les hommes à exploiter les inventions nouvelles :*
a - le désir d'améliorer les conditions de vie
b - le désir de gagner de l'argent
c - la fascination exercée par le progrès
d - le désir de rendre son pays plus puissant ?
Choisissez une réponse parmi les 4 proposées.»

l'amélioration des conditions de vie est un facteur prépondérant à l'exploitation des inventions ; l'aspect économique est sous-estimé

Deux élèves sur trois choisissent la formulation a ; 1 sur 3 la formulation c ; les deux autres n'étant pratiquement pas choisies par les élèves.

On retrouve, partiellement ces résultats en seconde et première ; à ce niveau l'aspect économique est davantage pris en compte sans devenir prépondérant (15 à 20 % des élèves).

Il apparaît donc assez nettement que les élèves, avant tout enseignement portant sur l'HST, montrent une méconnaissance des mécanismes économiques qui interviennent entre la science, la technique et la société.

Cependant dans une question relative aux raisons du décalage chronologique entre le premier transport de l'électricité (1882) et l'électrification complète des campagnes françaises (vers 1950), l'aspect économique est pris en compte par les élèves de 2^e cycle. La question était formulée de la manière suivante :

«*En 1882 est réalisé le premier transport d'électricité par Desprez*
En 1884 un quartier de New York est éclairé à l'électricité
En 1900 le premier métro est inauguré à Paris
En 1920 commence l'électrification des campagnes
En 1946 EDF, qui vient d'être créée, achève l'électrification des campagnes.
⇒ Comment expliquez-vous le décalage entre le premier transport de l'électricité (1882) et l'électrification des campagnes (1920/1953) ?»

les élèves ont une image désintéressée du savant au 19^e siècle

Une autre représentation sociale, l'image du savant passionné et désintéressé, surgit lorsqu'on évoque les relations S.T.S. à travers l'individu. Même si la question a comme support un texte sur Edison évoquant sa motivation mercantile (voir ci-dessous), une majorité d'élèves (environ 2 sur 3) place la passion de la recherche en tête ; sa volonté de faire des profits est rejetée en dernière position ! Dans l'esprit des élèves, on relève aussi souvent la volonté d'améliorer le sort de l'humanité comme motivation du savant dans son travail.

Voici le récit que fait Edison de la fabrication des lampes :

Au moment où nous inaugurâmes l'éclairage électrique, il nous fallut une usine pour la fabrication des lampes. La Compagnie Edison ne semblant pas disposée à entreprendre la production, nous organisâmes une petite fabrique de lampes à Menlo-Park avec l'argent que je pus prélever tant sur mes autres inventions que sur mes droits, et avec certaines sommes qui me furent avancées. A cette époque, le prix de revient d'une lampe était d'un dollar vingt-cinq environ. Dans ces conditions, je fis cette remarque à la Compagnie : « Si vous voulez passer avec moi un contrat, valable jusqu'à l'expiration des brevets, je fabriquerai toutes les lampes dont aura besoin la Compagnie, et je les livrerai au prix de quarante cents par lampe ». La Compagnie sauta sur cette offre et un contrat fut dressé. Nous achetâmes alors à une vente publique, à Harrison, dans le New Jersey, une grande fabrique de toile cirée. Nous réussîmes à l'acquérir à un très bon prix, ne payant comptant qu'une petite somme. La fabrique de lampes fut alors transférée de Menlo-Park à Harrison.

La première année, la lampe nous revenait à 1 dollar et 10 cents. Nous la vendions 40 cents ; heureusement nous n'en eûmes pas plus de trente à quarante mille à fournir. L'année suivante, elles nous revenaient à 70 cents, et nous la vendions toujours 40 cents. On en fabriqua beaucoup ; par conséquent, nous perdîmes plus d'argent la seconde année que la première. La troisième année, je parvins à construire des machines et à modifier les procédés jusqu'à ce que ce prix fut abaissé et que les lampes ne nous coûtassent plus que 50 cents environ. Le prix de vente étant le même : 40 cents, je perdis plus d'argent cette année-là que les autres, la vente augmentant rapidement.

La quatrième année, j'abaissai le prix de revient à 37 cents, et je rattrapai en une année tout l'argent que j'avais perdu antérieurement. Finalement les lampes ne me coûtèrent plus que 22 cents ; je les vendais 40 cents, et on en fabriquait des millions, ce qui fit que dans les milieux financiers on estima l'affaire lucrative ; on en conclut qu'il fallait l'avoir et nous obtînmes tout l'argent que nous désirions.

Nous avons fondé les usines de Harrison, avec un capital initial réparti en cent actions, ou parts, de 100 dollars chacune. Un de nos employés se trouva bientôt gêné et vendit deux actions à un certain Bob Cutting. Jusqu'alors, nous n'avions rien donné comme intérêt ; or, nous arrivions au point où l'administration pouvait fixer chaque samedi soir un dividende, ce que nous n'avions pas encore fait à l'époque où Cutting avait acheté ses actions aussi, après avoir touché ses dividendes trois semaines consécutives, il nous téléphona, désirant savoir quel était cet établissement qui pouvait ainsi payer un dividende hebdomadaire. L'usine faisait alors un chiffre d'affaires de 1 085 000 dollars. ⁽⁸⁾

⇒ Pour quelles raisons Edison s'intéresse-t-il à la mise au point de la lampe à incandescence ?

- * il est passionné par la Recherche
- * il veut réaliser des profits
- * il est dans un milieu, les États-Unis, favorable
- * la découverte de la lampe prolonge celle du phonographe qu'il vient de réaliser
- * il répond aux préoccupations du gouvernement américain.

Choisissez parmi ces réponses, celles qui vous paraissent vraies, et classez-les par ordre d'importance en les numérotant 1, 2, 3.

(8) MEADOWCROFT W., *Edison*, Paris, Payot.

certains pays semblent favoriser aux yeux des élèves l'éclosion des découvertes

Le pays dans lequel est faite la découverte semble orienter aussi le choix des élèves. A titre d'exemple, les États-Unis sont pour eux un pays qui permet à un inventeur de mieux exploiter sa découverte.

Au cours de discussions de classe (en 1^{er} et 2^e cycles), on a pu cerner une différence entre les images que se font les élèves du chercheur et du technicien-découvreur. Dans l'esprit de beaucoup d'entre eux, **le chercheur travaille souvent seul, sans relation avec la société :**

- pour financer ses propres besoins et ses recherches
- pour exploiter les résultats de ses recherches
- pour participer à la vie politique de la société.

le technicien a une image différente du scientifique ; il est plus en relation avec la société ; il est impliqué économiquement

Alors que **le technicien est plus en relation avec la société :**

- c'est un «bricoleur de génie» qui s'intéresse au quotidien des gens
- il est plus attaché à l'argent que le savant (il est moins désintéressé et doit rechercher des financements pour ses travaux)
- il s'occupe plus de l'exploitation de ses découvertes.

les élèves voient la technique comme une application de la science

A la suite d'entretiens individuels, on a relevé aussi bien dans le 1^{er} que le 2^e cycle, que les relations entre la science et la technique sont mal perçues. Une hiérarchisation existe dans l'esprit d'une majorité d'élèves : **la technique n'est qu'une application de la science ; elle est moins noble, moins valorisante que cette dernière.** Pour eux, la connaissance technique ne peut être antérieure à la connaissance scientifique. Les élèves n'ont pas idée que :

- des objets techniques fonctionnent parfois sans que l'on sache scientifiquement pourquoi ;
- les scientifiques ont besoin de nouvelles techniques pour faire progresser leurs recherches (ex. : appareils de mesures, d'enregistrement, etc...).

il y a peu de lien entre la science, la technique et la société

Par ailleurs, **les élèves ne font pratiquement jamais le lien entre la science et la technique d'une part et la société d'autre part :**

- les découvertes scientifiques ou techniques ne sont jamais replacées dans leur contexte historique
- les découvertes ne sont pas impulsées par une volonté d'exploitation industrielle et commerciale
- les recherches ne sont pas orientées en fonction de besoins sociaux.

les élèves ont une vision linéaire et finaliste de l'histoire

Enfin des entretiens individuels et des discussions de groupe ont permis de mettre en évidence que **les élèves ont une vision linéaire de l'histoire.** En effet, ces discussions (avant tout enseignement de l'HST) ont permis de montrer que **les élèves avaient des tendances finalistes :** toutes les découvertes scientifiques et techniques antérieures ne peuvent mener qu'à la situation où nous sommes actuellement. Pour les élèves, la progression de la recherche scientifique et technique n'est pas objet de débat, de doute ou de rupture ; ils expriment une idée de progrès constants, cumulatifs, sans erreurs et sans les

soubresauts dûs à des changements d'orientation provoqués par des remises en cause incessantes. Cette vision cumulative de l'histoire du savoir technique correspond assez bien à celle des historiens des techniques que sont Daumas, Gilles et Caron. Par contre, elle est en complète contradiction, en ce qui concerne l'histoire de la construction du savoir scientifique, avec les idées généralement développées par les historiens des sciences (Russo, Taton et Koyré).

la science enseignée est le résultat d'une histoire jugée

Cette vision de l'histoire en ce qui concerne la science n'est-elle pas influencée en partie par le positivisme ambiant dans l'enseignement scientifique qui ne fait retenir et enseigner, par souci d'efficacité que les découvertes, modèles, théories qui se sont avérés fructueux pour la construction de la connaissance scientifique. Toutes les voies suivies au cours de l'histoire, reconnues par la suite comme erronées par la communauté scientifique, sont oubliées par celle-ci et par suite non enseignées. Les élèves ne peuvent ainsi prendre conscience que les connaissances scientifiques et techniques actuellement enseignées sont passées à travers ce filtre ; **ces connaissances sont le résultat d'une histoire jugée a posteriori**. Ce jugement n'est jamais présenté de façon explicite et reste toujours du domaine du non-dit.

une vision linéaire de l'histoire demande peu d'effort de mise en relation à l'élève

Cette vision linéaire de l'histoire n'est pas seulement due à l'influence de l'enseignement. Nous émettons l'hypothèse que les capacités de raisonnement des élèves interviennent aussi. En effet un mode d'enchaînement linéaire des événements, où un événement ne dépend que d'un autre, demande moins d'efforts de mise en relation par l'élève (analogue aux fonctions à une seule variable en sciences) que des enchaînements ramifiés où plusieurs événements interviennent sur un autre (fonctions à plusieurs variables).

• Après un enseignement d'HST

Dans les différentes équipes de la recherche INRP, les relations STS liées aux obstacles choisis ont été abordées à partir de deux thèmes (se reporter au rapport de la recherche, à paraître à l'INRP), l'histoire du transport de l'électricité et l'histoire de l'éclairage électrique (travaux d'Edison).

Un post-test a été réalisé après chacune de ces séquences pour évaluer leurs influences sur les représentations sociales des élèves qui avaient été observées en pré-test. Pour faire ces évaluations, certaines questions utilisées avant enseignement ont été reprises.

après un enseignement d'HST les élèves ont moins tendance à minimiser l'aspect économique dans les relations STS

Il apparaît alors que **les élèves** (quel que soit leur niveau) **ne minimisent plus l'aspect économique dans les relations S.T.S.** (en particulier comme raison à l'exploitation des inventions). Cependant, les représentations des élèves peuvent être modifiées différemment selon la séquence utilisée. Ainsi, après l'étude du transport de l'électricité, une majorité d'élèves qui mettent en avant l'aspect financier, pensent que c'est en raison du faible coût de l'énergie hydraulique que Bergès s'est intéressé à celle-ci. Très peu d'entre eux choisissent la volonté

moins d'élèves pensent à une hiérarchie entre la science et la technique

de ce dernier de faire des profits. Par contre, cet aspect apparaît davantage chez les élèves après avoir étudié la démarche d'Edison, sans cependant supplanter dans leur esprit sa passion de la recherche.

Par contre, après enseignement et quel que soit le support utilisé, un élève sur trois pense que les relations entre la science et la technique se font dans les deux sens, sans que l'une soit primordiale sur l'autre. Ils ne sont plus qu'un tiers à penser que la science est toujours en amont de la technique.

Il apparaît aussi assez nettement après enseignement, que le développement des techniques est influencé par les facteurs suivants :

- l'argent disponible pour financer les recherches (en particulier celui de l'État)
- les gains financiers qui peuvent être dégagés par les développements industriels, conséquences de ces recherches
- le développement des communications (en particulier dans le monde scientifique et technique)
- des éléments personnels liés à des motivations de nature désintéressée et psychologique (attirait pour les techniques nouvelles, curiosité etc...).

Enfin après enseignement, on assiste à la **juxtaposition dans l'esprit des élèves** :

certaines représentations très ancrées subsistent

d'autres sont modifiées

- **de certaines représentations très ancrées** :
 - le chercheur passionné qui répond à des critères individuels indépendants du contexte social
 - les sciences et les techniques qui permettent les progrès et l'amélioration du bien-être des hommes
 - la référence à des images historiques et mythiques : Volta, Napoléon, les États-Unis, le rôle de l'État ...
- **de connaissances précises et bien intégrées** :
 - la science et la technique sont en inter-relation
 - la science et la technique sont intégrées aux besoins d'une société, en dépendant de problèmes économiques et financiers
 - une évolution des conditions de développement des sciences et techniques au cours du 19^e siècle.

1.3. Les écueils et difficultés ⁽⁹⁾

L'enseignement de l'HST présente des risques et fait face à des difficultés dont il faut apprécier la signification et l'importance. Les unes et les autres ne sont pas du même ordre et les réponses apportées diffèrent selon les projets. Nous en retiendrons trois, à titre d'exemple :

• **L'anecdote.** Une tradition, souvent rattachée à une conception obsolète de la biographie, fait une place encombrante à l'anec-

(9) Rapport de recherche INRP sur l'enseignement de l'HST (à paraître).

l'utilisation de
l'anecdote doit
être limitée

dote. Celle-ci peut être utile ou plaisante sous condition d'être limitée et située comme telle. Inversement, un usage trop appuyé conduira au renforcement des idées contre lesquelles nous nous élevions précédemment ; la production scientifique et technique est réduite à des circonstances hasardeuses, au «génie» de tel ou tel découvreur...

l'anachronisme
est une erreur en
soi

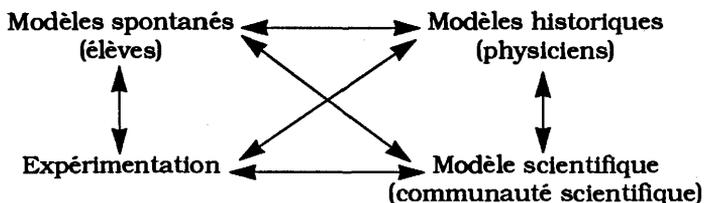
• **L'anachronisme.** Pour l'historien, tout anachronisme est a priori une erreur. Mais être averti du fait n'est pas nécessairement être protégé du danger. L'anachronisme peut se cacher dans bien des lieux. Sans faire ici de longs développements épistémologiques, nous rappellerons pour mémoire tous les débats de la communauté des historiens sur le rôle de la personnalité même du chercheur dans la construction de l'objet historique et du discours sur cet objet. Si la chronologie des faits doit être rigoureusement établie, celle-ci n'est pas donnée au départ mais résulte des choix établis en fonction du ou des problèmes que l'on se propose de traiter. Mais la chronologie n'est pas l'histoire et c'est dans le travail de construction d'un discours, d'un récit qui ordonne et relie les différents éléments de la chronologie que se trouve l'essentiel du travail de l'historien. Si cette reconstruction est toujours l'œuvre de quelqu'un, un risque particulier d'anachronisme existe avec l'HST. En effet une de ses particularités est d'être une histoire jugée ; de ce fait, il est singulièrement difficile d'analyser les productions historiques, textes ou expérimentations par exemple, en respectant autant que faire se peut les logiques intellectuelles et scientifiques qui étaient celles de leurs auteurs.

un enseignement
d'HST n'implique
pas l'idée d'une
progression
nécessaire

• **Le mythe de l'explication par les origines.** Les faits scientifiques qu'il importe de comprendre sont ceux d'aujourd'hui ; les concepts et théories scientifiques que l'élève doit s'approprier sont ceux d'aujourd'hui. L'EHST n'a pas pour objet de (dé)montrer une filiation continue, sorte de généalogie que l'on pourrait remonter jusqu'aux origines. Les théories d'aujourd'hui ne sont pas contenues «potentiellement» dans celles d'hier ou d'avant-hier. Introduire un EHST n'est pas construire l'idée d'une progression nécessaire. Ce problème à la fois historique et épistémologique concerne tous les domaines du passé des sociétés ; l'enseignement de l'histoire scolaire, à vouloir introduire une compréhension de la succession, privilégie ceux des événements que l'on présentera dans une relation de cause-conséquence, et qui apparaîtront alors comme découlant inéluctablement les uns des autres. L'EHST par les ruptures et réorganisations intellectuelles et matérielles qu'il offre à l'étude est un moyen de pallier cette difficulté ; mais, les choix des objets étudiés et les présentations qui seront mises en œuvre feront place à ce souci.

2. CONSIDÉRER AUTREMENT SES REPRÉSENTATIONS ET MIEUX CONSTRUIRE UN CONCEPT SCIENTIFIQUE

Cette finalité fixée à l'introduction de l'HST dans l'enseignement secondaire de la physique nécessite de la part du professeur les mises en relations suivantes lors de la construction de séquences pédagogiques :



2.1. Délimitation du domaine des sciences physiques concerné

Vouloir utiliser l'HS lors de la construction de concepts en sciences physiques pose un certain nombre de problèmes.

Il n'est pas
nécessaire
d'aborder tous les
concepts par le
biais de l'HST

- Un premier écueil est celui de la durée nécessairement plus grande pour réaliser une telle approche par rapport à l'introduction traditionnelle du concept. Il n'est pas question de vouloir aborder tous les concepts de la physique de cette manière, faute de temps pour traiter l'ensemble des programmes. Il faut donc faire un choix parmi les différents points des programmes. Il paraît judicieux d'utiliser alors le **concept d'objectif-obstacle** défini par J.-L. Martinand ⁽¹⁰⁾.

«Plus exactement, renonçant à définir de manière exhaustive et «opérationnelle», les objectifs, nous avons proposé de les «caractériser» par les aspects obtenus avec ce type d'analyse et susceptibles d'aider au mieux les maîtres. Dans cet esprit, notre proposition principale consiste à «focaliser» les objectifs sur les obstacles susceptibles d'être franchis par les élèves. [...]

Cette conception nouvelle des «objectifs-obstacles» a une double origine. Nous venons d'en rappeler la source pragmatique. Mais il y a aussi une source théorique : c'est la notion d'obstacle épistémologique, élaborée par Bachelard en explorant l'histoire des idées scientifiques, et sur la base de son expérience de professeur de physique. Il ne s'agit pas pour nous de transformer en objectifs les obstacles repérés par Bachelard, il s'agit de faire rejoindre deux courants : celui des pédagogues qui cherchent à travers les objectifs à rendre plus efficaces les actions didactiques et celui des épistémologues qui s'intéressent aux difficultés

(10) MARTINAND J.-L., *Connaître et transformer la matière*, Berne, P. Lang, 1986.

qu'affronte la pensée scientifique. La notion d'objectif-obstacle nous paraît être un moyen pour transformer en instrument didactique les résultats des recherches actuellement en plein développement, et qui portent sur les modes de résolution de problèmes adoptés spontanément par les élèves, ou les représentations qu'ils se font des phénomènes physiques.»

Une telle analyse des différents domaines de la physique en termes d'objectif-obstacles permet de réduire considérablement le nombre des objectifs pour lesquels un traitement spécifique (de plus longue durée en raison de la procédure didactique employée) est nécessaire pour que l'obstacle repéré soit franchissable par une majorité d'élèves.

un parallélisme partiel doit exister entre le modèle élève et le modèle historique

- Un deuxième écueil provient de la nécessité d'un **parallélisme (même partiel) entre le modèle spontané des élèves et celui des premiers physiciens** qui fait ou a fait obstacle à la construction du modèle actuellement accepté par la communauté scientifique. Précisons tout de suite notre position à ce sujet, l'élève de 1990 n'est pas dans la situation des chercheurs du début du 19^e siècle (par exemple pour l'électrocinétique) aussi bien pour les connaissances et les capacités de raisonnement qu'ils possèdent que pour leurs environnements matériels et sociaux. **L'ontogenèse ne récapitule pas la phylogenèse** : les obstacles rencontrés par les uns et les autres pour construire le savoir en ce domaine ont des origines et des natures différentes. Cependant, on constate que malgré tout, et cela dans de nombreux cas, là où ont buté les chercheurs, les élèves rencontrent aussi des difficultés. Bien souvent, les modèles spontanés que peuvent avoir les élèves ont des ressemblances troublantes avec les modèles initiaux des physiciens. C'est ce parallélisme tenu que nous nous proposons d'exploiter. Pour bien cerner ce dernier, cela impose tout d'abord que ce domaine ait été étudié aussi bien en **didactique de la physique** (en ce qui concerne les représentations et raisonnements spontanés des élèves) qu'en **histoire des sciences** (en ce qui concerne l'épistémologie) et qu'un **répertoire de textes historiques** pouvant être utilisés avec les élèves ait été constitué. Actuellement, les intersections entre les champs de la didactique et ceux de l'HS ne sont pas très fréquents. Il en existe surtout en mécanique et en électrocinétique. Les corpus de textes historiques correspondant à un domaine particulier de la physique et pouvant être utilisés à des fins pédagogiques avec des élèves du secondaire sont encore très rares dans la littérature d'HS. Ensuite, **l'analyse du «parallélisme» des modèles spontanés** doit avoir été faite pour bien cerner les différences et les similitudes entre les natures et les origines des obstacles rencontrés dans les deux niveaux précités. A notre connaissance de telles analyses n'ont pas été entreprises de façon systématique ; seuls quelques essais ont été tentés.

l'ontogénèse ne récapitule pas la phylogénèse

le domaine choisi doit avoir été étudié du point de vue des représentations des élèves ainsi que de celui de l'épistémologie du savoir

une étude comparée des modèles des élèves et historiques doit avoir été réalisée

L'approche proposée ici vise à **faire prendre conscience à l'élève de son modèle personnel** pour expliquer un phénomène physique déterminé ; modèle qui fait obstacle à la cons-

l'expérience est confrontée avec le modèle des élèves et le modèle historique

il y a focalisation de l'élève sur l'obstacle

truction de son propre savoir. Cette prise de conscience de son modèle explicatif personnel se fait par confrontation à d'autres expériences qu'il ne permet pas d'expliciter (articulation expérience-modèle personnel). Cette prise de conscience est renforcée par **la comparaison avec le modèle initial proposé par les physiciens** qui conduisait sensiblement aux mêmes difficultés (articulation modèle historique-modèle personnel). Ce renforcement social permet une déculpabilisation de l'élève en modifiant le statut de l'erreur relatif à un mode de pensée spontanée inhérent à la plupart des individus. **Il focalise l'élève sur l'obstacle** qu'il doit franchir avec l'aide de son professeur pour construire un savoir scientifique. Cette stratégie, qui intègre l'HS, a en outre l'avantage de montrer à l'élève que le savoir scientifique est le résultat d'une construction humaine avec ses erreurs et ses rectifications.

Pour rendre plus concrètes ces propositions prenons un exemple de séquence dont une partie a été expérimentée et évaluée dans le cadre de la recherche INRP sur l'enseignement de l'HST.

Toutes les considérations précédentes ont permis de choisir une partie extrêmement limitée de l'électrocinétique présentant un obstacle majeur à franchir par les élèves : **la construction du concept de courant, dans le cas de circuits électriques simples en série ne contenant que des conducteurs métalliques.**

Ce domaine très limité a été particulièrement bien étudié ces dernières années, aussi bien du point de vue didactique que du point de vue épistémologique. De plus, il a l'avantage de pouvoir être abordé aussi bien en 1^{er} cycle (classe de quatrième) qu'en 2^e cycle (classe de seconde).

2.2. Présentation du modèle élémentaire utilisé par les physiciens

Avant toute étude des modèles spontanés des élèves et des modèles de départ des physiciens, il est important de rappeler le modèle élémentaire actuellement admis et enseigné dans le secondaire. C'est le modèle qui doit être acquis par les élèves à la fin de leurs études au lycée.

Prenons le cas d'un circuit comprenant une pile et une ampoule.

Du point de vue énergétique, la pile a une double fonction :

- elle stocke de l'énergie sous forme chimique
- elle transforme cette énergie chimique en énergie électrique.

De même, l'ampoule a deux fonctions :

- elle transforme l'énergie électrique qu'elle reçoit en énergie thermique et lumineuse
- elle ne stocke pas de l'énergie mais la dissipe dans le milieu extérieur.

Au niveau élémentaire avec les élèves, le problème est de fournir une représentation du mécanisme qui assure le transfert d'énergie. **D'où le point de vue matériel**, le véhicule de l'énergie de la pile à l'ampoule est le courant électrique. **Dans**

modèle simplifié du courant électrique dans les conducteurs métalliques

un conducteur métallique, la conduction est assurée par les électrons de conduction ou électrons libres. Si le conducteur n'est pas relié aux deux bornes d'une pile, les mouvements des électrons libres sont désordonnés et aléatoires ; ils sont statistiquement au repos. Lorsqu'il est raccordé aux deux bornes d'une pile, l'ensemble des électrons libres du conducteur se met en mouvement dans une même direction et un même sens (de la borne négative à la borne positive de la pile). **La présence d'une pile dans un circuit fermé provoque le mouvement d'ensemble des électrons libres ; ce dernier est appelé courant électrique.**

La pile jouant, si on veut, le rôle d'une pompe à électrons (elle ne stocke ni ne crée des électrons), **la quantité d'électrons libres dans le circuit reste constante ; en régime permanent, il n'y a donc ni accumulation ni disparition de charges ni localement ni globalement.**

Lors du passage des électrons libres dans le filament de l'ampoule, ceux-ci entrent en collision avec les atomes du filament. L'échauffement qui en résulte est responsable de la lumière émise. L'intensité du courant électrique étant définie comme la quantité de charge électrique traversant une section du conducteur par unité de temps. **Cette intensité est donc constante en tout point du circuit-série. Cela est toujours vrai quels que soient les composants branchés dans le circuit.** En particulier, si on branche plusieurs ampoules identiques, celles-ci brilleront de la même façon (mais moins fortement que si il n'y en avait qu'une seule ; la pile restant toujours la même).

2.3. Étude comparative sommaire du modèle utilisé spontanément par les élèves et de celui élaboré initialement par les physiciens de la première moitié du 19^e siècle

le modèle des courants antagonistes serait une conséquence de la nécessité opératoire du branchement de l'ampoule sur la pile

En électrocinétique, les élèves comme les physiciens du début du 19^e siècle utilisent ou ont utilisé des modèles qui en apparence sont relativement proches ; ce sont le modèle des courants antagonistes et le modèle circulatoire avec épuisement de courant. Dans cet article, nous nous limiterons d'une part à l'étude comparative des modèles des courants antagonistes des élèves et des chercheurs du début du 19^e siècle et d'autre part à la présentation d'exemple de séquence pédagogique réalisée en classe.

• Caractéristiques du modèle pour les élèves

D'après l'étude faite par Tiberghien et Delacôte ⁽¹¹⁾ certains enfants reconnaissent l'importance des deux pôles de la pile par lesquels ils font sortir deux courants qui se rejoignent dans

(11) TIBERGHIE A. et DELACÔTE G., «Manipulations et représentations de circuits électriques simples chez les enfants de 7 à 12 ans», *Revue Française de Pédagogie*, 34, 1976.

l'ampoule où ils sont consommés. Pour ces auteurs, le modèle spontané des courants antagonistes est une conséquence de la nécessité opératoire du branchement de l'ampoule sur la pile. Osborne ⁽¹²⁾ a aussi montré l'utilisation spontanée, par des élèves du primaire, de ce modèle explicatif dans le cas du branchement d'une ampoule sur une pile ronde. En 1984, Shipstone évalue à environ 40 %, le pourcentage des élèves de 12 ans qui utilisent ce modèle pour expliquer les phénomènes observés dans un circuit-série comprenant plusieurs ampoules ⁽¹³⁾. Il note par ailleurs que ce nombre décroît jusqu'à devenir pratiquement nul à 17 ans. Enfin, Johsua ⁽¹⁴⁾ en reprenant les travaux de Maury ⁽¹⁵⁾ et Anderson ⁽¹⁶⁾ émet l'hypothèse que ce modèle recouvre plusieurs représentations :

- «Pour certains élèves, les deux fils transportent le même type de courant. «Il faut deux fils pour amener plus de courant». Cette représentation est en fait une amélioration de la représentation unifilaire, souvent produite par la nécessité de tenir compte de l'expérience, qui impose la présence de deux fils (Maury, 1981)»

- «Pour d'autres, il y a bien deux courants différents qui sortent de la pile pour aller à l'ampoule «faire des étincelles». Cette représentation peut être produite par la nécessité d'intégrer cognitivement la présence d'une dissymétrie sur la pile (préalablement connue par certains élèves), mais elle peut aussi constituer un premier pas vers une tentative de résoudre la contradiction entre les aspects matériel et énergétique du «fluide». Ici, deux fluides différents sont en mouvement (sous l'aspect matériel) et, de leur rencontre, naît un événement nouveau (énergétique) (Anderson, 1984). Cependant, la perte d'énergie est encore complètement liée à la perte des «matières». Parfois, ces dernières sont présentées comme «stockées» séparément dans la pile (un réservoir «plus», un réservoir «moins»). L'épuisement de la pile correspond à l'épuisement de ces stocks. La représentation «à courants antagonistes» peut en définitive apparaître comme intermédiaire entre la représentation unifilaire et les représentations «circulatoires». Cet état peut s'interpréter, à notre avis, dans le cadre d'une tentative de résorption de la contradiction due au caractère «mixte» de la métaphore du fluide.»

la contradiction entre les aspects matériels et énergétiques du «fluide» entraînerait certains élèves à construire le modèle des courants antagonistes

(12) OSBORNE R., «Toward modifying children's ideas about electric current». *Journal of research in science and technological education*, 1, 1983.

(13) SHIPSTONED.-M., «A study of children's understanding of electricity in simple circuits». *European journal of science education*, 6, 1984.

(14) JOHSUA S. et DUPIN J.-J., *Représentations et modélisations : le «débat scientifique» dans la classe et l'apprentissage de la physique*, Berne, P. Lang, 1989.

(15) MAURY L., *Expérience pédagogique à l'école élémentaire*, Montpellier, IREM, 1981.

(16) ANDERSON A., *Pupil's thinking and course requirements in science teaching*. Project n° 2131, University of Gothenburg, 1980.

• Caractéristiques du modèle pour les premiers physiciens

les physiciens, influencés par l'électrostatique, pensèrent à la présence de deux courants antagonistes

Jusque dans les années 1840, les physiciens furent influencés par l'électrostatique et utilisèrent en le transposant et en le modifiant progressivement le «schème électrostatique de décharge» pour modéliser les phénomènes observés lors de montage utilisant la pile de Volta. Brièvement, les physiciens considéraient la pile comme une bouteille de Leyde ayant la propriété de se décharger et se recharger continuellement. Ainsi, **ils imaginaient un double courant d'électricité positive et négative sortant des bornes de la pile et circulant en sens inverse dans le circuit**. Il est à signaler qu'en 1750, Franklin, en électrostatique, avait fait l'hypothèse d'un courant unique lors de la décharge ; celle-ci ne fut pas retenue par la communauté scientifique qui penchait plutôt à l'époque pour l'hypothèse des deux fluides. Ampère écrivait en 1822 : «*On est généralement d'accord qu'elle (l'action électromotrice) continue à porter les deux électricités dans les deux sens où elle les portait auparavant, en sorte qu'il en résulte un double courant, l'un d'électricité positive, l'autre d'électricité négative, partant en sens inverses des points où l'action électromotrice a lieu et allant se réunir dans la partie du circuit opposée à ces points.*»⁽¹⁷⁾

Ampère continuait : «*Les courants, dont je parle, vont en s'accéléralant jusqu'à ce que l'inertie des fluides électriques et la résistance qu'ils éprouvent par l'imperfection des meilleurs conducteurs fassent équilibre à la force électromotrice ; après quoi, ils continuent indéfiniment avec une vitesse constante tant que cette force conserve la même intensité.*»

le modèle des courants antagonistes s'affine d'année en année

Quelques années plus tard, son modèle s'était modifié, il écrivait en 1826 : «*...Les deux fluides parcourent continuellement les fils conducteurs d'un mouvement extrêmement rapide, en se réunissant et se séparant alternativement dans les intervalles de ces fils*» ... puis «*C'est dans ce fluide électrique intermoléculaire (avec les molécules métalliques du conducteur) que se passent tous les mouvements, toutes les décompositions et recompositions qui constituent le courant électrique.*»

Ampère introduit le concept de courant sans abandonner l'idée des courants antagonistes

Malgré cela, c'est dès 1820 qu'**Ampère introduisait le concept de courant électrique sans abandonner l'idée des courants antagonistes.**

(17) BENSEGHIR A., *Influence des conceptions électrostatiques du début du 19^e siècle sur la formation des concepts de l'électrocinétique*. Mémoire de DEA d'histoire et philosophie des sciences, Université Paris 1, 1981.

MÉMOIRE

Présenté à l'Académie royale des Sciences, le 2 octobre 1820, où se trouve compris le résumé de ce qui avait été lu à la même Académie les 18 et 25 septembre 1820, sur les effets des courans électriques.

PAR M. AMPÈRE.

Mais lorsque les deux corps où les deux systèmes de corps entre lesquels l'action électromotrice, produite par le contact des métaux, a lieu, sont d'ailleurs en communication par des corps conducteurs ---

--- il en résulte un double courant, l'un d'électricité positive, l'autre d'électricité négative, partant en sens opposés des points où l'action électromotrice a lieu, et allant se réunir dans la partie du circuit opposée à ces points. --- C'est cet état de l'électricité dans une série de corps électromoteurs et conducteurs, que je nommerai, pour abrégér, *courant électrique*; et comme j'aurai sans cesse à parler des deux sens opposés suivant lesquels se meuvent les deux électricités, je sous-entendrai toutes les fois qu'il en sera question, pour éviter une répétition fastidieuse, après les mots *sens du courant électrique*, ceux-ci : de l'*électricité positive*; en sorte que s'il est question, par exemple, d'une pile voltaïque, l'expression : *direction du courant électrique dans la pile*, désignera la direction qui va de l'extrémité où l'hydrogène se dégage dans la décomposition de l'eau, à celle où l'on obtient de l'oxygène; et celle-ci : *direction du courant électrique dans le conducteur qui établit la communication entre les deux extrémités de la pile*, désignera la direction qui va, au contraire, de l'extrémité où se produit l'oxygène à celle où se développe l'hydrogène.

AMPÈRE (1775-1836), cité in *Annales de Chimie et de Physique*, 1820 (Tome 15).

- Commentaires

On peut constater dans ce cas une grande similitude entre le raisonnement spontané des élèves et celui des physiciens du début du 19^e siècle. Cependant l'origine de ce raisonnement est fort différente.

malgré une
apparente
similitude les deux
modèles se
distinguent sur de
nombreux points

- Pour les physiciens, **le paradigme du schème de décharge de l'électrostatique** est très prégnant dans leur esprit jusqu'en 1840 ; la pile est considérée comme un condensateur à charge et décharge continues. Ils envisagent donc les effets dans le circuit (dont la notion ne se dégagera que vers 1820-1825) comme la conséquence de deux courants antagonistes. De plus, pour mieux répondre aux phénomènes observés et aux premières mesures effectuées, ils feront évoluer le modèle en le complexifiant tout en mettant en place progressivement le modèle circulatoire de courant unique qui ne s'imposera que dans la deuxième partie du 19^e siècle.

- Pour les élèves, il semblerait que la nécessité expérimentale de placer deux fils pour alimenter une ampoule par une pile ayant deux bornes différenciées soit à l'origine de l'utilisation spontanée du modèle des courants antagonistes. Les élèves de 10 ans n'ayant aucune idée des phénomènes électrostatiques, ils n'envisagent pas la pile comme un condensateur (bien qu'ils la considèrent comme un réservoir d'électricité) ayant la possibilité de se décharger et se recharger. Cependant, **le vécu de l'élève** (observation d'étincelles lors du branchement d'une fiche dans une prise) **pourrait renforcer l'induction vers ce modèle**. Enfin, l'introduction du modèle circulatoire de courant unique fait disparaître rapidement le modèle précédent. Les deux modèles ne semblent pas coexister dans l'esprit des élèves.

2.4. Stratégie pédagogique adoptée dans les séquences d'enseignement

- La question de la prise en compte des raisonnements spontanés des élèves dans l'enseignement

Les séquences d'enseignement s'adressant à des élèves de 13-14 ans en classe de quatrième (en respectant le niveau où se fait l'introduction du modèle du courant dans les programmes officiels), nous avons vu que les études de didactique relatives à ce sujet avaient mis essentiellement en évidence deux modèles spontanés utilisés par les élèves dans le champ couvert par les situations envisagées. Rappelons que ces deux modèles principaux sont :

- modèle des courants antagonistes
- modèle circulatoire d'un courant unique avec épuisement.

Faut-il prendre en compte ces modèles spontanés ou faut-il les ignorer purement et simplement en imposant le modèle scientifique ?

traditionnellement,
l'enseignement
ignore les
représentations
des élèves

Ce deuxième point de vue revient à admettre que la chose enseignée efface automatiquement la connaissance spontanée antérieure. Or depuis les travaux de Piaget, **nous savons qu'un élève n'est pas vierge devant la connaissance, que des structures cognitives existent dans l'esprit de l'élève et qu'elles interfèrent avec les apports nouveaux.** Dans l'enseignement traditionnel, on adopte le deuxième point de vue, on ignore totalement les connaissances et modes de raisonnement spontanés de l'élève ce qui conduit inconsciemment l'élève à les refouler temporairement. Citons à ce propos une publication de l'équipe de didactique des sciences de l'INRP en 1980 ⁽¹⁸⁾ : *«ce qu'il faut voir, c'est que si les représentations sont ignorées, elles ne sont pas en réalité évacuées, elles sont seulement refoulées... le sujet n'acquiert qu'une illusion de savoir : un savoir purement verbal, l'application stéréotypée d'une recette, mais les vieilles conceptions reparaitront à la première occasion un peu inhabituelle.»*

Le savoir implicite constitue un obstacle majeur pour l'enseignement et il est indispensable de le prendre en compte ! Mais comment ? Faut-il comme Bachelard le propose détruire la connaissance antérieure ? *«L'esprit scientifique ne peut se constituer qu'en détruisant l'esprit non scientifique»* ⁽¹⁹⁾.

Ou encore faut-il, comme le propose un groupe de chercheurs de l'INRP, **se servir des représentations des élèves comme d'une voie d'approche pour l'enseignant dans la construction d'une stratégie pédagogique** ⁽²⁰⁾. L'enseignant devant les rectifier pour en faire, pour l'élève, progressivement un savoir scientifique. Mais cela ne revient-il pas à les détruire d'une certaine manière ? Dans cette dernière approche l'enfant est actif, il est lui-même partie prenante dans la construction de ses connaissances.

doit-on faire
disparaître les
raisonnements
spontanés des
élèves ?

Ces deux approches sont extrêmes et une approche plus nuancée doit être prise en compte. Mais à ce niveau se pose une question : **que ce soit par destruction ou évolution doit-on faire disparaître les raisonnements naturels ?** Cette question a été posée par J.L. Closset ⁽²¹⁾ dans sa thèse. Citons-la : *«Dans l'immense majorité des cas, nous y répondons le plus clairement qui soit : non. En effet, le savoir commun n'a rien d'une tare génétique : le plus souvent, il est utile. Il s'est d'ailleurs construit en fonction de nécessités opératoires et y répond en général d'une façon plus simple, plus rapide et finalement plus efficace que le savoir scientifique.»* et encore : *«On en arrive à cette situation paradoxale, à savoir que les raisonnements faux*

(18) HOST (coord) *«Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire - Démarches pédagogiques en initiation physique et technologique»*, Paris, INRP, collection Recherches Pédagogiques, 108, 1980.

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

(20) HOST (coord.), op. cit. note 18

(21) CLOSSET J.-L., *«Le raisonnement séquentiel en électrocinétique»*, Thèse de 3^e cycle, Paris 7, 1983.

conduisent à des résultats justes là où des raisonnements justes ne permettraient pas de conclure.»

Parmi les raisonnements spontanés utilisés par les élèves on peut déterminer trois catégories :

une
catégorisation
peut être réalisée
en ce qui
concerne les
différents
raisonnements
spontanés des
élèves

- **les raisonnements naturels qui sont pleinement compatibles avec la connaissance scientifique.** Ils devraient être privilégiés par l'enseignement ;

- **ceux qui sont illégitimes mais qui encadrés par l'expérience et le contact direct avec le réel, conduisent à des prévisions correctes** et sont utiles voire indispensables. Il ne semble pas nécessaire de les modifier dans un premier temps ;

- **ceux qui engendrent l'erreur**, car utilisés en dehors des situations pour lesquelles ils étaient opératoires. Il sera nécessaire de les modifier.

un certain
nombre de
travaux montrent
que ces
représentations
seraient
indestructibles

Ces deux approches, avons-nous dit, tendent à détruire les raisonnements spontanés ; or on peut émettre l'hypothèse, à partir des résultats d'un certain nombre de travaux, que **ces représentations sont indestructibles**. En effet, il a été montré dans des recherches menées à l'INRP ⁽²²⁾ que, si celles-ci ont pu être remplacées dans l'esprit des élèves par un savoir scientifique dans des situations données, dès que l'élève se retrouve dans une situation nouvelle inconnue de lui, il aura tendance à réutiliser les schèmes spontanés construits antérieurement.

• La prise en compte des raisonnements spontanés par les élèves eux-mêmes

Si on se place maintenant du point de vue de l'élève, apprendre la physique, c'est construire, à côté d'un savoir commun déjà structuré et opératoire, un savoir scientifique dont les modalités de construction sont différentes.

construire du
savoir scientifique,
c'est rompre
souvent avec
d'anciennes
structures de
pensée

Du point de vue opératoire, le savoir commun est en général plus rapide à mobiliser et demande moins d'efforts que le savoir scientifique. Le savoir commun faisant intervenir des relations moins complexes que celles qui sont mises en œuvre par la connaissance scientifique. Mais **le mode de structuration du savoir scientifique est souvent en rupture avec l'ancienne**. Citons à ce propos A. Kerlan ⁽²³⁾ : «*On objectera que les obstacles épistémologiques sont des exemples incontestables de l'interférence de l'ordre subjectif et de l'ordre scientifique. Mais c'est précisément ce en quoi ils constituent des obstacles. Les franchir implique nécessairement la disjonction des deux ordres. A la notion d'obstacle doit être associée celle de rupture ou de coupure épistémologique...*» Ce que résume Bachelard en : «*La science divise le sujet*».

Or si cette rupture semble nécessaire pour ancrer la nouvelle connaissance, celle-ci n'efface pas l'ancienne. **Aussi est-il nécessaire que les élèves prennent conscience de l'exis-**

(22) KERLANA., «Didactique et épistémologie : éclairages bachelardiens», ASTER, 5, *Didactique et histoire des sciences*, 1987.

(23) Voir note 22

aussi faut-il que les élèves aient conscience de leurs représentations

il faut les mettre en échec de différentes manières pour renforcer la prise de conscience

l'HST peut permettre un renforcement de type social

une confrontation des différents modèles à l'expérience est toujours nécessaire

tence de leurs raisonnements naturels pour être en mesure de leur assigner des limites au-delà desquelles ils auront à s'en défier. Pour atteindre un tel objectif, il est nécessaire :

- **dans un premier temps de déstabiliser le raisonnement naturel de l'élève en le mettant en échec ;** pour cela, nous proposons trois étapes :

- **faire prendre conscience à l'élève de son mode de raisonnement spontané** en le confrontant par exemple à celui de ses camarades qui utilisent des raisonnements différents. Ainsi il faut placer les enfants dans des situations expérimentales ou de pensée où ils pourront exprimer leurs représentations,
- **montrer à l'élève que son mode de raisonnement aboutit à des conclusions incompatibles avec l'expérience** dans certains cas,
- **lorsque cela s'y prête, essayer de délimiter les situations où son raisonnement est compatible avec l'expérience, des situations où il ne l'est pas ;**

- **dans un deuxième temps, nous proposons l'utilisation de textes historiques pour montrer aux élèves que les physiciens ayant étudié les premiers ces situations ont eu le même genre d'obstacles à surmonter** (même si les situations des élèves et des premiers physiciens ne sont pas totalement semblables). L'objectif visé par l'introduction de l'histoire des sciences est de créer une relation sciences-société qui n'est pratiquement pas envisagée actuellement. Mais principalement, l'utilisation de textes historiques vise à renforcer l'ancrage du mode de raisonnement scientifique que l'on désire faire acquérir aux élèves en leur montrant que les physiciens ont été obligés de changer leur mode de raisonnement. On peut émettre l'hypothèse que **ce renforcement de type social** (les physiciens faisant partie de la communauté scientifique) **permettra une rupture plus profonde** que celle qui s'appuie actuellement sur la confrontation avec l'expérience ;

- **dans un troisième temps, à l'aide de diverses situations expérimentales et aussi de textes historiques, mettre en place un raisonnement scientifique.** Cela ne peut avoir lieu sans l'aide du professeur qui doit servir de guide. Si on néglige cette dernière étape, le raisonnement naturel peut s'adapter et même sortir renforcé du conflit cognitif créé dans la première étape. L'histoire des sciences, là encore, permettant d'étayer, par son aspect social et institutionnel, l'ancrage dans l'esprit des élèves du modèle scientifique.

2.5. Exemple de séquence expérimentée avec des élèves : Ampère et le sens conventionnel du courant

L'extrait des Annales de physique et chimie (p. 110) montre dans quelles conditions Ampère introduit le concept de courant électrique et propose un sens conventionnel pour celui-ci.

- Problématique et stratégie d'enseignement

En 1^{er} cycle, l'introduction du sens conventionnel du courant dans les conducteurs métalliques puis celle du modèle électronique du courant posent des problèmes à un nombre important d'élèves. En effet, on constate que ces élèves ont du mal à mémoriser le sens conventionnel du courant, le confondant avec le sens du déplacement des électrons de conduction du conducteur métallique. Quelques entretiens individuels avec des élèves ont permis de cerner les principales raisons de ces difficultés.

les élèves ne comprennent pas les raisons de l'existence de deux modèles de courant dans les métaux

Les élèves ne comprennent pas les raisons du choix du sens conventionnel du courant. La plupart du temps, ce sens leur est imposé de façon dogmatique sans la moindre explication. Les expériences présentées (celle d'Ørsted avec l'aiguille aimantée ou celle où on observe le sens de rotation d'un petit moteur ou encore celle de l'électrolyse de l'eau par exemple) justifient, en partie l'hypothèse d'un courant unique (à condition de déplacer l'aiguille ou le moteur le long du circuit ou encore l'électrolyseur), mais en rien le sens particulier choisi par Ampère.

Les élèves sont perturbés par l'introduction, quelques semaines après, du **modèle électronique du courant** faisant intervenir des charges électriques élémentaires négatives se déplaçant en sens inverse du sens conventionnel. La compréhension de cette modélisation demande la connaissance préalable du modèle simplifié de l'atome et de son opérationnalisation sur quelques phénomènes qu'il permet d'expliquer.

Enfin ces deux modèles de courant unique viennent se superposer au modèle spontané de courants antagonistes qui est présent dans l'esprit de plus de la moitié des élèves de quatrième avant d'aborder ces notions. Actuellement, il n'est absolument pas tenu compte des représentations préalables des élèves dans les séquences d'enseignement traditionnelles.

Nous avons donc émis l'hypothèse que ces différents éléments créent un obstacle à l'assimilation et l'opérationnalisation par les élèves de ces deux modèles d'apparence contradictoire. Aussi, pour permettre aux enfants de mieux comprendre, accepter et rendre opératoire ces deux modèles, nous pensons qu'une articulation entre la prise de conscience de leur propre représentation, l'utilisation de quelques éléments d'HS et la réalisation de quelques expériences, est susceptible de les aider à surmonter l'obstacle précédemment décrit.

- Émergence des représentations des élèves sur le courant électrique

faire émerger les représentations des élèves

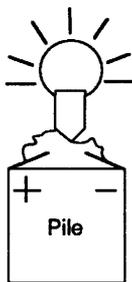
Dans un premier temps, il est indispensable de faire émerger les représentations des élèves sur le courant électrique (avant que les deux modèles ne soient abordés) dans les deux buts suivants :

- pour que le professeur puisse construire sa séquence en fonction de celles-ci

- pour que les élèves puissent prendre conscience de leur propre mode de raisonnement spontané et de celui de leurs camarades.

Pour cela, dans les classes de l'expérimentation nous avons utilisé un questionnement de type papier-crayon.

«Pour expliquer l'expérience schématisée ci-dessous, choisis la phrase qui te paraît la plus correcte :



1. Un courant circule de la borne + de la pile vers l'ampoule.
2. Un courant circule de la borne + de la pile vers la borne - en passant par l'ampoule.
3. Deux courants circulent en partant l'un de la borne +, l'autre de la borne - de la pile. Ils se rencontrent dans l'ampoule.»

leur faire prendre conscience que leurs camarades n'ont pas forcément la même représentation qu'eux

Avec les élèves de deux classes de quatrième, environ les deux tiers d'entre eux choisissent le modèle des courants antagonistes et un tiers celui du courant unique circulant d'une borne à l'autre de la pile. Le modèle unifilaire avec arrêt du courant dans l'ampoule n'est pratiquement pas choisi par les élèves.

Cette étude, dans un deuxième temps, est réinvestie en classe pour faire prendre conscience aux élèves que leur propre mode de raisonnement n'est pas isolé dans la classe, qu'ils sont plusieurs à penser de la même manière, mais que d'autres n'ont pas le même modèle explicatif spontané qu'eux.

- Utilisation du texte d'Ampère et introduction du sens conventionnel du courant

Ce texte permet de faire prendre conscience aux élèves que les physiciens du début du 19^e siècle expliquaient ce type de phénomène sensiblement comme eux et de leur présenter la raison du choix du sens conventionnel par Ampère. A propos de la comparaison du modèle des courants antagonistes des élèves et des premiers physiciens, on pourra se reporter à l'analyse comparative citée plus haut (p. 111).

Ce texte est difficile à comprendre pour de jeunes élèves et nécessite de prendre certaines précautions. Deux sortes de difficultés ont été rencontrées par les élèves :

le texte d'Ampère permet aux élèves de prendre conscience que les physiciens du 19^e siècle avaient des idées assez semblables

- Du point de vue du vocabulaire :

- l'action électromotrice : action de mise en mouvement de l'électricité par la pile ;
- Corps électromoteurs : corps pouvant provoquer une action électromotrice : pile par exemple à l'époque ;
- Confusion entre direction et sens dans le texte : les élèves font eux-mêmes cette confusion ;
- Oxygène : oxygène (orthographe différente au début du 19^e siècle).

- Du point de vue des tournures de phrases : la deuxième partie du texte n'est constituée que par une phrase compliquée et très longue. Il est nécessaire de la couper en plusieurs parties limitées par les points-virgules. En absence de manipulation et de schématisation cette partie du texte est incompréhensible par de jeunes élèves.

Dans l'expérimentation, nous avons partagé le texte en deux parties.

La première partie, traitée collectivement, permet de faire trouver par les élèves qu'Ampère propose une explication assez semblable à celles d'un grand nombre d'élèves de la classe. Cette partie est assez simple (à part quelques mots à expliquer) et la mise en relation entre leurs représentation et l'explication d'Ampère est facilement réalisée par les élèves.

La deuxième partie qui explique les raisons du choix par Ampère d'un sens conventionnel pour le courant est aussi sans grande difficulté pour les élèves. Par contre, la fin de cette partie est plus délicate en raison de la longueur de la phrase dans laquelle Ampère définit le sens conventionnel du courant d'une part dans la pile et d'autre part dans le conducteur réunissant ses bornes. Pour permettre la compréhension et donc la détermination par les élèves eux-mêmes du sens conventionnel du courant, sa reformulation en termes plus simples, il est indispensable de faire **réaliser l'expérience** par les élèves et **de la faire schématiser** en indiquant le sens conventionnel dans la pile et dans le reste du circuit. Il est intéressant alors de faire porter les signes des deux bornes de la pile sur le schéma, pour permettre ensuite aux élèves de trouver plus facilement une formulation plus simple à mémoriser.

En prenant ces précautions, les tâches d'expérimentation, de schématisation et de reformulation du sens conventionnel choisi par Ampère ne posent pratiquement pas de difficultés à des élèves de quatrième.

- Expériences complémentaires pour montrer que le modèle des courants antagonistes n'est pas opératoire pour expliquer certains phénomènes

A ce moment de la séquence d'enseignement, il est important de faire manipuler les élèves pour qu'ils s'aperçoivent par eux-mêmes que le modèle des courants antagonistes ne permet pas de comprendre certaines observations expérimentales.

pour une bonne compréhension du texte, la réalisation de l'expérience décrite et sa schématisation sont nécessaires

nouvelles confrontations des modèles à des expériences

Nous avons fait réaliser par les élèves les manipulations suivantes :

1 - Dans un circuit constitué d'un générateur et d'une ampoule adaptée, nous leur avons demandé de placer à différents endroits du circuit une aiguille aimantée sous le fil et de noter le sens de déviation de l'aiguille (en circuit ouvert, le fil est placé parallèlement à l'aiguille aimantée).

2 - Dans un circuit similaire, nous leur avons demandé de placer un petit moteur d'un côté puis de l'autre de l'ampoule et de noter le sens de rotation du moteur.

3 - Enfin de recommencer ces expériences en intervertissant les connexions des fils sur les bornes du générateur.

A la suite de cette phase d'observation, il a été demandé de dire quel(s) modèle(s) des deux présentés (des courants antagonistes et du courant unique) permet(tent) de rendre compte des observations faites dans :

- la manipulation 1
- la manipulation 2
- la manipulation 3 par rapport successivement aux manipulations 1 et 2.

résultats et
difficultés
rencontrées par
les élèves

En ce qui concerne les observations 1, 2 et 3 la quasi-totalité des élèves ont réalisé des observations correctes (à noter que quelques élèves ont eu du mal à respecter les consignes de la première manipulation, en particulier à placer le fil du circuit ouvert parallèle à l'aiguille).

Pour l'interprétation de ces observations avec l'un ou l'autre des modèles disponibles, les élèves ont éprouvé quelques difficultés en raison du passage du niveau phénoménologique à un niveau d'abstraction. Cependant, environ deux élèves sur trois ont bien exprimé que le modèle des courants antagonistes leur semblait inadapté pour expliquer ces phénomènes. Le modèle du courant unique leur permet de comprendre pourquoi l'aiguille aimantée ou le moteur tournent dans le même sens tout le long du circuit.

Par contre les comparaisons entre la manipulation 3 et les manipulations 1 et 2 et leur interprétation possible avec les deux modèles n'ont été réussies que par un peu moins d'un élève sur deux. On peut émettre l'hypothèse que la tâche intellectuelle demandée aux élèves est, dans ce cas, supérieure aux capacités moyennes de ces derniers, à ce niveau d'âge, en raison de la nécessité de mise en relation comparative de trois observations et la prise en compte successive de deux modèles abstraits pour les interpréter.

unanimité sur
l'arbitraire du
choix d'Ampère

Après une phase de récapitulation collective dans laquelle il a été montré que seul le modèle du courant unique permet de comprendre l'ensemble de ces observations, il a été demandé aux élèves si ces diverses observations prouvent le sens du courant unique décidé par Ampère ? Les réponses ont été pratiquement unanimes pour indiquer que ces expériences ne permettent pas de savoir dans quel sens se déplace le courant unique. Il a été insisté alors sur l'aspect arbitraire de ce choix effectué par Ampère.

- Introduction du modèle du courant électrique dans les conducteurs métalliques actuellement accepté par la communauté scientifique

passer
rapidement au
modèle
électronique

Pour éviter que le modèle des courants antagonistes ne soit renforcé par le texte d'Ampère chez les élèves qui l'avaient exprimé et ne s'installe chez ceux qui ne l'avaient pas, il est nécessaire d'introduire rapidement ensuite le modèle électronique. Cette approche nécessite d'abord comme pré-requis la connaissance du modèle simplifié de l'atome. Il est conseillé de situer dans l'histoire (fin du 19^e siècle) cette hypothèse électronique de la nature du courant dans les conducteurs métalliques.

- Évaluations réalisées de la séquence

évaluation dans
les semaines qui
ont suivi...

Par des entretiens individuels réalisés dans les semaines qui ont suivi la séquence, la plupart des élèves interrogés ont cité Ampère. Ils ont ajouté qu'il pensait à l'existence de courants antagonistes mais que pour des raisons pratiques il a proposé un courant unique avec un sens fixé arbitrairement qu'ils connaissaient tous. Ils ont été marqués par le fait que de nombreux élèves avaient la même idée initiale qu'Ampère et qui s'est avérée fautive ensuite.

... positive...

Plus de la moitié des élèves ont dit spontanément avoir apprécié la présentation d'une connaissance en physique associée au savant qui l'a émise pour la première fois. Quelques-uns ont dit mieux s'en souvenir.

Ainsi, l'utilisation ponctuelle de l'HS en articulation avec des manipulations peut permettre de motiver et renforcer davantage l'ancrage de connaissances dont l'acquisition posait problème auparavant.

... de même un
an après

Un an après la séquence, la question, qui avait été posée pour faire apparaître les représentations des élèves, leur a été présentée. Tous les élèves ont choisi le modèle du courant unique circulant d'une borne à l'autre de la pile. A la question, quel est ce sens, 90 % des élèves ont donné la bonne réponse (certains rajoutant le sens des électrons de conduction dans les conducteurs métalliques). Sur des classes n'ayant pas participé à l'expérimentation, un peu moins d'un élève sur deux se souvient du sens conventionnel du courant un an plus tard et environ 20 % des élèves choisissent encore le modèle des courants antagonistes.

CONCLUSION

A l'heure où toutes les instances au niveau national (mais aussi de nombreux pays) s'interrogent sur les finalités de l'enseignement scientifique et les moyens à mettre en œuvre pour augmenter le flux d'élèves scientifiques et techniques dont notre société a besoin, la réflexion sur un enseignement de l'HST peut apporter certains éléments de réponse.

D'une part, un enseignement de l'HST dans la formation initiale des professeurs peut permettre à ces derniers d'acquérir une **véritable culture scientifique** en les confrontant aux aspects philosophiques mais aussi économiques, politiques et sociaux de la science et de la technique. Cette possibilité de prise de recul par rapport au savoir disciplinaire reçu ne peut être que bénéfique. C'est pour eux l'occasion de remettre en cause des représentations sociales sur la science et de s'interroger sur les obstacles rencontrés par les chercheurs lors de l'élaboration du savoir scientifique.

D'autre part, l'introduction d'un enseignement d'HST dans les collèges et lycées présente un double intérêt pour l'enseignement scientifique.

- Pour les professeurs, il peut être l'occasion d'une **réflexion sur leurs pratiques pédagogiques** en développant l'ouverture de leur enseignement disciplinaire vers les disciplines voisines. En effet, un enseignement de l'HST tel qu'il a été présenté ne peut être, en ce qui concerne l'aspect culturel, que pluridisciplinaire. Par ailleurs, il peut inciter les professeurs, à propos de certains obstacles didactiques majeurs, à utiliser un modèle pédagogique constructiviste prenant en compte les représentations des élèves.

- Pour les élèves, le contact même partiel avec l'HST peut être l'occasion de **modifier un certain nombre de leurs représentations sur la science en général mais aussi en ce qui concerne des points particuliers du savoir scientifique qu'ils ont à construire**. Cette double approche ayant pour but de construire des éléments d'une réelle culture scientifique ouverte vers l'histoire des idées mais aussi les relations science-technique et société. Elle est souvent une source de motivation vis-à-vis de l'enseignement des sciences. C'est aussi un élément pour lutter contre *l'insularisation des savoirs liés à la division en disciplines juxtaposées*.⁽²⁴⁾ mais au-delà de la modification des idées des élèves sur la science, **un tel enseignement peut amener l'élève à réfléchir sur ses représentations spontanées et son mode de raisonnement intuitif**. Cette orientation métacognitive des apprentissages, liée à l'utilisation de l'HST, pourrait donner un caractère innovant à cet enseignement. Malgré toutes les réserves spontanément émises sur l'introduction de l'HST par les scientifiques et les enseignants des sciences, les orientations culturelles et métacognitives méritent d'être des axes de recherches en didactique des sciences dans les prochaines années.

Pierre FILLON
Collège Charles Péguy, Paris 19^e
Équipe de didactique des sciences
expérimentales, INRP

(24) *Rapport de l'académie des sciences pour l'histoire des sciences et des techniques dans l'enseignement scientifique*, Institut de France, Académie des sciences, 1984.

VERS LA CONSTRUCTION PAR LES ÉLÈVES D'UN OUTIL D'AIDE À L'ÉCRITURE D'UNE EXPLICATION SCIENTIFIQUE

Camille Durnerin
Alain Robert

Les élèves écrivent aussi en classe de science, mais ils réussissent mal. Comment les aider ?

D'abord en les observant : un procédé d'enquête mettant en relation les modes de gestion de l'écriture et les caractéristiques des textes produits, analysés par rapport à leur degré de réussite dans le contexte scolaire, permet de comprendre les types d'incompétences des élèves et d'en apprécier les causes possibles.

Ensuite en engageant les élèves dans un travail métacognitif : les résultats du travail d'enquête fournissent à l'enseignant des éléments utiles

pour placer les élèves dans des situations qui les rendent lucides sur leurs démarches d'écriture

pour permettre aux élèves de mettre au point un outil d'aide à l'écriture d'une explication en sciences.

une nouvelle
place pour l'écrit
dans la classe de
sciences

Peu à peu, les modèles transmissifs de la pédagogie disparaissent au profit de modèles où les élèves sont engagés dans des activités d'investigation et impliqués dans des démarches actives de construction du savoir.

L'enseignant qui décide de placer ses élèves dans des situations de résolution de problème se rend vite compte qu'à côté des difficultés didactiques qu'il rencontre alors, il se trouve confronté à d'autres difficultés, non négligeables et nouvelles pour lui, qui sont celles de la production d'écrit par les enfants⁽¹⁾. En effet, engager l'élève dans une pédagogie où il sera constamment fait appel à ses compétences méthodologiques, c'est l'amener à **écrire**.

construction des
connaissances

Dans ce type de pédagogie l'écrit intervient à la fois comme moyen et comme fin de la classe de science et joue un rôle essentiel dans la mise en forme et dans la construction de la connaissance :

-
- (1) Des travaux préalables (voir Aster 6, 1988 «Apprendre à écrire pour apprendre les sciences») avaient montré que ces difficultés se situaient :
- au plan communicationnel (difficultés à se décentrer, à se mettre à la place du destinataire, à prendre en compte ce qu'il sait) ;
 - au plan de la planification globale du texte (structure, progression, distinction description/explication) ;
 - au niveau de la mise en texte (connecteurs).

mise en forme et
conceptualisation

- l'écrit est l'intermédiaire de la construction du savoir car il intervient constamment dans les processus d'organisation et de régulation des actions qui conduisent à la découverte. Dans ce cas, écrire, c'est faire acte des différents processus d'une recherche scientifique ; l'écrit est l'instrument de la construction de la connaissance ;
- l'écrit est aussi le moyen de témoigner de la connaissance élaborée. L'écrit mettant en forme, à un moment donné, l'état d'une connaissance est l'occasion d'une reprise des différentes étapes de sa construction. La mise au point d'un tel texte ne peut s'obtenir qu'au terme d'une réelle mise au clair des idées, ce qui autorise à penser que l'activité d'écriture est indissociable de l'activité de conceptualisation.

comment aider
les élèves à
améliorer leurs
procédures
d'écriture

Toutes ces réflexions préalables ne font que souligner l'importance qu'il y a actuellement à considérer qu'apprendre à écrire en sciences fait partie intégrante de l'acte d'apprendre les sciences, ce qui au passage, ne semble correspondre qu'à un minimum d'honnêteté professionnelle pour un enseignant qui sait bien que toute évaluation dans le domaine des sciences, et à quelque niveau que ce soit, passe par l'écrit.

Les problèmes que l'on peut constater lorsqu'on met les élèves en situation d'écriture, surtout lorsqu'on travaille comme c'est notre cas dans un collège à population socioculturellement peu favorisée, sont importants. Mais nous ne pensons pas qu'ils sont liés à des obstacles insurmontables. C'est pourquoi nous avons décidé d'en savoir plus en cherchant à préciser comment les élèves s'y prenaient pour écrire en sciences. Puis de partager avec eux ce savoir et de les associer à une réflexion sur leurs procédures d'écriture et sur les moyens de rendre ces procédures plus efficaces ⁽²⁾.

un modèle pour
comprendre les
processus
rédactionnels

Les modèles théoriques élaborés par les psycholinguistiques nous indiquent qu'un certain nombre de compétences entrent en jeu dans l'écriture, telles que : se représenter le texte à produire selon le public, la fonction du texte ; avoir un répertoire linguistique adéquat et savoir y puiser ; savoir élaborer les idées par préparation, relecture et réorganisation, réécriture. Michel Fayol et Bernard Schneuwly ⁽³⁾ révèlent trois grands types d'opérations qui interviennent dans la production de texte : la planification, la textualisation et la relecture-révision.

«L'écrit», déclare M. Fayol, «du fait d'abord de la lenteur de sa production, du fait ensuite de l'absence de la pression communit-

(2) Nous avons conduit ce travail dans le cadre d'une recherche sur l'apprentissage des compétences méthodologiques en sciences expérimentales de l'équipe de didactique des sciences expérimentales de l'INRP.

(3) Ce modèle apparaît dans les deux premiers articles d'un ouvrage collectif édité par GREGG et STEINBERG, *Cognitive Processes in Writing*, Hilladale, New Jersey, 1980. Un rapide compte rendu en avait été fait par M. FAYOL dans *Repères*, 63, 1984. Une présentation plus détaillée et plus illustrée se rencontre dans l'article de C. GARCIA-DEBANC : «Intérêt des modèles du processus rédactionnel pour une pédagogie de l'écriture», dans *Pratiques*, 49, 1986.

cative, du fait enfin de la trace révisable à laquelle il aboutit, facilite et sans doute nécessite le recours à une planification relativement étendue. Or celle-ci s'effectue à au moins deux niveaux : celui de l'élaboration des idées en fonction de l'audience et du but assigné (planification rhétorique ou macroplanification) ; celui de l'organisation devant conduire au texte dans sa forme finale (micro-planification).

Dans quelle mesure l'enfant est-il capable de s'acquitter des exigences de cette double planification ?

1. DES ÉLÈVES ÉCRIVENT EN CLASSE DE SCIENCES. COMMENT S'Y PRENNENT-ILS ?

1.1. Un problème posé aux élèves : l'expérience de la surprenante fontaine

un phénomène
surprenant

Les élèves d'une classe de cinquième réalisent par groupes l'expérience de la surprenante fontaine ⁽⁴⁾ : la réussite est spectaculaire. Une fontaine jaillit dans le flacon, lorsqu'ils réalisent le montage indiqué par la fiche reproduite ci-après.

dont l'explication
est complexe

Les élèves sont installés en groupes, ils manipulent, puis cherchent à s'expliquer mutuellement le phénomène. Le professeur passe d'un groupe à l'autre, fait expliciter les raisonnements en train de se construire, demande des reformulations; Pour les groupes en difficulté, il favorise la réactivation de certains savoirs utiles, et amène les élèves à se souvenir d'expériences déjà faites et de raisonnements déjà tenus.

Les élèves de cette classe ont déjà travaillé sur les notions de pression et de pression atmosphérique. Ils savent notamment que lorsqu'on fait apparaître une différence de pression entre deux milieux séparés par un liquide, le liquide se déplace. Ils ont donc les moyens conceptuels d'élaborer l'explication attendue.

les élèves
disposent en
principe des
éléments
théoriques

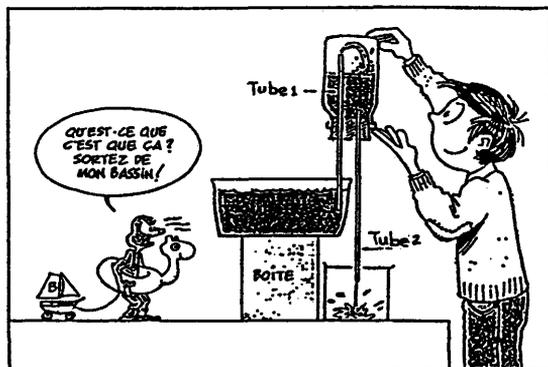
Pendant toute la phase proprement expérimentale du travail, le professeur va permettre à chaque groupe d'élaborer à l'oral et dans un échange collectif une explication satisfaisante du phénomène. Il ne passera à l'étape suivante qu'après s'être assuré que chaque enfant a entendu ou a contribué à l'énoncé de cette explication.

(4) Fiche pédagogique élaborée à partir d'un document de la revue scientifique pour enfant *Les petits débrouillards*.

UNE SURPRENANTE FONTAINE

Matériel :

Deux bassines
Un flacon muni d'un bouchon deux trous
Deux tubes de verre.



Remplir à moitié le flacon d'eau
Boucher l'orifice du flacon et installer les tubes de verre comme l'indique le schéma
Renverser le flacon en le tenant au dessus des deux cuvettes, comme l'indique le schéma du montage
Procéder à un réglage des tubes de verre si c'est nécessaire.

L'explication du phénomène est assez complexe. En effet les événements observables ne peuvent pas servir de fil conducteur simple pour la conduite explicative. D'abord parce que cette suite d'événements paraît simultanée, alors que l'explication doit découper deux temps successifs : l'écoulement de l'eau par le tube 2 provoque une dépression dans le flacon ; la pression atmosphérique s'exerçant à la surface de la bassine surélevée devient plus élevée que la pression à l'intérieur du flacon et fait monter l'eau dans le tube 1.

Ensuite parce que le résultat apparent, la circulation de l'eau, va dans le sens inverse de ce lui de la chaîne causale, le temps 1 qui déclenche le temps 2 est celui de la deuxième moitié du trajet de l'eau, il semble se produire après le temps 2 et non avant. Sauf si l'on met en évidence de façon perceptible le phénomène déclencheur, par exemple en gardant bouché le tube 2 jusqu'à ce que le montage soit complètement réalisé : ceci permet de constater que c'est au moment où l'eau commence à couler par le tube 2 que le jet d'eau se produit. Mais comme le jet d'eau apparaît quasi-instantanément, ce n'est pas facile à voir.

D'autre part l'explication met en jeu la compréhension de ce qui provoque une baisse de pression - temps 1 -, et cette compréhension implique un raisonnement en termes de différence de pression : c'est parce que la pression interne au bocal a diminué que la pression atmosphérique est devenue relativement plus forte. Ce raisonnement doit porter sur le système bassine-bocal.

Bref, cette explication demande d'articuler fortement les faits et la théorie.

Des expériences précédentes nous avaient en effet montré qu'il ne suffit pas de savoir (connaissances factuelles) pour savoir utiliser (connaissances opératoires) et encore moins pour savoir écrire à propos de... (forme achevée du savoir).

1.2. Le passage à l'écrit

un moyen pour observer les élèves en train d'écrire

Les élèves s'installent pour écrire. Ils devront le faire individuellement, ils peuvent se servir d'un brouillon. De plus le professeur leur distribue une grille qu'il commente. Toutes les minutes environ, avec une périodicité non régulière, le professeur va interrompre les élèves dans leur travail d'écriture. Les élèves indiqueront alors ce qu'ils étaient en train de faire juste au moment de l'interruption et cocheront dans la grille la case correspondant à la sous-tâche d'écriture qui était la leur au moment de l'interruption. Cette grille est une adaptation pour cette expérimentation d'une grille empruntée à Michel Fayol, d'après la modélisation des mécanismes psycho-linguistiques mis en jeu dans l'écriture proposée par Hayes et Flower. Elle comporte les cinq catégories suivantes :

- je cherche à comprendre l'expérience ;
- je cherche une idée pour écrire ;
- j'écris ;
- je relis ;
- je modifie ce que j'ai écrit.

me, Jovanovski					me, Landella Stephanie						
Au signal, indique ce que tu es en train de faire					Au signal, indique ce que tu es en train de faire						
	Je cherche à comprendre l'expérience	Je cherche une idée pour écrire	J'écris	Je relis	Je modifie ce que j'ai écrit		Je cherche à comprendre l'expérience	Je cherche une idée pour écrire	J'écris	Je relis	Je modifie ce que j'ai écrit
1			X			2	X				
2			X			3			X		
3			X			4			X		
4	X	X				5			X		
5			X			6			X		
6			X			7			X		
7			X			8			X		
8					X	9				X	
9		X				10			X	X	
10		X				11			X		
11			X			12			X		
12			X			13			X		
13		X				14			X		
14		X				15			X		
15		X			X	16				X	
16		X				17			X		
17		X			X	18					X
18						19					
19						20					
20						21					
21						22					
22						23					
23						24					
24						25					
25						26					
26						27					
27						28					
28						29					
29						30					
30						31					
31						32					
32						33					
33						34					

Sur dix neuf minutes de travail, l'exemple de deux stratégies d'écriture très différentes l'une de l'autre.

Les résultats semblent indiquer certaines relations entre le mode de gestion de l'écriture et la qualité du texte produit. En première approche donc, on pouvait penser que l'aisance ou la difficulté à produire un texte explicatif sont liées aux modes de gestion de l'écriture. En fait, la suite de notre travail montrera que ces relations sont plus complexes. C'est à travers la triple confrontation des caractéristiques portant sur la pertinence conceptuelle, des caractéristiques portant sur la structure des textes, et des caractéristiques portant sur les activités repérées à l'occasion de la production d'écrit, que nous avons été amenés à comprendre les différents niveaux d'obstacles rencontrés par les élèves lorsqu'il s'agit pour eux d'expliquer par écrit.

1.3. La dimension conceptuelle et la dimension communicationnelle dans la réussite du texte explicatif

une consigne qui amène les élèves à prendre en charge l'explication du point de vue conceptuel et du point de vue communicationnel

Dans la classe de sciences, l'élève produit en général peu de textes vraiment personnels. L'élève écrit presque essentiellement au moment des contrôles et cette activité consiste le plus souvent à reconnaître la partie utile du cours, compte tenu de la question ou du problème posés et à retranscrire une réponse dans des termes identiques ou proches de ceux du professeur.

Mais ici, la consigne «*fais un texte qui permettrait à quelqu'un que tu connais (parent ou ami) de comprendre ce qui se passe dans l'expérience de la surprenante fontaine*» n'est pas neutre. Elle place l'élève dans une situation d'écriture inhabituelle pour lui, dans laquelle il aura à prendre en charge l'explication non seulement du point de vue conceptuel, mais aussi d'un point de vue communicationnel ⁽⁵⁾.

sur quels critères classer les productions des élèves et comment hiérarchiser ces critères

Pour l'enseignant qui aura ensuite à analyser les productions des élèves, il s'agit de préciser les raisons qui l'amènent à décider qu'un texte est satisfaisant. Ici les dimensions de la réussite, à la croisée de l'aspect cognitif et de l'aspect communicationnel, pourraient se hiérarchiser de la façon suivante :

ne pas repérer le savoir utile

1 - L'exigence première est d'abord cognitive : il s'agit de repérer, dans les savoirs en mémoire, ceux qui sont précisément utiles à cette explication. Mais certains élèves n'y parviendront pas ou y parviendront mal.

repérer le modèle mais ne pas savoir l'adapter aux faits

2 - Le seul repérage ne suffit cependant pas à garantir la qualité de l'explication. Il faut également que la théorie éclaire les faits. Ce qui est déterminant ici pour l'explication est encore de l'ordre du conceptuel : certains élèves ne parviendront pas à clarifier les faits à partir de la théorie choisie.

3 - Les exigences cognitives sont satisfaites, le modèle est repéré, il est adapté aux faits, mais l'explication écrite déçoit

(5) voir note 1 où on explique ce qu'il faut entendre par point de vue communicationnel.

repérer le modèle
mais mal traduire
à l'écrit l'usage
qu'on en a fait

repérer un
modèle,
l'adapter
adroitement pour
expliquer des
faits, savoir rendre
communicable sa
démarche
explicative

quatre niveaux
de performance,
que l'on pourra
relier aux modes
de gestion de
l'écriture

description
chronologique

essentiellement à cause de maladresses dans l'organisation du texte (c'est ce que l'on désigne sous le terme de structure de texte : aujourd'hui on parle de macrostructure ou de superstructure).

- 4 - Les exigences cognitives et communicationnelles sont satisfaites. Les textes organisent une série d'énoncés qui permettent au lecteur de suivre et de comprendre les processus qui ont permis au scripteur d'interpréter les faits propres à l'expérience de la fontaine surprenante dans le cadre d'une théorie sur la différence de pression relative entre deux milieux séparés par un liquide.

Cette analyse porte donc à classer les textes des élèves en quatre niveaux de performance. A partir de là, on pourra relier chacun de ces niveaux de performance au mode de gestion de l'écriture.

Derrière cette mise en système se cache l'espoir, sinon d'expliquer, du moins d'essayer de mieux comprendre le mode de fonctionnement des élèves impliqués dans l'écriture d'une explication. Cette clarification est indispensable si on désire être en mesure de renvoyer aux élèves leur image en action, en partant de l'idée que disposer d'un regard sur soi-même constitue la porte d'entrée d'un travail métacognitif ⁽⁶⁾.

1.4. Quatre niveaux de performance, liés à la gestion de l'écriture

- groupe 1 : les élèves qui ne repèrent pas le savoir écrivent des textes exclusivement descriptifs

Ces textes sont organisés selon la chronologie des actions qui ont présidé à la réalisation du montage. Ils ne proposent pas d'explication. Les élèves de ce groupe ne passent pas ou passent peu de temps à autre chose qu'à écrire. Ils n'ont pas recours à ce qu'on pourrait appeler des opérations de planification de l'écriture ⁽⁷⁾.

(6) voir A. VÉRIN, «Apprendre à écrire pour apprendre les sciences», *Aster*, 6, 1986, pages 31-32, à propos de A.M. MÉLOT et A. N'GUYEN XUAN.

(7) Pour faciliter la lecture, la plupart des textes d'élèves ont été dactylographiés (ils sont repris textuellement, seules l'orthographe et la ponctuation ont été rectifiés). Cependant nous avons reproduit quelques textes d'élèves tels quels, dans la deuxième partie, en particulier quand ils comportaient des schémas.

Alors écoute de 16h à 17h, j' ai eu sciences physiques on a fait une de ces expériences avec les copains. J' t'explique.

D'abord on prend un flacon rempli à moitié d'eau on y met un bouchon de caoutchouc au bout qui a deux trous. Dans ces deux trous on met deux tiges creuses de verre.

On prend un bac rempli d'eau sur un socle et un autre à côté mais pas sur le socle. Tu me suis, bon, on bouche les deux tiges en verre et on renverse l'une dans le bac d'eau et l'autre bien sûr dans le bac vide en gardant le doigt sur l'orifice des deux tiges. Après on débouche les deux orifices. L'eau monte dans la tige de verre qui est dans le bac d'eau et dans l'autre tige l'eau coule dans le bac. Cela fait une fontaine à eau.

Texte de Guillaume

L'auteur du texte va s'efforcer d'organiser les données perceptives telles qu'elles apparaissent dans le déroulement chronologique des faits.

On disposait de 2 bassines, l'une d'eau, l'autre vide, d'un bocal à moitié plein d'eau et de 2 pailles fixées à ce bocal par un bouchon en liège.

La bassine d'eau était surélevée par rapport à l'autre et l'on tenait le bocal suspendu au dessus des bassines. L'une des pailles (paille 1) se trouvait dans la bassine d'eau et l'autre (la paille 2) un peu plus basse de la précédente se trouvait dans le vide.

La paille 1 attirait de l'eau tandis que l'autre en rejetait, et cela durait jusqu'à ce que la bassine d'eau fut vide et que ce soit l'autre qui soit pleine.

Texte de Delphine

Le caractère purement descriptif de ce texte est en plus lié à une représentation de type animiste et magique du phénomène⁽⁸⁾.

- groupe 2 : les élèves qui identifient un modèle imparfait écrivent des textes à dominante descriptive, leur modèle ne permettant pas de tout expliquer

Dans le deuxième groupe de textes, l'aspect descriptif reste prédominant. Les élèves ont cependant su mobiliser dans leur savoir un modèle explicatif. Mais ce modèle est simplement juxtaposé localement à une vision des faits encore largement réduite à la description de ce qui se passe. La gestion de l'écriture fait apparaître des temps de planification, mais surtout des temps de relecture.

On relève beaucoup d'ambiguïté dans les productions écrites des élèves de ce groupe où bien sûr on évoque une pression à l'intérieur du flacon qui est inférieure à la pression atmosphérique, mais on n'en explique pas la cause. Et il semble bien que, faute de pouvoir évoquer l'origine de cette baisse de

explication
juxtaposée à la
description

(8) Les formulations : «la paille 1 attirait... la paille 2 rejetait» qui confèrent au matériel des propriétés qu'il n'a pas en lui-même sont probablement l'expression de représentations animistes ou magiques du phénomène étudié.

pression à l'intérieur du flacon, la «toute puissance» de la pression atmosphérique se superpose à la première explication par différence de pression. L'ambiguïté à ce sujet que révèle la lecture ne provient-elle pas d'une ambiguïté qui a présidé chez son auteur au moment de la conception du texte ?

On prend un flacon avec son bouchon. On perce deux trous dans ce bouchon pour pouvoir passer deux cônes, un grand, un petit pour pouvoir faire passer l'eau à l'intérieur. On remplit d'eau à moitié le flacon. On bouche l'orifice de ce flacon avec le bouchon. On prend une bassine pleine d'eau que l'on mettra en hauteur à l'aide d'une boîte et une autre bassine vide que l'on posera sur la table. On bouche l'embout du cône le plus grand, puis on renverse le flacon. On place le plus petit cône dans la bassine pleine mise en hauteur. On règle le grand pour qu'il ne soit pas, dans le flacon, dans l'air mais dans l'eau sinon l'expérience ne marche pas. On lâche l'embout du grand cône.

Comme la pression atmosphérique, est plus forte, elle exerce une pression sur l'eau de la bassine pleine, qui fait monter l'eau dans le cône. Comme le volume de l'eau diminue et le volume de l'air augmente, la pression à l'intérieur de la bouteille diminue ce qui fait descendre l'eau dans le cône puis dans la bassine.

Texte de Valérie

La partie explicative de ce texte comporte toutes les propositions explicatives indispensables - une diminution de la pression à l'intérieur du flacon due à la diminution de volume de l'eau contenue dans ce flacon, d'où une augmentation consécutive du volume de l'air - la pression atmosphérique extérieure est également évoquée. Mais, l'organisation des propositions explicatives laisse des doutes. On peut craindre que la pression atmosphérique soit considérée comme l'unique facteur déclenchant le phénomène. Quant à la diminution de pression apparue à l'intérieur du flacon, joue-t-elle un rôle dans l'apparition du jet ou dans la descente de l'eau dans le réservoir inférieur ?

- **groupe 3 : les élèves qui ont repéré le modèle et qui ont su l'adapter produisent des textes possédant une structure satisfaisante**

Dans le troisième groupe de textes commence à apparaître une macro-structure articulant partiellement le modèle explicatif aux phénomènes observés. Les difficultés se manifestent au niveau de «l'habillage fin du texte». Les opérations de textualisation ne sont pas bien maîtrisées, les articulations du texte ne sont pas satisfaisantes. Ces textes sont produits au terme d'une gestion qui montre une augmentation significative des opérations de planification, de relecture et de correction ⁽⁹⁾.

recherche de
cohérence
explicative

(9) Les profils de gestion de l'écriture présentés page 125 correspondent à deux élèves appartenant à ce groupe. Pour ces deux élèves, on voit, dans la gestion des tâches relevées par le protocole choisi, que la part des temps où l'élève n'écrit pas approche la part des temps où il est en train d'écrire. Pour les groupes précédents, le protocole montrait que les temps consacrés à écrire dominaient très largement par rapport aux autres temps de gestion de l'écriture. Cette observation recoupe, nous semble-t-il, celle que B. SCHNEUWLY décrit sous le terme de planification au pas à pas dans *Le texte discursif à l'école*, Université de Genève, 1984.

Il faut certainement y voir le signe d'une recherche de cohérence par mises en relation fréquentes du réel et du modèle explicatif.

Pour transvaser de l'eau d'une bassine à une autre bassine, en passant par un flacon rempli à moitié par de l'eau dont l'orifice est bouché par un bouchon deux trous. Ces deux trous sont eux-mêmes bouchés par deux tubes de verre. On dispose le flacon au-dessus des deux bassines, un des tubes appelé 1 est au dessus du niveau de l'eau dans le flacon et l'autre extrémité dans une des bassines surélevée par une boîte. Le tube 2 est lui dans la bassine n° 2 et l'autre extrémité de ce tube, dans l'eau du flacon. Les deux tubes de verre sont maintenus par le bouchon deux trous. L'eau de la bassine surélevée passe dans le tube 1, l'eau montée jusque là se confond avec l'eau du flacon. Ensuite l'eau du flacon redescend dans la 2^{ème} bassine à l'aide du tube 2. Ceci est possible car la pression exercée dans le bocal est inférieure à la pression atmosphérique. Cette pression même s'exerce sur l'eau de la première bassine, autrement dit la bassine posée sur la boîte, que la pression dans le flacon est inférieure à la pression atmosphérique car l'eau du flacon se vide donc, il y a des molécules en moins. L'espace est le même, mais les molécules sont plus espacées, donc il y a moins de pression. L'eau allant de la bassine surélevée au flacon par le tube 1 peut se faire car la pression atmosphérique s'exerce sur cette bassine.

Texte de Stéphanie

Le texte commence par une longue partie descriptive dont les détails ne sont pas indispensables à l'explication. L'explication commence par l'annonce que le phénomène est possible, ce qui est une bonne idée, mais par la suite l'auteur énonce des propositions explicatives justes, cependant il ne sait pas vraiment les organiser dans une progression où elles s'enchaînent de façon parfaitement cohérente.

- **groupe 4 : les élèves qui ont repéré le modèle et qui ont su adroitement l'adapter pour expliquer les faits produisent des textes essentiellement explicatifs**

explication réussie

Dans un dernier groupe on range des textes qui sont essentiellement explicatifs et qui présentent des indices nets d'articulations abouties entre le plan cognitif et le plan communicationnel. Dans ces textes, les éléments du modèle sont réaménagés pour rendre compte des phénomènes observés et la macrostructure du texte organise les éléments de savoir en rapport avec les faits. Les phrases sont articulées par des connecteurs appropriés et la cohérence textuelle permet au lecteur de suivre la progression de l'explication.

Seules deux élèves appartiennent à ce groupe. Pour l'une d'elle, la gestion de l'écriture montre un temps partagé où l'écriture domine légèrement (ce texte est achevé au bout de 15 minutes, on a pu repérer 8 actes d'écriture contre 6 intermédiaires de planification et de relecture).

Pour la seconde élève de ce groupe dont nous présentons le texte, le protocole de surveillance de la gestion de l'écriture fournit des renseignements apparemment paradoxaux. D'abord ce texte est celui qui a été écrit le plus rapidement (11 minutes contre une moyenne de 18 minutes). Il est vrai que ce texte est

aussi plus court que les autres. De plus, le protocole révèle que ce texte aurait été apparemment produit «sans lever la plume» (sur les 11 minutes de production du texte, 9 repérages d'opérations d'écriture).

On a fait une expérience qui s'appelle «la surprenante fontaine». Il fallait faire monter l'eau dans un bocal par un tube et la faire redescendre par un autre tube dans une bassine. L'eau qui coule par le tube 2 va laisser plus de place dans le bocal pour l'air et cela va créer une diminution de la pression qui est à l'intérieur du bocal. La pression atmosphérique est devenue supérieure à la pression qui est à l'intérieur du bocal, va s'exercer sur la surface de l'eau qui est dans la bassine et ainsi va faire monter l'eau par le tube 1 dans le bocal, qui redescendra ensuite dans l'autre bassine... etc.

Texte de Noemi

Cette élève fait une amorce maladroite et trop finaliste. Son texte cherche toutefois à exprimer son intention d'indiquer rapidement le but de l'expérience. Par la suite le texte répond bien aux exigences d'articulation du cognitif et du communicationnel.

L'analyse du cas de ce texte suggère que son auteur disposait d'une réserve cognitive suffisante, c'est-à-dire d'une vision mentale préalable du texte à produire telle qu'elle pouvait procéder, tout en écrivant, aux autres opérations de gestion et de régulation du texte. C'est cette aisance à gérer la globalité de la situation de production du texte qui pourrait expliquer la rapidité de sa production.

1.5. Les compétences mises en jeu dans l'écriture d'une explication scientifique

Comme nous venons de l'amorcer à propos des textes du quatrième groupe, nous allons maintenant essayer d'établir une interprétation d'ensemble des indices provenant :

- de la pertinence conceptuelle,
- des caractéristiques des textes,
- de la gestion des activités qui participent à la mise en texte et qui seront surtout suivies à travers deux paramètres : l'importance de la planification et le temps total d'écriture.

Le texte des élèves du quatrième groupe comportent une explication scientifique cohérente et communicable. Ils répondent donc avec une certaine efficacité à la consigne proposée par le professeur. De plus, dans un cas au moins de façon nette, cette réponse est également rapide.

Ces deux symptômes, efficacité et rapidité, permettent de dire que les élèves de ce groupe montrent un certain degré d'expertise par rapport à la tâche proposée. En effet, l'expert est justement celui qui a acquis les compétences nécessaires pour gagner en efficacité et en rapidité dans un domaine donné.

Si on s'interroge maintenant sur ce qui confère à l'expert sa compétence, la réponse est : une meilleure maîtrise des opérations nécessaires à la réalisation de la tâche.

raisonner en
terme d'expertise

examiner ce qui a
rendu possible la
maîtrise experte

Or, ici, quelles sont les opérations maîtrisées ?

- la maîtrise du modèle explicatif,
- la capacité d'appliquer ce modèle à un cas particulier,
- la capacité de rendre communicable les étapes du raisonnement qui permettent d'appliquer le modèle général au cas particulier (capacité que révèle l'organisation de la macro et de la microstructure du texte).

Cette analyse en terme d'expertise permet d'identifier les compétences utiles à la réussite de la tâche proposée. Elle s'applique assez bien aux élèves du dernier groupe qui du point de vue de l'enseignant sont ceux qui ont le mieux répondu à son attente.

Mais cette analyse s'applique aussi aux autres élèves qui ne sont pas parvenus au même degré d'expertise. En ce qui les concerne, il s'agira «d'interroger» l'écart qui les sépare de la réponse dite experte. Ensuite, c'est en cherchant à comprendre la nature et les raisons de leurs incompétences qu'on pourra fournir à ces élèves des moyens susceptibles de leur permettre de dépasser leurs difficultés.

les difficultés
rencontrées par
les élèves

Pour les élèves, des deuxième et troisième groupes, qui ne sont pas parvenus à «l'expertise», le temps total de production du texte attendu est plus long car il va comporter des **temps de planification** qui ne sont plus concomitants des temps d'écriture, mais qui sont intercalés entre ces temps d'écriture. On peut d'ailleurs constater que, dans ce groupe d'élèves, l'augmentation des temps de planification, relecture et correction s'accompagne en général d'une amélioration de la mobilisation du savoir, de son organisation dans une macrostructure satisfaisante et de sa mise en forme au niveau de la structure fine du texte.

Toutefois, à elle seule la planification n'est pas une garantie de réussite. Dans certains cas les temps de planification étaient longs et le texte pas très satisfaisant du point de vue de l'explication attendue, ce qui semble indiquer que les opérations mentales qui ont lieu lors des phases de planification sont complexes et que leur réussite dépend de facteurs autres que le simple fait d'y passer du temps.

A cet égard, l'augmentation significative de la planification et de la relecture chez les enfants ayant du mal à répondre à la production attendue est symptomatique des procédures qu'ils utilisent et des difficultés qu'ils rencontrent. Symptômes que l'analyse des productions écrites finales révèle plus complètement.

ne sont pas de
même nature

C'est ainsi que des enfants ont eu du mal à **activer dans leurs savoirs en mémoire le domaine précisément utile à l'explication** attendue. D'autres enfants ont eu des difficultés dans **l'application d'une connaissance en mémoire à l'explication d'un fait particulier**. Chez ces élèves, l'augmentation des temps de planification et de relecture est très certainement la marque d'incertitudes ou d'hésitations des auteurs sur les

effets explicatifs de leurs textes. Elle peut être aussi la marque de tentatives de recherche de cohérence par mise en relation fréquente du réel avec le modèle théorique.

Quant au groupe des élèves les plus faibles qui se contentent de produire des textes purement descriptifs et qui consacrent la totalité de leur temps de production d'écrit à l'écriture seule, on peut interpréter leur démarche de la façon suivante. Ces élèves perçoivent des données : «l'eau coule», «l'eau jaillit». Ils proposent une interprétation des données perceptives. Si l'eau coule, c'est qu'il y a mise en circulation, probablement continue (c'est nous qui faisons cette interprétation de la pensée de l'élève) de l'eau du réservoir supérieur vers le réservoir inférieur (se reporter au schéma de la page 124).

Ces élèves réinterprètent les données perceptives en fonction de cette perception globale de circulation.

Le texte à écrire paraîtra d'autant plus facile à produire à l'élève que les seules exigences sont alors de bien **respecter la chronologie apparente du phénomène**.

La naïveté des textes écrits par les élèves de ce groupe où il n'apparaît jamais d'indice causal (à part quelquefois des causalités de type magique du type «le tube aspire») semble montrer que pour eux, la seule organisation temporelle des faits suffit à tout expliquer.

Ces élèves se représentent le phénomène «*en restant au simple plan du référent empirique*» (Wallon). Ils ne peuvent construire une explication «*car l'explication pour sa part repose sur le besoin de dégager la signification d'un phénomène ou d'une observation et suppose souvent le recours à des modèles ou théories, c'est-à-dire des constructions de l'esprit qui viennent en substitution de l'objet pour mieux l'appréhender*» (Wallon). Or le dénuement conceptuel de ces textes montre que ces élèves ne disposent pas des modèles théoriques qui leur auraient permis d'interpréter la réalité autrement qu'en lui appliquant une description organisée.

Cette analyse nous a conduit à une réinterprétation d'ensemble des données collectées à propos des élèves en train d'écrire une explication scientifique (tableau 1).

Elle nous a également permis d'imaginer une visualisation des opérations mobilisées lors de l'activité d'écriture d'une explication en science. Cette visualisation permet de localiser les domaines de compétences à développer si on cherche à aider les élèves à mieux écrire les textes explicatifs ⁽¹⁰⁾.

(10) Le repérage de ces compétences a déjà été effectué par d'autres auteurs qui ont proposé des visualisations différentes, par exemple C. GARCIA-DEBANC «Propositions pour une didactique du texte explicatif» dans *Aster*, n° 6, 1988.

E. ESPERET est l'auteur d'une schématisation de départ parue dans *Pratiques*, 51, septembre 1986.

Cette première schématisation a été retravaillée par F. HALTE dans *Repères*, 72, mai 1987.

	DÉMARCHE D'EXPLICATION	TYPE DE TEXTE PRODUIT	MODE DE GESTION DE L'ÉCRITURE
G R O U P E 1	Les élèves ne sont pas capables d'évoquer un modèle utile. Défaillance de l'interaction situation / connaissances.	Les élèves vont se contenter de décrire ce qu'ils voient. Ils donnent à leur texte une organisation qui est celle de la chronologie des faits.	On peut constater que ces élèves écrivent pratiquement tout le temps. Ils n'ont pas besoin des moments d'arrêt qu'impose la confrontation situation / modèle
G R O U P E 2	Dans ce groupe, les élèves ont évoqué un modèle, mais ce modèle est : - soit insuffisant pour rendre vraiment compte de la situation, - soit simplement évoqué et les élèves ont des difficultés pour le réaménager et pour l'adapter à la situation particulière.	La "descriptivité" des textes produits reste importante. Cette "descriptivité" est symptomatique de l'insuffisance du modèle. Le modèle est simplement juxtaposé localement à une vision des faits encore largement réduite à la description de ce qui se passe.	Pour ces élèves, la gestion de l'écriture fait apparaître des temps de planification, mais surtout des temps de relecture. Les auteurs s'interrogent-ils sur l'effet explicatif de leur texte, en ressentent-ils les insuffisances ?
G R O U P E 3	Dans ce groupe, le modèle utile est évoqué, mais les sujets ont du mal à produire une réorganisation des connaissances qui soit parfaitement opératoire dans le cas particulier de l'explication à fournir.	Le texte a un caractère nettement explicatif. Mais les difficultés ressenties par les auteurs à articuler le modèle et le réel se traduisent par une structure et des articulations de l'explication qui ne sont pas entièrement cohérentes.	Ces textes sont produits au terme d'une gestion qui montre une augmentation significative des opérations de planification, de relecture et de correction (par rapport aux autres groupes). Il faut certainement y voir l'effet d'une recherche de cohérence par mise en relation fréquente du réel et du modèle.
G R O U P E 4	Dans ce cas, les élèves sont non seulement capables de sélectionner le modèle utile, mais aussi d'y opérer les réaménagements de connaissances qui le rendent approprié à la situation.	Le texte produit est purement explicatif. Il oublie le référent empirique (ne comporte pas ou peu de description). Il consiste en une réinterprétation des faits à la lumière du modèle. Le texte fait ressortir les pertinences de la mise en relation réel / modèle.	Ici, la gestion de l'écriture suggère que les auteurs ont une telle maîtrise de la situation qu'ils peuvent procéder, tout en écrivant, aux autres opérations de gestion et de régulation du texte (ils atteignent pratiquement un comportement d'expert). Le preuve en est que l'un des meilleurs textes est obtenu au bout de 11 minutes (c'est le texte qui a été écrit le plus vite) par rapport à 16 minutes, temps moyen à l'écriture des autres textes.

Tableau 1 - Les textes et la gestion de leur écriture

Ces compétences sont relatives :

- à la gestion de l'objet - mobilisation et organisation des savoirs, élaboration des idées ;
- à la gestion de l'interaction - représentation de l'intention du texte en fonction du public visé ;
- à la gestion du discours - mise en œuvre des caractéristiques linguistiques du type de texte choisi.

La visualisation que nous proposons reprend des éléments connus. Toutefois elle cherche à montrer en quoi le plan conceptuel (gestion de l'objet) n'est pas indépendant du plan communicationnel (gestion de l'interaction et du discours).

Notre apport consiste à préciser les articulations possibles entre ces deux plans en pensant qu'il y a là des points d'appui à proposer aux élèves pour leur permettre de mieux écrire (tableau 2).

toute une analyse
qui allait
permettre

La partie suivante de notre travail a consisté à essayer de tirer profit de nos premières analyses et de ce qu'elles nous avaient appris. C'est sur la base de cette mise en relation des opérations entrant en jeu dans le déroulement de l'écriture d'une explication scientifique avec les compétences correspondantes à développer, que nous avons cherché à remettre les élèves en situation d'écriture.

de renvoyer aux
élèves leur image
en train d'écrire

A travers cette nouvelle situation d'écriture, nous voulions renvoyer aux élèves «leur image en train d'écrire» pour faire en sorte que, ce faisant, ils conduisent à leur niveau et dans leurs termes une analyse identique à la nôtre (caractérisant ce qui est attendu, identifiant les écarts entre les productions et l'attente, interprétant ces écarts).

A partir de ce regard sur leur pratique, les élèves ont pu fabriquer un outil qui les rend vigilants sur les opérations à conduire lorsqu'il s'agit d'écrire une explication, et qui les aide à mieux réussir chaque opération en cohérence avec les autres.

2. LES ÉLÈVES METTENT AU POINT UN OUTIL AIDANT À L'ÉCRITURE D'UNE EXPLICATION SCIENTIFIQUE

2.1. Création d'une nouvelle situation d'écriture

La première partie du travail avait été réalisée avec les élèves d'une classe de cinquième, désormais ces mêmes élèves sont en classe de quatrième. Pour les amener à participer à la construction d'un outil d'aide à l'écriture, nous profitons d'une séance de plein air pour lancer une fusée à eau.

Le principe consiste à remplir préalablement au trois-quart d'eau le corps d'une fusée, puis on goupille la fusée sur une pompe à air. En actionnant le piston de la pompe, on envoie de l'air dans le volume resté disponible de la fusée. On pompe jusqu'à une compression maximum de l'air contenu dans la fusée. Enfin on dégoupille la fusée.

COMPÉTENCES NÉCESSAIRES ←	OPÉRATIONS DANS LE DOMAINE COGNITIF	OPÉRATIONS DANS LE DOMAINE DE L'ÉCRITURE →	COMPÉTENCES NÉCESSAIRES
<ul style="list-style-type: none"> - Savoir déterminer le BUT d'une explication. - Savoir identifier l'enjeu explicatif. - Savoir retrouver le domaine des connaissances utiles dans l'ensemble des connaissances en mémoire. 	<p>Le moment du : Qu'est-ce qu'on me demande ?</p> <p>REPÉRAGE EN MÉMOIRE ET SÉLECTION DU SAVOIR UTILE</p>	<p>Le moment du : Comment le dire ?</p> <p>Mobilisation du PLAN PRAGMATIQUE Choix de ce qu'il faut écrire pour que quelqu'un comprenne. Représentation du but et de l'enjeu de l'explication ; du destinataire et de ses acquis culturels. Choix d'une façon d'écrire - stratégie d'écriture, d'un registre de langue congruent à la situation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Être capable de se décentrer, de se représenter le monde et les autres. - Être capable en écrivant d'adopter un point de vue de lecteur. Que faut-il écrire et comment faut-il écrire pour pouvoir être compris.
<ul style="list-style-type: none"> - Être capable d'organiser des allers-retours entre : une théorie repérée des faits - Identifier les étapes et les modalités de cette triple articulation entre : les actions les faits la théorie. 	<p>Le moment du : Est-ce que c'est bien ça ?</p> <p>APPLICATION d'un savoir repéré à une situation problème particulière RÉORGANISATION de son savoir pour l'appliquer à la situation particulière Cette RÉORGANISATION correspond à une série d'allers-retours entre les actes, les faits, la théorie. C'est le raisonnement qu'on se tient à soi-même.</p>	<p>Le moment du : Est-ce que ce que j'écris correspond bien à ce que je voulais dire ?</p> <p>Le moment de L'ÉCRITURE ET DE SA RÉGULATION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Travail au plan TEXTUEL : choix du type de texte à produire et de son organisation, macro ou superstructure. - Travail au plan SÉMIOLOGIQUE : reconnaissance des inférences, des présupposés, de l'implicite, de ce qu'il est indispensable de dire. - Travail au plan SÉMANTIQUE : reconnaissance d'un thème et de sous-thèmes, établissement d'une progression thématique. - Travail au plan LEXICAL : reconnaissance du vocabulaire adapté à l'explication et au concept en question. 	<ul style="list-style-type: none"> - Être capable d'établir et de traduire les relations entre les faits et les idées. - capable de sélectionner les relations - capable de hiérarchiser les relations. - Être capable de faire un travail d'interprétation pour soi et de juger si la même interprétation sera possible pour le lecteur. - Être capable d'organiser les relations entre les faits et les idées : organiser le développement du texte - progression et articulation. - Être capable d'activer en mémoire le champ lexical correspondant au concept concerné.

Tableau 2 - Les opérations cognitives et scripturales en jeu dans l'écriture d'une explication scientifique, en relation avec les compétences qu'elles requièrent.

encore une situation d'écriture

Nous ne demanderons pas aux élèves d'expliquer, dans tous ses aspects physiques, le décollage de la fusée. Nous nous contenterons de travailler sur la part de rationalisation savante qu'ils peuvent élaborer compte tenu de leur cursus scolaire.

2.2. Intérêt de cette situation

Établie à ce moment-là du développement de notre travail, l'explication du décollage de la fusée présente plusieurs intérêts.

- Une vraie question :

elle permet de poser une vraie question qui mobilise l'intérêt des élèves et qui mérite qu'on réfléchisse un peu pour comprendre un principe physique et son application.

- Une situation d'explication vraie et complète :

dans ce travail, l'élève est placé dans une situation d'explication vraie et complète et non pas dans une application particulière survenant immédiatement après le cours correspondant du professeur. Pour pouvoir établir cette explication, l'élève devra dans un premier temps procéder au repérage du savoir utile dans une situation où il n'est pas donné automatiquement, puisque le domaine dans lequel il faudra puiser ces connaissances est le domaine de la pression et que ces notions ont été étudiées l'année précédente.

- Un texte témoin des compétences des élèves :

le caractère très différé de ce travail par rapport au temps de l'apprentissage fait que les textes produits par les enfants ne sont pas des pastiches du discours du professeur. L'organisation du texte, les mots et les tournures seront le reflet, à la fois du type de connaissance établie par l'élève, de ses modes de raisonnement, et de la façon dont il pense que ces modes de raisonnement doivent être adressés à un public pour qu'ils puissent être compris.

qui est une véritable situation d'explication

2.3. Analyse des textes produits

La situation d'écriture choisie est plus simple que la précédente, car la chronologie y recoupe l'explication causale. Mais ici, il ne s'agit plus de faire l'exploration la plus radicale possible du comportement des élèves affrontés à l'écriture d'une explication. Il s'agit bien plus de donner aux élèves à voir et à comprendre, le plus clairement possible, leur façon de s'y prendre lorsqu'ils sont confrontés à cet exercice.

Avant d'engager les élèves dans ce travail, nous nous sommes livrés à une analyse préalable de leurs textes.

La lecture des textes produits montre que les élèves ont tous repéré le savoir utile. Ils se sont tous relativement bien acquittés du descriptif qu'ils ont exprimé par des schémas.

Les élèves ont respecté l'organisation chronologique, mais l'explication qu'ils produisent comporte en général beaucoup d'implicite. C'est le défaut majeur de tous les textes. Cette

une prélecture des textes pour pouvoir aider les élèves à faire leur propre analyse

incompétence à réduire l'implicite se manifeste différemment suivant les élèves et permet pratiquement de les ranger en deux groupes.

• Groupe 1 : un implicite général

Voilà incontestablement des élèves qui ont compris le phénomène, mais leur texte se caractérise par un implicite général dont l'effet provient en grande partie de l'utilisation d'une terminologie puisée dans le langage commun (*l'air comprimé - l'air pousse l'eau*). Pourquoi ces élèves répugnent-ils à utiliser les mots savants ? On pourra également remarquer que ces élèves trouvent des compositions de texte qui les dispensent d'utiliser des connecteurs ou qui leur permettent d'en utiliser très peu. Cette double absence, absence de terminologie savante, absence de connecteurs, est certainement révélatrice d'un manque de confiance des élèves, manque de confiance dans leurs connaissances, manque de confiance dans leur raisonnement. Pour l'élève, la sécurisation attendue est celle d'un outil-guide et la demande porte sur un double plan :

repérer les
imperfections des
textes et les
interpréter en
terme de
compétences

- avoir des certitudes sur le savoir et sur ses formulations savantes,
- être plus sûr de soi au plan de la solidité du raisonnement et de ses articulations.

Voilà au moins deux indications pour l'outil à bâtir.

Diagram illustrating the operation of a syringe (pompe) and the resulting air pressure (fusée) pushing water out.

1. **pompe** (syringe) and **fusée** (bullet).

2. **eau** → [syringe] → **puis** [syringe with plunger pushed]

3. **La fusée est remplie d'eau** (The bullet is filled with water) **elle est mise sur la pompe que l'on actionne** (it is placed on the pump which is operated)

4. **air** → [syringe] → **et** [syringe with plunger pushed]

5. **l'air rentre dans la fusée (= > bulles)** (the air enters the bullet (= > bubbles)) **l'air, à l'intérieur pousse sur l'eau** (the air, inside pushes on the water)

6. **et on arrive au moment de tirer la "gâchette" qui vient la fusée ...** (and we arrive at the moment of pulling the "trigger" which comes the bullet ...)

7. **... la fusée libère son air "sous pression" et elle décolle faisant sortir par la même occasion son eau .** (the bullet releases its air "under pressure" and it detaches making it exit by the same occasion its water .)

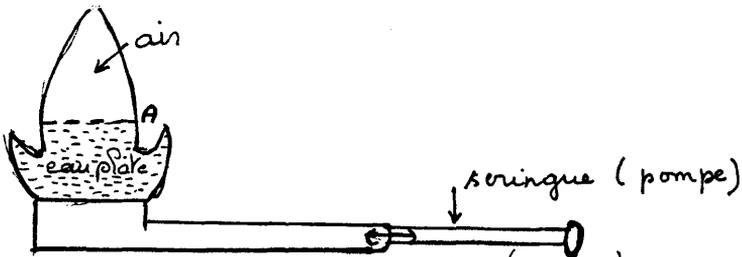
Texte de Nicolas

• Groupe 2 : l'absence d'un ou plusieurs jalons de l'explication

Les textes réunis dans ce groupe comportent plus de formulations savantes telles que : pression intérieure supérieure à pression extérieure. De plus, ces textes articulent mieux l'enchaînement déductif des propositions, des connecteurs appropriés sont le plus souvent utilisés. Mais le développement de ces textes souffre à un moment ou à un autre de l'absence d'une étape de la construction explicative. Pour ces élèves, l'obstacle à surmonter réside dans l'articulation fine des faits et de la théorie. Aider ces élèves consisterait à leur permettre de pouvoir adresser au destinataire du texte, l'expression méthodique et complète de la désignation réciproque des faits et de la théorie dont ils se sont servis pour leur élucidation personnelle du problème.

De ce point de vue, on perçoit que l'outil-guide à fournir aux élèves devra les rendre vigilants et compétents sur la cohérence explicative.

1) On verse de l'eau jusqu'au niveau A indiqués sur le schéma de la fusée.



2) On introduit de l'air à l'aide de la pompe dans la fusée. Plus on pompe, plus l'air rentre dans la fusée et se comprime.

Dès que l'air est entièrement comprimé dans la fusée, on ne peut plus pomper.

3) Après on découple et l'air se décomprime et permet à la fusée de s'envoler. Cela est dû à la pression créée par l'air. L'eau se retire pendant l'envol.

Texte de Stéphanie

2.4. Construction d'un outil qui suit les étapes du contrôle méta-cognitif d'un processus

Pour associer les élèves à la création de l'outil, le professeur rend leurs copies aux élèves. Il indique qu'il a fait une analyse d'ensemble de leurs textes, ce qui lui a permis d'établir une typologie de ces textes. Cette typologie est indiquée aux élèves, elle reprend d'ailleurs les éléments de l'analyse précédente. Sur cette base et par confrontation avec son propre travail, qui ne comporte aucune information en provenance du professeur, chaque élève relit sa production et cherche à identifier à quel groupe il appartient.

Le professeur fait identifier et formuler aux élèves la nature de l'imperfection de son texte. Il demande aussi aux élèves d'essayer de se souvenir et d'expliquer comment ils s'y sont pris pour écrire. Cette double réflexion permet d'établir que le processus d'ensemble de la production d'un texte explicatif en science devrait comporter les étapes suivantes :

- repérage du savoir ;
- énonciation du but de l'explication,
- construction de l'explication proprement dite.

Un dialogue s'établit en classe. Des élèves qui ont repéré le niveau d'imperfection de leur texte, essaient d'exprimer la nature des difficultés qu'ils ont rencontrées au moment de leur entreprise. D'autres élèves qui ont mieux réussi cette étape du travail disent comment ils s'y sont pris. Le professeur anime, reformule, fait le point au fur et à mesure et l'outil qu'on cherche à mettre au point s'enrichit progressivement.

Ainsi on précisera, à propos du **repérage du savoir**, qu'une stratégie utile pourrait être la suivante. Il s'agirait de chercher le domaine du cours (ou domaine conceptuel) qui est en jeu dans l'explication : c'est un problème de ... (ici problème de pression).

Dans ce domaine, il s'agirait ensuite de retrouver des idées clés, des formulations clés propres à ce savoir (dans le cours, quelles tournures de raisonnement a-t-on utilisées concernant ce problème ?) : par exemple ici, «*la pression exercée sur*» ou encore «*une différence de pression entre*» ou encore «*P à tel endroit ≤ ou = à P à tel autre endroit*».

De cette façon se dessinent des procédures pour passer d'un simple repérage dans le savoir à la délimitation précise d'un «*objet savant*» à expliquer.

Avoir toujours en vue le but d'une explication : cette exigence nous est apparue comme l'une des conditions importantes de la réussite de l'écriture d'une explication. En effet, dans tous les travaux que notre équipe de recherche a été amenée à conduire sur ce sujet, nous avons pu faire une série de constats qui se reproduisent de façon très générale chaque fois que l'élève passe d'une explication établie à l'oral à une explication écrite :

- la perte du contexte situationnel (lorsqu'on écrit, on n'agit plus sur la situation expérimentale) fait que l'élève ne peut

mettre en valeur
les moments
essentiels qui
donne au
processus toute
sa cohérence

alors travailler qu'à partir de la représentation de la situation qu'il s'est construite. Or, à jouer avec les représentations, l'élève court des risques, risque de se placer dans une situation de conflit, risque de faire « remonter » une représentation archaïque. Ces deux positions sont inconfortables pour l'élève qui est en train d'écrire. Le conflit peut créer une perte de confiance dans le savoir de référence au moment où il s'agit de transcrire le raisonnement. La réémergence d'une représentation archaïque peut couper court à l'établissement de tout raisonnement élaboré ;

- nous avons observé systématiquement une déperdition explicative au moment du passage de l'oral à l'écrit. Cette déperdition est constatée aussi bien chez les enfants que chez les adultes. Alors que les uns et les autres sont capables d'élaborer oralement des explications dont l'écoute est satisfaisante (du point de vue scientifique), la plupart de ces sujets sont incapables de reproduire à l'écrit cette explication, allant même jusqu'à oublier de mobiliser des faits, des relations de cause à effet dont ils avaient su se servir de façon déterminante à l'oral.

L'oral met en jeu « une cybernétique » de l'explication où le « tir explicatif » est constamment corrigé, rectifié de proche en proche par l'interaction avec les pairs ou avec l'enseignant. A l'oral, les auteurs de propositions explicatives n'ont pas de peine à réduire l'implicite de leurs propositions ou à les reformuler si le besoin s'en fait sentir.

A l'écrit, il n'y a plus ces facilitateurs de l'établissement de proche en proche de l'explication. Il faut se donner « une ligne de mire ». Se donner les moyens de se représenter son but (qu'est-ce qu'on me demande d'expliquer) et la trajectoire pour y parvenir (les faits à prendre en compte et l'enchaînement des relations de cause à effet).

passer à la mise
en place d'une
vision d'ensemble
du processus

Les remarques précédentes conduisent à l'idée qu'avant d'entreprendre l'écriture proprement dite d'une explication, la plupart des élèves ont besoin de passer par une étape préalable. Cette étape consiste à se figurer pratiquement l'explication à produire c'est-à-dire avant d'en entreprendre l'écriture. C'est dans cette perspective que nous avons conduit les élèves à aménager l'outil qu'ils étaient en train d'élaborer. Cette mise au point devra rendre l'élève vigilant sur la nécessité qu'il y a de se représenter LE BUT DE L'EXPLICATION pour pouvoir :

- articuler le repérage du savoir utile avec l'explication proprement dite ;
- établir le fil directeur de la conduite explicative.

Établir une macrostructure cohérente : plusieurs élèves témoignent alors sur les étapes qui ont marqué leur raisonnement. Ces éléments sont transcrits au tableau. La classe peut constater que les opérations qui sont à l'œuvre à ce moment-là de l'écriture consistent à mettre en relation des actions avec les faits qui en découlent ; puis à interpréter ces faits par référence à des idées ou des théories qui avaient été localisées dans la toute première phase du travail.

Pour jalonner minutieusement ces opérations, on propose aux élèves dans ce cas particulier d'établir :

- la liste des actions,
- la liste des faits,
- la liste des idées.

On fait remarquer aux élèves que ces listes constituent les ingrédients, les éléments détachés du texte à construire. Il ne s'agit plus ensuite que d'un jeu de construction, le choix de la disposition successive des pièces dans une progression temporelle ou causale.

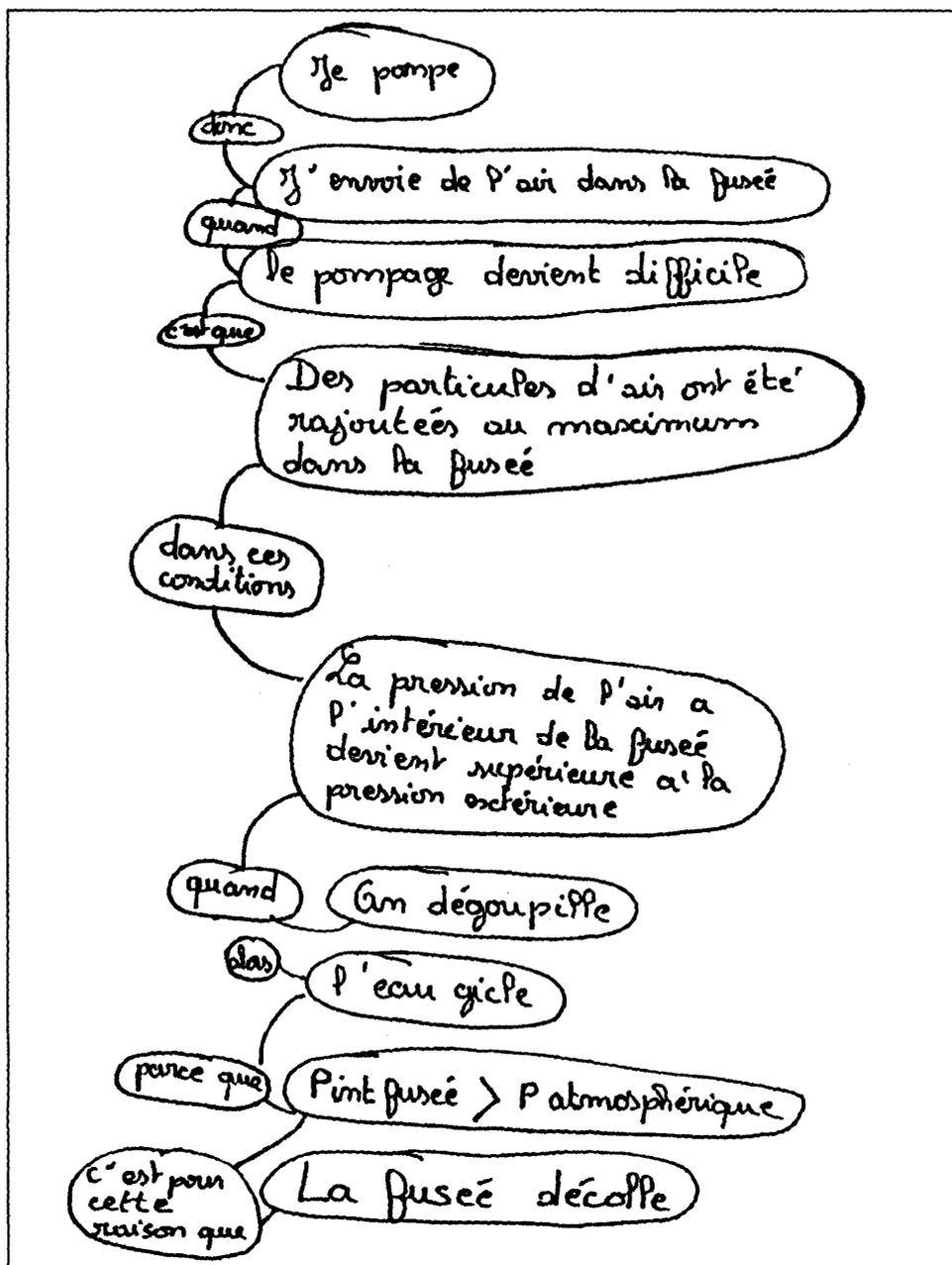
D'une façon pratique, les élèves décident que désormais, à partir des listes actions-faits-idées, ils procéderont à une phase d'écriture intermédiaire qui consistera à disposer dans un ordre cohérent les actions, les faits et les idées. Cette phase du travail où ces différentes propositions sont écrites dans «des bulles» correspondra à l'établissement du squelette du texte (terme utilisé dans le langage de la classe pour désigner la macrostructure du texte).

Il suffira par la suite d'articuler ces différentes propositions par des connecteurs appropriés pour obtenir un texte définitif.

L'outil définitif prend alors la forme suivante (l'exemple reproduit montre son utilisation par un groupe d'élèves). Il servira désormais à guider les élèves dans les situations d'écriture explicative qui leur seront proposées.

UN OUTIL POUR ÉCRIRE UNE EXPLICATION SCIENTIFIQUE

JE REPÈRE LE SAVOIR ET JE RETROUVE DES IDÉES CLEFS	J'ÉNONCE LE BUT	J'ÉTABLIS LA LISTE - DES ACTIONS - DES FAITS - DES IDÉES	JE FAIS LE SCHÉMA À BULLES - SQUELETTE DU TEXTE	J'ARTICULE LES DIFFÉRENTES PARTIES DU SCHÉMA À BULLES
<p><i>Création d'une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur (Nathalie)</i></p> <p><i>l'air comprimé pousse l'eau (Vincent)</i></p> <p><i>plus on introduit d'air dans un volume fermé, plus la pression augmente (Nadia)</i></p>	<p><i>pourquoi l'eau gicle-t-elle ?</i></p>	<p><i>les actions</i></p> <p><i>remplissage de la fusée</i></p> <p><i>pompage de plus en plus dur</i></p> <p><i>dégouillage</i></p> <p><i>les faits</i></p> <p><i>bulles de l'eau</i></p> <p><i>l'eau gicle</i></p> <p><i>la fusée vole</i></p> <p><i>les idées</i></p> <p><i>Pi ↑</i></p> <p><i>Des particules d'air sont rajoutées par pompage</i></p> <p><i>Pi > P ext.</i></p> <p><i>L'eau est poussée quand contact entre int. et ext.</i></p>	<p>Voir ci-contre</p>	<p>Voir ci-contre</p>



Un exemple de réécriture collective.

Le contenu des « bulles » est établi sur propositions des élèves. Ordre et contenu des « bulles » sont l'objet de nombreuses retouches. Le choix et la mise en place des connecteurs fait l'objet d'une activité décrochée.

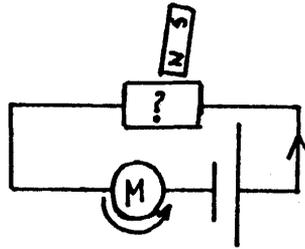
3. LES ÉLÈVES METTENT À L'ÉPREUVE L'OUTIL D'AIDE À L'ÉCRITURE

3.1. Dans une situation problème tirée de l'électromagnétisme

une nouvelle
situation
problème tirée de
l'électromagnétisme

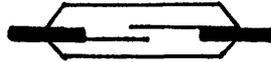
Une nouvelle situation problème puisée dans la partie électromagnétisme du programme de l'année précédente est proposée aux élèves pour mettre à l'épreuve leur outil d'écriture.

On réalise un circuit électrique en mettant en série un générateur, un moteur et un objet inconnu caché dans une boîte. Le moteur tourne quand on approche un aimant de l'objet.



un objet à
découvrir :
l'interrupteur à
lames souples

La tâche des élèves consiste à découvrir puis à expliquer le fonctionnement de l'objet enfermé dans la boîte. C'est un ILS (Interrupteur à Lames Souples) constitué de 2 lames ferromagnétiques (enfermées dans une ampoule contenant un gaz inerte sous pression faible).

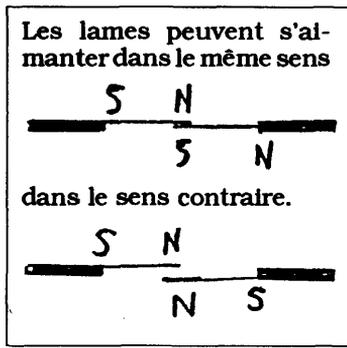


l'explication
théorique de son
fonctionnement

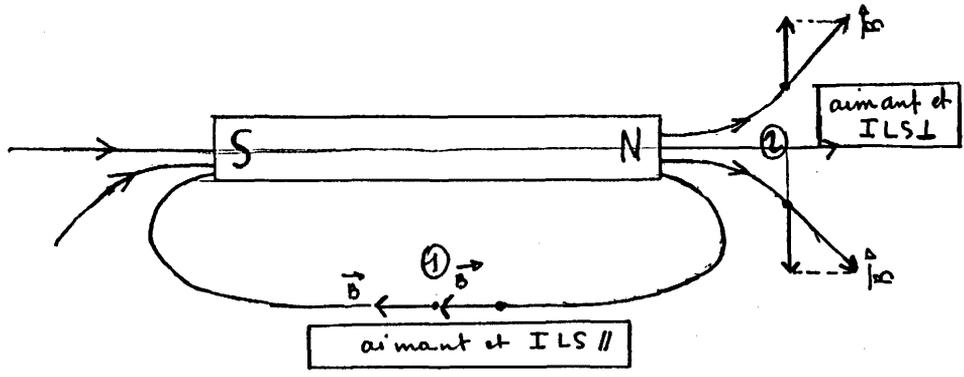
La théorie qui explique pourquoi les extrémités des deux lames s'attirent, fermant ainsi le circuit électrique et permettant au moteur de tourner, fait appel à la notion de ligne de champ et de champ magnétique de l'aimant (le champ étant en tout point tangent aux lignes de champ). En effet, **plongées dans le champ magnétique** et par l'aimant, **les deux lames** s'aimantent, c'est-à-dire deviennent de **véritables petits aimants** avec un pôle N et un pôle S.

L'intensité et le sens de leur aimantation dépend de deux facteurs :

- de la **distance** de l'ILS à l'aimant (facteur connu des élèves de cinquième),
- de la **position** de l'ILS par rapport à l'aimant et plus précisément par rapport aux lignes de champ de l'aimant (facteur inconnu des élèves qui ont seulement observé comment se répartit la limaille de fer quand on fait le spectre d'un aimant).



C'est pourtant ce deuxième facteur qui est déterminant pour expliquer que les deux lames peuvent s'aimanter dans le même sens et s'attirer ou s'aimanter en sens inverse et se repousser. **Les lames s'aimantent dans le même sens que le champ magnétique B quand elles sont parallèles à l'aimant 1.** Les lames s'aimantent en **sens inverse** quand elles sont perpendiculaires au champ 2 parce que les composantes actives du champ sont opposées.



Entre ces deux positions extrêmes la position 1 la plus favorable et la position 2 la plus défavorable, existent toutes les positions intermédiaires.

L'explication que le professeur attend des élèves est beaucoup plus simple : **L'ILS est un interrupteur commandé par un aimant.** Il ferme le circuit quand on approche un aimant parce que les deux lames sont constituées d'un **matériau magnétique** alors que les interrupteurs ordinaires sont constitués d'un matériau simplement **conducteur**. Le fonctionnement de L'ILS est intéressant car la confusion entre matière conductrice et matière aimantée est un des obstacles que les élèves ont du mal à surmonter.

l'explication qu'on attend des élèves

l'organisation de la séquence

La séquence est organisée selon une technique à laquelle les élèves sont habitués : un premier temps est réservé à l'expérimentation en petits groupes et à l'élaboration du canevas de l'explication. Dans un deuxième temps les élèves se retrouvent seuls pour écrire un texte définitif.

le rappel des consignes

Au début de la séance le professeur rappelle oralement la trame à suivre :

- chercher le savoir utile (électromagnétisme)
- énoncer le but (pourquoi le moteur tourne ?)
- faire un schéma explicatif et l'articuler.

la phase expérimentale

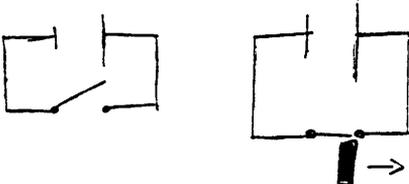
Pendant la phase expérimentale, les élèves ont toujours tenu l'aimant dans une position moyenne qui aimantait toujours les lames dans le même sens, si bien qu'ils ne se sont pas aperçus du paradoxe qui fait que lorsque l'aimant est perpendiculaire à l'ILS, les lames ont l'air de ne pas être aimantées - du moins ne s'attirent pas.

la phase d'écriture

L'étude des textes écrits par les élèves permet à la fois de tester l'outil d'écriture et de s'apercevoir que les adultes experts et les élèves mini-experts n'accordent pas la même importance à ce qui mérite d'être expliqué. Nous analyserons les productions de deux groupes de trois élèves : le canevas établi en petit groupe, et les textes personnels de chacun des élèves.

Le premier groupe aborde le problème en posant la question : **à quoi sert l'aimant ?**, et joue le jeu du schéma à bulles et des liens logiques. Les élèves partent de la cause pour aboutir à l'effet. Par contre ils ne précisent pas la nature des lames.

Les aimants -



→ aimant attirant une plaque jouant le rôle d'un interrupteur

(Soit l'aimant attire la plaque du bas soit il pousse la plaque du haut)

pour A quoi sert l'aimant

il sert à attirer des plaques

donc C'est un interrupteur

car le courant passe

Le canevas commun du groupe «à quoi sert l'aimant ?»

1 - Le savoir : les aimants

2 - Les idées :

On utilise nos connaissances sur les aimants qui servent ici à attirer deux plaques et à les mettre en contact. Il y a une seule plaque mobile et cela permet de faire tourner le moteur ou s'allumer la lampe.

3

** Pourquoi se sert-on d'un aimant ?*

** Pour faire passer le courant*

** donc c'est un interrupteur avec du métal*

Cet interrupteur s'appelle un interrupteur à lame souple.

Texte de Nathalie

Il reste de l'implicite dans la chaîne causale.

Il y a une confusion entre matière métallique et matière aimantée.

Un interrupteur grâce aux aimants

1 - L'interrupteur marche grâce aux aimants

Dans un interrupteur ouvert il y a 2 plaques mais elles ne se touchent pas. On a 2 solutions pour les faire toucher :

** on appuie sur la plaque supérieure qui touche la plaque inférieure*

** avec un aimant on attire la plaque inférieure ou l'on pousse la plaque supérieure.*

Lorsqu'on avance un pôle il y a la plaque supérieure qui est poussée, on avance l'autre pôle il y a la plaque inférieure qui est attirée.

Texte de Vincent

analogie intéressante entre ILS et l'interrupteur ordinaire

intuition que les lames ne s'aimantent pas dans le même sens.

I Je repère le savoir : les aimants

II Les idées clés.

Quand on approche un aimant de deux autres aimants, qui servent d'interrupteur, le courant passe.

*III * Pourquoi se sert-on d'un aimant ?*

- Pour attirer des plaques de métal aimanté

** A quoi servent-elles ?*

- Quand elles sont reliées, elles forment un interrupteur qui fait passer le courant.

Cela s'appelle : interrupteur à lames souples.

Texte de Valérie

erreur sur la matière de l'ILS déjà aimantée avant d'approcher l'aimant.

Le second groupe aborde le problème en posant la question : **pourquoi le moteur tourne ?**, et part donc de l'effet pour remonter à la cause. Il appelle l'objet inconnu X et spécifie bien la nature des lames (elles sont dans une matière aimantée).

Pourquoi le moteur tourne ?

puisque que de circuit est fermé.
Quand est-il fermé ?
 lorsque qu'on approche l'aimant de X.

Il faut que X soit un interrupteur une matière aimantée.

Il y a deux bores de fer : 1 mobile (celle du bas)
 1 fixe (celle du haut)
 d'aimant attire la lame du bas vers celle du haut et ferme ainsi le circuit ce qui permet au moteur de tourner.

Le canevas commun du groupe «pourquoi le moteur tourne ?»

X fait tourner le moteur.

X se comporte comme un interrupteur quand on l'approche de l'aimant.

Qu'est X ?

Si il y a aimant, il faut que X soit une matière aimantée. On approche l'aimant, le circuit se ferme et le courant passe.

On éloigne l'aimant le circuit s'ouvre et le courant ne passe plus.

X est composé de deux lames de fer superposées :

- 1 est fixe : celle du haut

- 1 est mobile : celle du bas

Quand on approche l'aimant de X, la lame mobile est attirée vers celle du haut et elle ferme le circuit. Le courant peut ainsi passer.

X est un interrupteur à lames souples (I.L.S.)

Texte de Nadia

On fait un circuit avec un moteur et un objet x (interrupteur à lames souples). Le moteur ne tourne pas donc le circuit est ouvert. Quand on approche l'aimant de x le moteur tourne donc le circuit est fermé. Dans le x il y a 2 lames (ex. fer). Quand on approche l'aimant de x la lame du bas (mobile) est attirée par celle du haut (fixe). Donc le circuit est fermé, les 2 lames sont en contact et le moteur tourne.

Texte de Frédéric

On fait un circuit dans lequel on introduit X et un moteur. Mais le moteur ne tourne pas (pourquoi ?) Lorsque l'on approche un aimant de X, le moteur tourne (pourquoi ?), c'est donc que le circuit est fermé. x sert donc d' interrupteur. Pour que x fonctionne, il faut il y ait dans x 2 lames d'un métal aimanté (ex. fer).

Pour que x fonctionne, il faut que l'une des lames soit fixe (celle du haut). C'est pourquoi lorsqu'on approche l'aimant de l' interrupteur à lames souples la lame du bas est attirée vers la lame du haut - les 2 lames se touchent, le courant passe → le circuit est fermé. Le moteur peut marcher.

X est donc un interrupteur à lames souples fonctionnant avec un aimant.

Texte de Noemi

La lecture des textes des élèves permet de faire les remarques suivantes.

plus de narratif

- Les élèves éliminent d'eux-mêmes les éléments inutiles à l'expérience (ex : personne ne parle de la boîte dans laquelle était enfermé l'objet).

chaîne causale
correcte

- La chaîne causale est bien présente dans les textes des élèves mais la technique d'écriture est souple et laisse les élèves aborder le problème dans le sens qui leur convient.

Le groupe «à quoi sert l'aimant ?» laisse un peu plus d'implicite :

L'aimant attire les plaques → c'est un interrupteur → le courant passe

Le groupe «pourquoi le moteur tourne ?» en laisse moins.

le moteur tourne → le circuit est fermé → l'aimant attire les plaques

les élèves et les professeurs ne sont pas centrés sur les mêmes préoccupations... même dans une explication

- Des élèves n'ont pas centré leur explication sur ce qui semblait important au professeur : le professeur attendait une explication qui mette en cause la nature des plaques. Le groupe «À quoi sert l'aimant» a passé sous silence la nature des plaques ou s'est trompé. Par contre les élèves se sont préoccupés d'un autre problème : comment expliquer mécaniquement que les deux lames se touchent ? Ils ont trouvé une solution logique acceptable en imaginant qu'une des deux lames restait fixe.

les erreurs sont utiles

- Les erreurs ou les silences du groupe «à quoi sert l'aimant ?» peuvent être facilement critiqués et permettre une remédiation facile (il suffit dans l'expérimentation de proposer un interrupteur ordinaire).

le programme limite l'action d'un aimant à l'attraction qu'il exerce sur les objets magnétiques

- Enfin ces textes qui essaient d'expliquer le fonctionnement d'un objet cité dans le programme montrent que ce dernier n'est pas conçu pour donner des réponses aux questions que les élèves se posent, mais qu'il reste un empilement de connaissances que nous-mêmes subissons et critiquons. C'est pour cela aussi qu'il est si difficile de créer des situations problèmes intéressantes en restant dans le cadre du programme.

il ne permet aucune explication

3.2. Dans une situation problème tirée de l'optique

une exposition peu ordinaire

Au début de l'année les élèves ont participé à une animation organisée par Jorge Sierra ⁽¹¹⁾ qui met au point une méthode pour enseigner la photographie aux jeunes enfants. Les expériences proposées illustrent les concepts de sources et récepteurs de lumière et vérifient le principe de propagation de la lumière inscrits au programme d'optique de quatrième d'une façon originale et très efficace pour la construction du savoir de

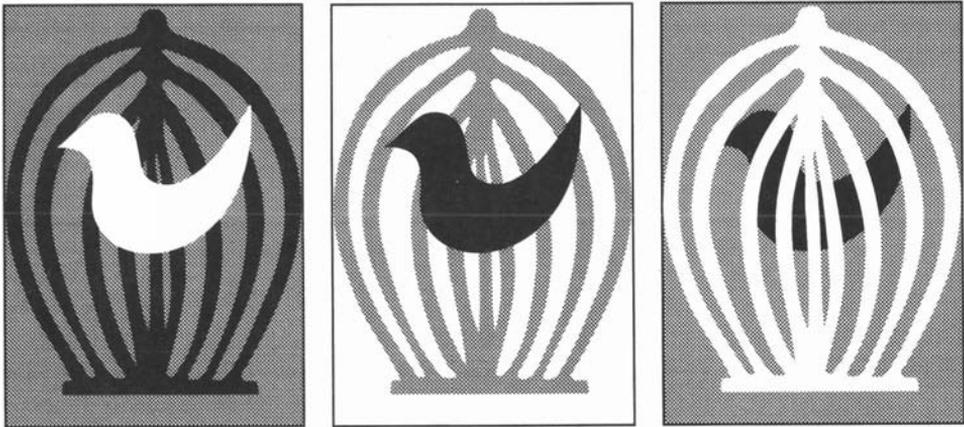
(11) Jorge SIERRA, 34 allée Claude Debussy, Saint-Etienne.

les
photogrammes

l'élève. En effet les enfants pénètrent d'abord dans une chambre noire, véritable «camera obscura» du XVII^e siècle où ils découvrent avec étonnement l'image inversée de la réalité que l'animateur «imprime» devant eux sur du papier photo. Ensuite, et c'est cette étape qui sera utilisée dans le travail d'écriture, les élèves deviennent actifs et fabriquent eux-mêmes des images appelées photogrammes au laboratoire de la Maison de Jeunes : des objets opaques ou des silhouettes découpées dans du papier noir sont posées sur le papier photo. Après exposition à la lumière de l'agrandisseur, révélation et fixage dans les bains, l'empreinte des objets apparaît en blanc sur un fond noir car la lumière n'a noirci le papier qu'aux endroits où elle l'a touché.

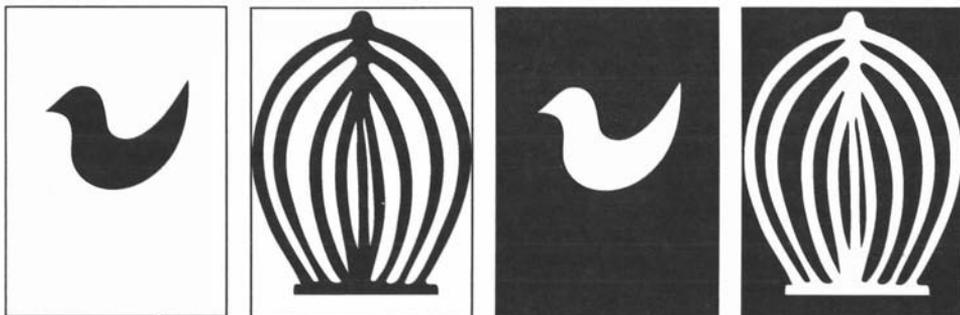
La dernière séance d'écriture-réflexion utilise donc le savoir enregistré pendant cette sortie faite 6 mois auparavant et prolongé en classe par des activités plus classiques. Pas question au Collège de faire fabriquer aux élèves des photogrammes puisqu'il n'y a pas de laboratoire photo. Ils utiliseront des images fabriquées par d'autres et ils auront les éléments qui ont permis de les réaliser.

Chaque groupe d'élèves reçoit une série de photogrammes :



oiseau blanc, oiseau noir, en cage ou en liberté

et les quatre éléments qui ont permis de les réaliser : deux masques qui cachent la lumière et deux contremasques qui laissent passer.



deux masques qui sont les silhouettes des objets découpés dans du papier noir et collés sur du rhodoid transparent

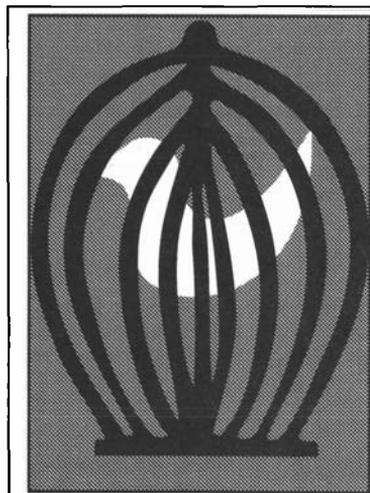
deux contremasques qui sont les silhouettes des objets évidés dans du papier noir

consigne simple et tâche difficile

La consigne est simple. *« Choisir une image et reconstituer les étapes qui ont permis de la réaliser en groupe. Écrire seul un texte où les étapes du travail et les idées qui les ont guidées sont reliées à la fois chronologiquement et logiquement. »*

La tâche est difficile. En effet c'est la première fois que les élèves doivent imaginer la réalisation d'une image qui produise l'illusion de deux plans. Il faut qu'ils fassent un véritable travail d'anticipation pour décider quel cache ou contre-cache choisir et dans quel ordre les poser et les enlever. C'est un problème d'optique mais c'est surtout un problème de logique.

Les trois textes choisis illustrent l'image d'un oiseau blanc sur fond gris enfermé dans une cage noire.



- 1 - le problème est dans l'optique
- 2 - le problème est relié :
 - à la lumière
 - à la sensibilité du papier
 - au phénomène de superposition
 - au temps
- 3 - sur l'image finale l'oiseau est blanc
la cage est noire
le fond est gris

le canevas du groupe

- 1 - je mets le masque de l'oiseau et j'éclaire un certain temps.
- 2 - je l'enlève puis je mets le contre masque de la cage 2 fois plus de temps (plus longtemps au moins).
- 3 - je l'enlève et je vois l'image avec l'oiseau que j'ai mis en premier donc il est recouvert des barres de la cage, la cage en noire (elle est 2 fois plus noire que le fond car je l'ai laissée plus longtemps à la lumière).

Texte de Frédéric

Pour obtenir cette image le réalisateur a d'abord posé le masque de l'oiseau sur papier sensible et a projeté de la lumière afin qu' autour de l'oiseau blanc le papier photo soit gris. Puis il a enlevé le masque de l'oiseau et posé le contre-masque de la cage.

Le réalisateur a ensuite projeté de la lumière afin que la cage soit noire et recouvre en partie l'oiseau.

Enfin, après avoir développé le papier photo, il a obtenu L'OISEAU BLANC DANS LA CAGE NOIRE SUR FOND GRIS.

Texte de Johan

On met un masque d'un oiseau (c'est-à-dire un oiseau découpé- sur du papier photographique (du papier sensible à la lumière). On le laisse un temps assez court puis on l'enlève. Sur le papier sensible il apparaît alors un oiseau blanc et un fond gris (en laissant le masque peu longtemps le papier n'a pas pu noircir).

On reprend le papier avec l'oiseau, et dessus on pose le contremasque de la cage (on découpe une cage dans du papier et on prend le papier) on l'expose à la lumière plus longtemps que l'oiseau et alors sur le papier apparaît - l'oiseau blanc rayé par la cage.

P.S. tout ce système est basé sur le temps de l'exposition et selon si on prend des masques, ou des contremasques ou les 2 !

Texte de Pascal

Voici résumées, les étapes essentielles d'un travail conduit pendant deux ans avec les mêmes élèves (classes de 5ème et de 4ème), élèves ordinaires d'un collège ordinaire. Ce travail a été réalisé dans le cadre strict des horaires de physique, sans qu'en aucune façon les activités d'écriture ne soient venues en compétition avec le déroulement normal du programme de physique dont les objectifs ont été atteints.

Le résultat visible de ce travail apparaît dans l'écriture des textes sur les photogrammes. Chaque enseignant de physique saura mesurer la complexité de la situation explicative. Les enseignants de français apprécieront la variété des difficultés à surmonter pour produire ce texte. L'ensemble des textes de la classe est satisfaisant.

Comme on le voit, apprendre aux élèves à écrire en classe de science, c'est possible. Il n'y a d'ailleurs pas d'autres lieux où il soit possible de conduire une véritable activité d'écriture scientifique car elle ne peut se concevoir indépendamment d'un projet d'apprentissage conceptuel.

les textes
explicatifs sont
réussis

associer les élèves
à une réflexion sur
leurs démarches

A la fin de notre travail nous avons l'impression que les activités d'apprentissage en science et l'activité d'écriture de textes correspondant à ces apprentissages sont bien plus liées qu'on ne le croit généralement. En effet permettre à l'enfant de mieux comprendre et de mieux apprendre c'est donner une large place aux phrases et aux formes de travail où l'élève est amené à penser et à repenser ce qu'il fait et la façon dont il le fait. Or écrire c'est bien toujours repenser à ... L'activité d'écriture est métacognitive en elle-même. C'est d'ailleurs ce qui fait qu'elle est difficile.

et à la
construction d'un
outil
d'anticipation

Pour permettre à l'élève de surmonter cette difficulté, nous avons cherché des moyens. Ces moyens consistent essentiellement à associer effectivement les élèves à l'élaboration d'outils d'anticipation, d'outils donnant aux élèves des idées préalables sur les manières possibles de procéder.

les a aidés à
mieux écrire et à
mieux
comprendre

Nul doute que les textes écrits à propos des différents procédés d'obtention de photogrammes n'ont pu être écrits que parce que les élèves avaient eux-mêmes construit un outil d'aide à l'écriture d'une explication et qu'ils s'en étaient servis dans différentes circonstances. Certains élèves montrent d'ailleurs qu'ils sont parvenus à un stade où ils peuvent oublier l'outil (montrant par là un niveau supérieur de métacognition).

Nul doute, enfin, que cet exercice d'écriture a renforcé la validité et la précision des savoirs que cette classe a construits en matière d'optique.

Camille DURNERIN
Collège Gambetta, Saint-Etienne
Alain ROBERT
Centre de Recherche en Éducation
Université Jean Monet, Saint-Etienne

DE L'ENSEIGNANT ÉPISTEMOLOGUE À L'ENFANT ÉPISTEMOLOGUE ET RETOUR

Jean Veslin

J'enseigne la biologie et la géologie. Des contacts avec les recherches en didactique de ces disciplines m'ont conduit à m'interroger sur la valeur, la portée, voire l'origine logique des savoirs en didactique. Cela m'a poussé à élucider les «modèles» qui me servaient de référence, puis à tenter de mettre en pratique ceux qui étaient issus de la recherche. Cette réflexion de type épistémologique m'a ainsi conduit à m'appuyer sur des modèles qui proposent de faire une large place aux moments pendant lesquels les élèves s'interrogent sur leur fonctionnement pendant qu'ils apprennent à avoir eux-mêmes une attitude critique sur la valeur et la portée de leur savoir.

Les élèves n'ont pas spontanément une telle attitude «épistémologique» : ils «font», réussissent ou échouent, sans se poser de questions explicites sur leur pratique et leur savoir. Un outil m'a aidé à provoquer des situations qui poussent à une telle activité critique. Il s'agit des listes de critères d'évaluation, détournées de leur finalité traditionnelle, le contrôle.

Parallèlement il m'est arrivé de demander à des enseignants en formation quels étaient les critères d'évaluation des tâches proposées à leurs élèves. Je me suis aperçu que faire cela les conduisait rapidement à s'interroger sur leur savoir en didactique, sur la valeur et la portée des modèles qui sous-tendent leurs décisions, à en chercher d'autres qui leur permettraient de traiter les problèmes qu'ils rencontrent dans leur pratique.

La boucle était bouclée !

expliciter les
modèles sur
lesquels on
s'appuie pour
décider

modèles
spontanés

Il me semble entendre de plus en plus souvent soutenir le point de vue que le contact avec la recherche en didactique est un excellent moyen de formation des enseignants et des formateurs d'enseignants.

Est-ce que réellement cette idée se généralise ? Ou bien est-ce seulement moi qui suis devenu plus réceptif à cette idée ? Le fait d'avoir été associé à des recherches en didactique des sciences expérimentales m'a poussé à décrire mes stratégies pédagogiques (séquences et enchaînement de séquences d'enseignement) et à les analyser. J'entends par «analyser», expliciter les modèles sur lesquels on s'appuie pour prendre la décision de faire comme ceci ou comme cela, de privilégier ceci plutôt que cela.

Souvent les décisions sont prises de façon tout à fait implicite, parce que «cela va de soi» (semble-t-il). C'est caractéristique des décisions que l'on prend en s'appuyant sur des modèles spontanés, non reconnus comme des modèles, mais confondus avec la réalité.

Les échanges avec les autres permettent petit à petit de prendre conscience de l'existence de ces modèles spontanés, quand on

modèles
scientifiques

s'aperçoit du fait qu'ils ne sont pas partagés par tout le monde. On découvre qu'il en existe d'autres.

Parmi ces «autres modèles» certains ont un statut particulier : ce ne sont pas des «modèles spontanés», issus de l'expérience individuelle, personnelle, mais des modèles conçus comme tels, comme une «modélisation du réel», une simplification destinée à comprendre, expliquer, prévoir ce réel. Ces modèles ont été discutés de façon collective, considérés comme «valables» -au moins momentanément- parce qu'ils sont en accord avec des observations, voire des expériences, qu'ils permettent de prévoir et d'agir avec une efficacité considérée comme satisfaisante, qu'ils sont cohérents avec d'autres, également collectivement acceptés. Bref, il s'agit là de modèles qui ont un statut scientifique.

Ces derniers modèles sont souvent en rupture avec les modèles spontanés.

Cette activité de description de séquences d'enseignement et d'explicitation des modèles qui sous-tendent les prises de décision pousse l'enseignant à prendre conscience de ses stratégies et des démarches personnelles qu'il met en oeuvre pour choisir, décider. C'est un travail de nature épistémologique. Il pousse à mettre en relation les difficultés rencontrées avec les modèles pris comme référence ; il pousse à en chercher d'autres, à s'en approprier de nouveaux, issus des recherches en didactique, qui permettent de traiter certains problèmes. C'est, il faut l'espérer, un facteur de progrès dans l'efficacité de l'enseignement.

Je me propose, dans les pages qui suivent, d'explicitier les principales caractéristiques des stratégies que je mets en oeuvre dans mon activité d'enseignant et les modèles qui me servent de référence.

provoquer chez
l'élève une
activité de
réflexion sur la
valeur de son
savoir

Une constante m'apparaît actuellement : je cherche à provoquer, par les situations que je mets en place, une «activité de type épistémologique» chez les élèves, au niveau du collège. Pour éviter des ambiguïtés, je préciserai d'abord un certain nombre des choix que je fais ; j'espère les partager avec beaucoup d'enseignants.

1. RÉFLEXIONS ÉPISTÉMOLOGIQUES D'UN ENSEIGNANT EN SCIENCES

1.1. But des sciences expérimentales, et plus particulièrement de la biologie et de la géologie

«apprendre» les
connaissances
mais surtout s'en
servir

Il s'agit de maîtriser des connaissances reconnues comme «scientifiques». Maîtriser, c'est y avoir eu accès, les avoir «appprises» et pouvoir les utiliser de façon judicieuses pour :

- expliquer le réel,
- prévoir le réel,

- éventuellement agir sur le réel (éventuellement, parce que l'école est avant tout un lieu de construction de ces connaissances, et quand on agit, le but reste encore, par ce «jeu de l'action», de construire des connaissances).

Il s'agit aussi de maîtriser la démarche scientifique.

C'est-à-dire ?

Etablir une connaissances scientifique (à l'école) ? Ce serait peut-être ambitieux ! Laissons cette activité aux professionnels de la recherche !

Peut-être pratiquer une «transposition didactique de la démarche scientifique» ? Discuter avec d'autres de la valeur d'une explication, imaginer un moyen de tester cette explication par des observations ou une expérimentation ?

Ou encore faire la différence entre une opinion, un modèle spontané et une connaissance qui a été validée par la communauté scientifique parce que sa «mise à l'épreuve» a été jugée suffisamment convaincante ?

différencier
opinion de
connaissance
validée

1.2. Quels modèles d'enseignement ?

Comme beaucoup, j'ai commencé à enseigner sans trop savoir sur quel modèle je m'appuyais... parce que je ne savais pas que je m'appuyais sur un modèle ! C'était mon modèle spontané : je «faisais cours», et de temps en temps vérifiais que les élèves «avaient appris».

Comme beaucoup encore, j'ai été par la suite un moment tenté par le modèle «de la reproduction/transmission» qui s'est épanoui avec l'enseignement programmé et la pédagogie par objectifs. Les modèles qui se rattachent à cette tendance ont eu le grand mérite de s'afficher comme des modèles, de chercher à rationaliser l'acte d'enseigner, et de centrer l'enseignement sur l'élève (et non sur la seule matière à enseigner).

modèle de la
«reproduction/
transmission»

Leurs lignes de force sont ⁽¹⁾ :

- on «comble» les manques les uns après les autres, dans un ordre prédéterminé, connaissance après connaissance ;
- la supposition est faite qu'après avoir acquis ces éléments les uns après les autres l'élève maîtrisera la gestion de l'ensemble ;
- de même on admet que l'explicitation des éléments (objectifs correspondant à des savoirs et des savoir-faire) entraînera une appropriation de ceux-ci par l'élève.

Ce modèle a eu le mérite de «professionnaliser» la fonction enseignante : enseigner n'est pas une question de «don» ; cela peut s'apprendre.

Les limites de ce modèle sont que les élèves «moyens» et «en difficulté» n'obtiennent pas les résultats escomptés. Par exemple, souvent, des élèves qui ont appris à maîtriser certains éléments dans une situation volontairement simplifiée par l'enseignant n'arrivent pas à transférer cette maîtrise dans une situation plus complexe.

maîtriser une
difficulté isolée est
différent de la
maîtriser au milieu
d'autres

(1) René AMIGUES, communication orale 1990.

modèle de la «transformation»	Aussi un autre modèle (ou une autre famille de modèles) a été conçu pour servir de base à l'organisation de l'enseignement. Il s'inspire du constructivisme ⁽²⁾ : c'est celui qui apprend qui construit lui-même ses connaissances ; l'expertise ne peut se transmettre ; chacun se construit la sienne. L'expert peut aider, mais ne peut pas être l'acteur direct de cette construction propre à l'apprenant.
l'élève reconstruit ce qu'on lui dit	Les travaux sur les «représentations» (appelées plutôt «conceptions» maintenant) ⁽³⁾ modélisent ce que chacun a en tête comme étant un système explicatif du monde qui a sa cohérence interne, sa propre logique, différente de celle de l'expert. Tout ce qui est «transmis» est immédiatement réinterprété en fonction de cette logique personnelle. L'apprentissage n'est pas une simple addition d'éléments qui manquent, mais une véritable reconstruction du système explicatif (ou au moins d'une partie de ce système explicatif). Celui qui apprend le fait en transformant son système explicatif. D'où le nom de «modèle de la transformation».
s'intéresser aux stratégies de l'élève	Il en découle que le travail de l'enseignant est de s'intéresser aux stratégies mises en oeuvre par le novice (l'élève) ; ces stratégies sont différentes de celles de l'expert car elles s'appuient sur des conceptions, des modèles spontanés, alors que celles de l'expert s'appuient sur des concepts et des modèles différents, qui ont (plus ou moins) une dimension «scientifique» ⁽⁴⁾ .
pousser l'élève à transformer ses conceptions	S'il se réfère à ce modèle, l'enseignant choisit, invente, propose des situations qui vont pousser l'élève à transformer ses conceptions. Ces situations sont choisies pour que l'élève, en face d'une tâche à accomplir, se heurte à un problème qu'il doit résoudre. Cela lui pose problème parce que sa stratégie n'est pas efficace dans cette situation : elle s'appuie sur des conceptions et modèles qui n'ont pas la puissance de ceux de l'expert. Dans de telles situations l'élève, s'il a accès aux concepts et

(2) Voir définition dans le glossaire de *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*, Équipe de recherche ASTER, Collection *Rapports de recherches*, n° 3, INRP, Paris, 1985.

(3) Équipe de recherche ASTER, 1985, op. cit. *ASTER n° 1, 2 et 3*, INRP, Paris 1985, 1986.
 ASTOLFI J.-P. et DEVELAY M., *La Didactique des sciences*, Presses universitaires de France, Que sais-je ? n°1448, Paris, 1989.
 DE VECCHI G. et GIORDAN A., *L'enseignement scientifique: comment faire pour que ça marche ?*, Z'édicions, Nice, 1989.
 GIORDAN A. et DE VECCHI G., *Les origines du savoir: des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*, Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, 1987.
 GIORDAN A. ET COLL., *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*, Peter Lang, Berne, 1983.

(4) En donnant à scientifique le sens de «reconnu par une communauté de spécialistes parce que la validation a paru suffisamment convaincante»... l'unanimité n'étant pas forcément la règle, mais c'est un autre problème. De toute façon ces modèles sont explicités et discutés par une communauté.

modèles de l'expert, peut se rendre compte de leur efficacité ; ils prennent du sens pour lui ; il a plus de chances de se les approprier.

1.3. Le problème de l'accès aux concepts et aux modèles «scientifiques»

C'est un problème difficile, porteur d'une contradiction. La construction des conceptions et des modèles spontanés se fait au cours de la vie personnelle, sous l'effet de l'expérience personnelle de chacun. Ils fonctionnent avec une logique qui est celle de la «rationalité quotidienne»⁽⁵⁾. Les concepts et les modèles «d'expert» (appelons les «scientifiques») ne sont pas dans le prolongement des modèles spontanés. Ils s'inscrivent en général en rupture avec eux. Ils fonctionnent en suivant les règles «de la rationalité scientifique»⁽⁵⁾, qui sont différentes. Les seconds ne peuvent découler des premiers.

comment franchir
la rupture entre
rationalité
quotidienne et
rationalité
scientifique ?

La contradiction est donc la suivante : il n'y a que les élèves qui peuvent transformer leurs modèles spontanés en modèles scientifiques, mais comment des élèves qui fonctionnent dans une rationalité quotidienne pourraient-ils accéder à une rationalité scientifique qui n'obéit pas aux mêmes règles ? Ce serait une utopie de croire que les élèves peuvent découvrir, construire, inventer les concepts, les modèles scientifiques ; et pourtant on ne peut simplement les leur «transmettre» !

l'accès aux
concepts
scientifiques est
actif

Quelque chose peut nous indiquer une piste. Il semble bien que la construction des modèles spontanés se fasse de façon tout à fait implicite, sans qu'on y pense : «spontanément» ! Par contre il semble bien que la construction des modèles scientifiques ne puisse se faire qu'à l'occasion d'une attention consciemment, explicitement centrée sur eux.

Il s'agit donc de trouver des occasions au cours desquelles l'attention sera centrée sur ces modèles nouveaux, sur leur fonctionnement, sur leur signification.

Le modèle de référence sur lequel je m'appuie pour réaliser ce qui est décrit dans la suite de cet article pourrait donc se résumer par ceci :

mettre en échec
les stratégies
«spontanées»

- * il s'agit de provoquer une transformation des modèles spontanés par les élèves eux-mêmes ;
- * cela se fera à l'occasion de situations choisies de telle façon que les stratégies des élèves leur apparaissent comme insuffisantes ;
- * il sera à certains moments nécessaire qu'ils aient accès aux concepts et modèles scientifiques ;
- * on s'intéressera de préférence aux stratégies au cours desquelles les concepts et modèles sont utilisés, parce que c'est dans ces conditions qu'ils prennent du sens ;

(5) LEGRAND M., *Rationalité scientifique et rationalité quotidienne face au problème de la preuve en mathématiques*, Conférence, Université J. Fourier, Grenoble.

stimuler
l'explicitation

- * la possibilité d'un accès aux concepts et modèles de l'expert, même si elle est explicite, ne suffisant pas à leur appropriation par l'apprenant, il faudra trouver des situations permettant cette appropriation, laissant du temps pour qu'elle se fasse ;
- * il est nécessaire de trouver des outils permettant à la fois :
 - une médiation entre les stratégies de l'apprenant et celles de l'expert ;
 - une stimulation à l'explicitation de tout cela, à une attitude d'épistémologue.

2. LA LISTE DE CRITÈRES : OUTIL POUR UNE ACTIVITÉ ÉPISTÉMOLOGIQUE

2.1. Instrument d'évaluation ...ce qui ne se limite pas au contrôle !

Le mot «critère» est associé à juste titre à «évaluation». La liste de critères est une liste de critères d'évaluation, mais le sens du mot évaluation n'a pas dans le contexte choisi ici le sens qu'on lui attribue habituellement.

évaluer n'est pas
que mesurer...

En général le mot évaluation évoque l'idée de mesure, de comparaison à une norme. Cette norme est décrite par des critères, qui sont donc, dans ce contexte habituel, des instruments de mesure. Un travail d'explicitation de la norme a été fait, permettant une évaluation sommative critériée relativement plus objective.

Mais ces critères peuvent du coup permettre à celui qui apprend de se représenter plus correctement le but à atteindre, le produit à réaliser à la fin de la tâche. C'est ainsi que le sens du mot «évaluation» a glissé de «mesurer la conformité à une norme» à «aider à apprendre». Pour éviter l'ambiguïté certains proposent d'attribuer le terme de «contrôle» au premier sens et de réserver le mot évaluation au second sens ⁽⁶⁾.

... c'est aussi une
façon de
communiquer

Prise avec ce sens, l'évaluation devient «le moyen essentiel dont dispose l'enseignant pour se faire comprendre... L'évaluation est ainsi à concevoir moins comme une activité de mesure que comme un effort de communication» ⁽⁷⁾. C'est avec ce dernier sens que le mot évaluation sera utilisé ici.

Vu sous cet angle, le «critère» n'est plus du tout un instrument de mesure, il ne se rapporte pas à une norme ; il devient un moyen de se repérer dans l'apprentissage, c'est un instrument de médiation. Il ne guide pas, il n'enferme pas : il incite à ouvrir des portes inconnues, à découvrir de nouveaux chemins.

(6) ARDOINO J. et BERGER G., «Evaluer n'est pas contrôler», in *Journal de la formation continue et de l'E.A.O.* n° 208, nouvelle série.

(7) CARDINET J. «Une évaluation adaptée aux démarches souples», in *L'Évaluation, Cahiers pédagogiques* n° 256, septembre 1987, page 36.

2.2. Pour aider l'élève ...mais pas pour imposer !

Il y a une autre ambigüité à lever pour comprendre ce qu'est la liste de critères et sa fonction dans l'apprentissage.

Est-ce que cette liste de critères est un moyen d'imposer une norme dans la réalisation de la tâche ? D'abord, «imposer», certainement pas : ce serait tout à fait en contradiction avec le modèle d'apprentissage sur lequel on s'appuie, avec l'idée que, de toute façon, l'apprenant ne mettra réellement en oeuvre que ce qu'il aura intégré.

Alors s'agit-il de lui faire intégrer une norme ? L'emploi dans ce cas du mot norme pourrait bien manifester une résurgence du modèle de l'évaluation-mesure : en effet, dans ce modèle, la fonction du critère est essentiellement de comptabiliser, voire sanctionner les écarts à la dite norme.

Il s'agit de donner des repères pour réaliser quelque chose. Si ce «réaliser quelque chose» est réussir une épreuve d'examen en tenant compte de «la norme de cette épreuve», c'est plutôt donner les moyens de repérer cette norme, un des moyens étant d'être conscient que c'est cela qu'on fait, et rien d'autre !

Il s'agit de repérer les invariants de la tâche, les opérations qui doivent être mises en oeuvre, les «je dois» de cette tâche⁽⁸⁾. Cela n'impose ni les moyens de résoudre chacun des petits (ou parfois gros !) problèmes auxquels l'apprenant s'affronte, ni un quelconque ordre à suivre pour les gérer.

repérer les
«invariants» de la
tâche

Exemple :

Critères d'évaluation d'un dessin (ou d'un schéma) d'observation

- * Choisir (ou repérer) ce qu'on veut montrer
- * Repérer les éléments de la réalité
 - qui correspondent au point de vue choisi
- * Indiquer la légende en utilisant les mots spécialisés
(ceux du domaine correspondant au point de vue choisi)
- * Respecter les règles de communicabilité du dessin (ou schéma)
- * Mettre un titre
 - en accord avec la production
 - en accord avec le point de vue retenu
- * Choisir l'angle de vue
 - en accord avec ce qu'on veut montrer

Souvent les enseignants qui veulent aider leurs élèves mêlent à des critères comme ceux qui sont donnés en exemple des expressions du genre :

- Commence par faire ceci...
- Souligne en rouge, dans la consigne, ce qui t'est demandé.
- Laisse trois carreaux quand...
- Dessine un sporange de fougère ouvert.
- Dessine un autre sporange fermé.

(8) Voir MEIRIEU Ph., *Enseigner, scénario pour un nouveau métier*, Les Editions ESF, Paris, 1989, p. 87.

une manie n'est pas un critère

une «possibilité» n'est pas un critère

proposer une solution est un moyen... de contourner l'apprentissage !

une instrument paradoxal : aider... en posant des problèmes

décrire une procédure est possible, décrire un processus ne l'est pas

En faisant cela ils imposent :

- Leurs manies (laisse trois carreaux quand...).
- Une solution technique à une incertitude : si l'élève souligne en rouge on pourra savoir qu'il a repéré ce qui est demandé et qu'il l'a fait correctement ou non, sinon on saura seulement qu'il n'a pas fait ce qui est demandé (parce qu'il ne l'a pas repéré ou parce qu'il n'a pas su le faire ?). Le fait de souligner en rouge peut être un moyen de contrôler (évaluation-mesure ?), ou aussi être une aide effective, mais cela peut aussi n'avoir aucun sens pour l'élève, ou bien ne pas être du tout indispensable pour un autre. Ce n'est réellement intéressant que comme solution technique négociée avec l'élève, dans un but de repérage, pour l'aider.
- La solution à un problème ; ce qui évite à l'élève de se le poser : en lui indiquant de dessiner un sporange ouvert et un autre fermé, on choisit à sa place les détails qui ont du sens par rapport au but visé : il n'a pas à se demander quel est le but de ce dessin. En éliminant ce problème du choix, n'écarte-t-on pas une occasion d'apprendre quelque chose ? Qu'est-ce qui est le plus important ici : obtenir un dessin sur lequel il y a des sporanges ouverts et fermés ou apprendre qu'en faisant un dessin d'observation, il y a un choix à faire en fonction du but visé ? (Le second point de vue n'empêchant pas le premier d'être pris en compte en même temps.)
- Un ordre dans le gestion des opérations : c'est prendre le risque de l'empêcher d'apprendre à le trouver.

En formation, il est fréquent de rencontrer des enseignants qui ont entrevu qu'une liste de critères peut être utile aux élèves mais qui s'étonnent, après quelques essais d'utilisation que les élèves ne sachent pas faire, ne réussissent pas la tâche. Ce n'est pas étonnant : une telle liste n'est pas faite pour résoudre automatiquement les problèmes ; elle est là seulement pour permettre de les identifier.

En effet, identifier les invariants d'une tâche (G. Nunziati⁽⁹⁾ nomme aussi cela «les procédures» d'une tâche) c'est une chose. Mais mettre en route les processus internes pour réaliser telle ou telle opération en est une autre. Et c'est justement cela que l'élève a besoin de se construire.

Prenons un exemple : «repérer la connaissance qui permet d'expliquer». C'est une procédure (une opération) souvent nécessaire dans une tâche. A un moment ou à un autre, qu'il le fasse d'une façon ou d'une autre, pour mener à son terme la tâche, l'élève aura nécessairement à accomplir cette action.

Dans cet article les termes procédure et processus sont employés en se référant aux définitions proposées par G. Nunziati⁽⁹⁾ :

(9) NUNZIATIG. «Pour construire un dispositif d'évaluation formatrice», in *Cahiers pédagogiques* n° 280, *Apprendre 1*. Dans ce texte cet auteur rappelle que «l'hypothèse, en évaluation formatrice, est que la connaissance et l'appropriation des critères procéduraux facilitent l'action des processus».

* **Procédure** : «actes qui composent soit les opérations cognitives, soit les démarches des tâches (...) les secondes ne sont que des formes particulières, actualisées, des premières».

* **Processus** : «relèvent du fonctionnement réel de l'élève qui s'appuie sur une procédure (c'est-à-dire un critère) pour exécuter et évaluer son travail. Ils nous sont inconnus».

souvent l'expert ne fait pas comme il dit !

Le travail de l'enseignant est d'aider l'élève d'une part à repérer qu'il y a cela à faire, d'autre part à trouver **lui-même** sa propre façon de réaliser cette action. Lui imposer «fais comme ci, fais comme ça» ne se justifie pas pour différentes raisons :

- d'une part, des observations précises ont montré que souvent ce que dit l'expert ne correspond pas à ce qu'il fait réellement, et de toute façon il est très difficile d'explicitier ces choses-là, quand on est expert, parce qu'on les fait automatiquement ;
- d'autre part, il y a sans doute de nombreuses façons de le faire : c'est peut-être là qu'il faut situer l'intérêt des différents «profils d'apprentissages» (plus ou moins déductif ou inductif, à dominante visuelle ou auditive, ..).

Ce serait une erreur, sans doute, de chercher à imposer une norme pour des choses comme celles-là.

De même il n'y a pas à imposer une façon chronologique de gérer les différentes opérations repérées sur la liste de critères. Donner des indications de ce type serait prendre le risque ou bien de faire le travail pour l'élève et l'empêcher de se construire un apprentissage en cherchant à résoudre un problème, ou bien même de lui proposer une solution qui n'en est pas une, car ce n'est pas quelque chose qui se gère de façon hiérarchique, en commençant par faire ceci puis en continuant avec cela. Cela se fait semble-t-il par des allers et retours constants, sans hiérarchie préétablie (d'une façon «hétérarchique» dit R. Amigues). La liste de critères n'a pas à contenir de telles indications.

décrire les normes qui existent, n'est pas imposer une façon d'apprendre

Donc si la liste de critères est concernée par le problème de «la norme», c'est essentiellement pour permettre de repérer cette norme quand socialement elle existe, d'explicitier sa nature et sa fonction. Connaître cela peut être très utile. Mais en aucune façon il s'agit d'imposer une façon d'apprendre.

2.3. Cet outil est terriblement abstrait ...mais c'est pour permettre les transferts !

les critères sont abstraits, les indicateurs sont concrets

Un nouveau point à éclaircir : cette liste est délibérément formulée en termes abstraits. C'est une des raisons pour lesquelles elle pose des problèmes aux élèves. C'est parce qu'elle indique des **critères**, qui se rapportent à un type de production, et **non des indicateurs**, qui, eux, se rapporteraient à une production réelle concrète. Assez souvent les élèves arrivent à repérer les indicateurs, en comparant des productions plus ou moins réussies. Mais il est rare qu'ils expriment spontanément cela en termes de critères.

l'enseignant aide
à passer des
indicateurs aux
critères...

Ils ont besoin de la stimulation de l'enseignant («comment va-t-on appeler cela, valable aujourd'hui pour la chouette, pour que cela puisse vous servir une autre fois, quand on ne s'intéressera pas à la chouette mais à autre chose ?»). L'apport de l'enseignant est parfois nécessaire (je vous propose d'appeler cela ainsi...).

Définitions de termes utilisés ici

Critère : c'est ce qui décrit quelque chose.

Critère d'évaluation : ce qui décrit un type de production réussie.

Nous verrons que les critères d'évaluation peuvent à la fois servir à «mesurer» le degré de réussite d'une production (évaluation sommative) mais aussi à «orienter l'action» de celui qui apprend, l'aider à se représenter correctement le but à atteindre. Les deux sont inséparables. Les critères d'évaluation décrivent à la fois les actions (opérations, procédures) laissant une trace dans la production (critères procéduraux) et ce qui marque la réussite de ces actions (critères de réussite).

Indicateur : permet de repérer dans une production concrète si elle est ou non réussie ; c'est le signe concret qui indique que telle ou telle action a été faite et réussie (il y a tel mot, telle phrase,...).

En somme l'indicateur est le fait concret, présent dans une production réelle concrète, qui correspond au critère, qui est, lui, une abstraction, correspondant non à une production unique, réelle, mais à un type de production, un type de tâche.

C'est possible à une condition : que l'enseignant ait bien conscience que s'il fait un tel apport, et même si ce sont quelques élèves qui ont eux-mêmes, sur incitation, proposé quelque chose, même si tout cela a été parfaitement clair et bien à propos, la plupart des élèves ne se seront pas tout de suite approprié «ce critère». Il sera nécessaire d'y revenir, de laisser du temps pour que la construction se fasse dans la tête de chacun.

Par exemple, des élèves de sixième ont à écrire un texte «qui met en évidence une connaissance scientifique» après avoir vu un court film montrant une sépiole en train de nager puis de chasser et de manger des crevettes.

Ces élèves ont déjà écrit des textes pour «décrire» : on a noté comme critère :

* «citer des éléments de la réalité».

Ils ont déjà vu des textes qui «mettent en évidence une connaissance scientifique» : on a noté comme critères :

* «citer des éléments de la réalité» ;

* «choisir ces éléments en accord avec ce qu'on veut montrer» ;

* «choisir la connaissance scientifique qu'on veut mettre en évidence» ;

* «citer cette connaissance» ;

* «mettre en relation éléments de la réalité et connaissance».

La classe est encore dans une phase de début d'apprentissage : ces critères ne sont pas maîtrisés, et même pour beaucoup d'élèves cela n'a pas un sens bien clair.

... mais il faudra
du temps pour
que l'élève
s'approprie les
critères

Beaucoup d'élèves font un petit texte qui décrit l'activité de la sépiole, et rien d'autre, aucune trace de «connaissance générale». Un travail de retour, de comparaison est fait dans la classe. La contrainte est d'écrire à la suite de son texte des choses comme :

- j'ai réussi ceci ;
- j'ai essayé de faire cela, mais je l'ai raté ;
- je ne comprenais pas telle chose ;
- Je ne comprends toujours pas telle autre ;
- la prochaine fois je penserai à ...

l'exemple de
Mathilde...

Mathilde, au terme de sa réflexion, écrit : *«je croyais qu'il fallait faire un texte sur la sépiole, je comprends maintenant que c'était un texte sur le comportement alimentaire avec comme exemple la sépiole»*. Elle a repéré un indicateur, mais n'arrive pas encore à faire la liaison avec les critères de la liste dont elle dispose. Elle n'a pas écrit non plus une chose qui avait été débattue dans le groupe : avec les éléments dont on disposait, on pouvait faire un texte «mettant en évidence» ce qu'est un comportement alimentaire OU ce qu'est un régime alimentaire.

La semaine suivante les élèves doivent faire un exercice du même type, mais à partir d'un film montrant un crabe en train de manger une moule. A la fin de la séance qui avait cette fois un caractère de contrôle sommatif, Mathilde, après m'avoir rendu sa production, a la mine qui s'allonge, et, au bord des larmes, elle s'exclame : *«je me suis trompée, je me suis trompée !»* J'en profite pour enfoncer un clou auquel je tiens : *«tu en as de la chance de t'apercevoir que tu as fait une erreur : tu viens de découvrir une occasion d'apprendre quelque chose !»* ; puis je lui rappelle, pour la tranquilliser sur sa note éventuelle, que chacun peut, après un tel contrôle, faire chez lui une analyse critique de sa production («j'ai réussi ceci, raté cela, je viens de comprendre que, etc...»), et avoir ainsi le droit à un contrôle de rattrapage ⁽¹⁰⁾.

... ou la difficulté
de passer de
l'indicateur
concret au critère

Quelques jours plus tard Mathilde a fait ce travail et a écrit : *«Je me suis trompée, j'ai fait un texte sur le crabe, il fallait faire un texte sur le comportement alimentaire avec comme exemple le crabe»*. Elle en est toujours à l'indicateur concret, pas encore au critère. Une des prochaines séances sera consacrée à lui proposer de réfléchir sur la mise en relation entre ses «je me suis trompée» à propos de la sépiole, à propos de crabe, et la liste de critères... et le fait que, dans le cas du crabe, le choix de la connaissance «comportement alimentaire» n'était pas judicieux. En effet on n'avait aucun élément sur la façon dont il repère sa nourriture, seulement des éléments sur la façon dont il mange. Deux connaissances pouvaient être choisies : la notion de régime alimentaire et la notion d'adaptation (sous la forme que nous avions notée : «il y a une correspondance entre la façon dont un animal se nourrit et la façon dont son corps est construit»).

(10) Je dois cette idée pour stimuler l'apprentissage à CHUZEVILLE R., «Correction des devoirs de mathématiques», *bulletin APM*, septembre 1990.

la liste des critères
aide à
l'abstraction

La raison d'être de cette liste de critères est justement d'aider les élèves à l'abstraction. Ces formulations leur posent problème puisque spontanément ils fonctionnent sur du concret, sur des indicateurs. C'est un outil qui leur pose problème tant qu'ils ne sont pas passés à l'abstraction et qui en même temps les aide, leur sert de support pour passer à l'abstraction, qui est une des caractéristiques fondamentales de la construction d'un savoir de type scientifique. La confrontation avec cette liste pousse à une explicitation, à des prises de conscience.

Tant que Mathilde restera au niveau des indicateurs, il lui reste du chemin à parcourir ! Ce chemin a été, par exemple, parcouru, par Sandrine qui, deux ans plus tôt, sur le même exercice, après avoir fait le même genre d'erreurs, annonce au début de la reprise de son texte : «*Je veux utiliser des connaissances*», et le fait (maladroitement, mais c'est fait) ⁽¹¹⁾.

le transfert vu
comme un
passage de
l'indicateur au
critère

Si on veut que la «liste de critères» devienne un outil pour l'élève il est nécessaire que l'enseignant institue des situations permettant des allers et retours entre le concret et l'abstrait, entre indicateurs et critères. C'est une des conditions pour que l'élève se construise des mécanismes, des «processus», lui permettant de réutiliser dans une tâche des éléments appris au cours d'une tâche précédente. C'est peut-être cela qu'on peut appeler un transfert : reconnaître dans un indicateur (la réalité concrète) le critère (abstraction).

Les deux grandes pistes pour faire ces allers et retours sont :

- * «Ceci, que tu as réussi -ou repéré- ici, dans cette production, correspond à quoi dans la liste de critères ?»
- * «Tel critère, qui est énoncé ainsi dans la liste de critères correspond à quoi, concrètement, dans l'exemple que tu as à faire aujourd'hui ?»

2.4. Une aide pour acquérir des méthodes... mais avec une large place aux connaissances !

les critères
«s'intéressent» aux
connaissances...
à condition que
l'enseignant ne
les exclue pas !

Une autre critique souvent faite aux listes de critères est qu'on n'y trouve que des indications relatives à des opérations méthodologiques. «Où est la didactique là-dedans ?» Elle n'y est pas... si on ne l'y met pas ! C'est souvent la tendance des enseignants qui réalisent ces outils pour la première fois. On ne trouve que des «faire des paragraphes», «choisir le plan», «mettre un titre». Qui empêche d'introduire : «mettre les données observées en relation avec une connaissance scientifique» ? D'ailleurs des critères en apparence anodins tels que «mettre un titre» peuvent soulever des problèmes de didactique de la discipline. En effet, il y a à «choisir un titre», et à le faire «en

(11) Cet exemple est décrit en détail dans: VESLIN J.,: «Un outil didactique construit avec les élèves pour produire des textes scientifiques» in *Les aides didactiques pour la Culture et la Formation Scientifiques et Techniques, Actes des 11èmes Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique de Chamonix*, Paris, Université Paris VII, 1989.

accord avec le texte et avec la consigne imposée». Si la consigne est de «mettre en évidence une connaissance scientifique», en abordant le problème du choix du titre on pose le problème du choix de la connaissance. De même pour le problème posé par le critère «mettre en évidence ce qui est important» : le repérage de ce qui est important dans une production scientifique se ramène souvent à savoir comment on va traiter la connaissance scientifique choisie (la «valider ?» ; s'en servir «pour expliquer ?» pour «prévoir ?»). La question des «connaissances» est tellement présente dans toute production scientifique, et la gestion de la tâche est tellement «hétérarchique» qu'on peut prendre la tâche par un bout ou par l'autre, la connaissance n'est pas loin. Sauf bien sûr si on l'élimine par manque de savoir-faire pour construire de telles listes !

Les connaissances apparaissent donc comme des éléments à gérer dans certaines opérations.

méthodes et
connaissances :
un seul combat !

Avec la liste de critères utilisée comme moyen de médiation pour apprendre, il n'est pas nécessaire de faire la distinction classique entre savoirs et savoir-faire, entre objectifs relevant du cognitif et du méthodologique. Dans une tâche complexe, l'entraînement à la maîtrise des connaissances se fait en essayant de les utiliser, l'entraînement à des opérations de type méthodologique se fait souvent en manipulant des connaissances. Il n'y a pas nécessité de traiter séparément méthodes et connaissances.

La seule utilisation de listes de critères ne suffit pas à construire les concepts, bien sûr ; il est nécessaire d'envisager des apprentissages spécifiques (par exemple à partir de situations qui posent un problème qui ne peut être résolu que par la construction du concept visé). Mais l'utilisation de liste de critères peut permettre de repérer la nécessité d'utiliser des connaissances, des concepts ; cela permet éventuellement de repérer qu'une connaissance a été mal employée : c'est alors une aide pour arriver à maîtriser une connaissance.

2.5. Et le modèle de la discipline, ne l'impose-t-on pas ?

Il reste le problème du choix du modèle «de la discipline» qui sert de référence. Par «modèle de la discipline» je veux dire la conception de la discipline qu'a l'auteur de la liste de critères. Il s'agit du modèle épistémologique auquel il adhère.

la liste des critères
soulève des
problèmes de
didactique de la
discipline,
d'épistémologie

Là, il y a effectivement un choix, donc une possibilité d'imposer quelque chose. Vraisemblablement, l'enseignant qui a comme modèle de l'observation «pour observer il suffit de regarder attentivement» n'introduira pas dans la liste de critères les mêmes critères que celui qui pense qu'au cours d'une observation on voit avec son cerveau, on voit ce qu'on sait plus que ce qu'il y a.

Ces modèles sont-ils tous équivalents ? Je ne le pense pas. Il y en a de plus performants que d'autres. Et, de toute façon, il est possible d'aborder explicitement ce problème avec les élèves, de

voir qu'il y en a plusieurs possibles, que certains sont plus puissants que d'autres. N'est-ce pas une façon d'aborder de front ce qu'est «la science», la démarche scientifique ?

De même celui qui pense que les modèles scientifiques sont dans le prolongement des modèles spontanés n'introduira pas dans cette liste, des critères autres que ceux que vont trouver les élèves (ou se désespérera que les élèves ne trouvent pas ce qu'il veut), alors que celui qui considère les modèles scientifiques comme en rupture avec les modèles spontanés introduira des critères en rapport avec ces modèles scientifiques (parmi ceux-là il y aura des critères relatifs aux concepts du champ de connaissances considéré).

Ainsi la liste de critères est faite pour aider l'élève à repérer les opérations qu'il va avoir à mettre en oeuvre, à s'orienter au sein de la tâche complexe qu'il aborde, à identifier de façon précise ce qui lui pose problème, à voir ce qu'il ne comprend pas.

3. CONSTRUCTION ET UTILISATION D'UNE TELLE LISTE DE CRITÈRES

3.1. Comment la construire ?

Essentiellement en confrontant des productions et des façons de produire de novices et d'experts ; en analysant ces tâches, c'est-à-dire en repérant dans des productions les opérations mises en oeuvre par les uns et par les autres.

Le rôle de l'enseignant est de choisir des situations qui favorisent le repérage de ces opérations (encore appelées «actions» ou «procédures» ou «invariants» de la tâche), et de proposer des apports quand cela lui semble utile.

Ces apports sont parfois nécessaires : je signalais plus haut qu'il y a une rupture entre les conceptions et les modèles spontanés, issus de la vie quotidienne, utilisés par les novices (les élèves), et les concepts, les modèles scientifiques utilisés par l'expert ⁽¹²⁾. Ce serait une illusion de croire que les élèves peuvent seuls les «découvrir». A l'enseignant de proposer ces apports dans des conditions telles que l'élève puisse en saisir l'intérêt, et de ménager ensuite des situations d'appropriation de ces apports. C'est nécessaire pour certaines opérations qui sont explicitées en référence à des modèles didactiques ou épistémologiques, en particulier pour celles qui prennent en compte l'utilisation de «connaissances scientifiques» (entendons par là concepts et modèles scientifiques). Ceci apparaît dans les exemples qui suivent.

* Les notions de «éléments de la réalité» et de «connaissances scientifiques» présentes dans les critères cités par exemple p. 164 renvoient à un modèle didactique (dans un texte

analyser les tâches

l'apport, même judicieux, par l'enseignant est différent de l'appropriation par l'élève

(12) LEGRAND M., cité note 5.

scientifique il y a une mise en rapport d'éléments du réel avec des idées qui ont un statut de «scientificité»). Il en est de même pour le critères «indiquer le statut des idées utilisées pour expliquer» (s'agit-il d'une «idée personnelle» ou d'une «idée ayant le statut de connaissance scientifique» ?).

- * Le critère «choisir les éléments de la réalité en fonction de ce qu'on veut montrer» dans une description ou une explication renvoie à un modèle épistémologique (on ne voit pas ce qu'il y a, mais ce qu'on sait ⁽¹³⁾).

des apports qui ont «du sens»

Pour que de tels critères finissent pas «arriver» dans une liste qui se construit il faut une intervention de l'enseignant. Cette intervention peut être directe (déclaration explicite) ou indirecte (choix de productions où cela «crève» les yeux) ; il faut en plus que ce critère puisse «avoir du sens» (choix de situations ou de contraintes qui, par nécessité, lui donnent du sens). En voici un exemple, dans le prolongement de ceux que j'ai cités plus haut.

On présente aux élèves deux textes répondant bien à la consigne «Ecrire un texte qui met en évidence une connaissance scientifique en utilisant ce que vous avez vu dans le film sur la sépiole» ; l'un des textes met en évidence la notion de comportement alimentaire, l'autre la notion de régime alimentaire, et, dans l'un et dans l'autre, les «éléments de la réalité» pris en compte ne sont pas tout à fait les mêmes : les élèves peuvent «voir» que dans un texte où il y a une part d'observation on «ne dit pas tout ce qu'il y a», mais on «choisit en fonction du but qu'on se propose d'atteindre». Ici ils s'agit d'un choix de situation. Dans un cas comparable on pourrait poser la contrainte de produire deux textes différents, répondant à la même consigne et à partir du même support (produire les deux textes pris dans l'autre cas comme des exemples).

Les possibilités sont nombreuses : à l'enseignant de choisir celle qui lui semble la plus appropriée au public, aux conditions.

3.2. Utilisation de la liste de critères

construire en utilisant, utiliser en construisant

Cette liste, qui se construit progressivement, et que les élèves s'approprient encore plus progressivement, chacun à son rythme, sert de moyen de communication entre l'enseignant et les élèves... en attendant que les élèves s'en servent seuls, ce qui est le but visé.

Construction et utilisation ne sont d'ailleurs pas séparées. En la construisant on commence à l'utiliser, en l'utilisant on modifie, on améliore sa construction.

(13) JACQUARD A., dans *Les scientifiques parlent*, Hachette 1987 écrit : «...une attitude dont aucun animal autre que l'homme n'est capable: ne pas croire ses yeux, croire son cerveau.»

• Finalités de cette liste de critères

Exemples d'utilisation par l'enseignant

s'en servir pour
annoter les copies

Pour que les élèves soient poussés à l'utiliser il est nécessaire que l'enseignant s'en serve lui-même dans sa façon de communiquer avec les élèves. Il peut tout particulièrement le faire à l'occasion de la correction des copies, qui ne sera justement pas des « corrections », mais des « annotations ». Pendant les phases d'apprentissage le but de ces annotations n'est pas de « mesurer », mais d'aider à l'apprentissage. Ses annotations sont faites en renvoyant à la liste de critères.

Par exemple :

- * « je ne vois pas trace de telle opération dans ton devoir » ;
- * « tu as réussi telle opération que tu ne réussissais pas jusqu'à maintenant » ;
- * « je vois que tu as pensé à faire telle opération, mais tu ne l'as pas réussie ».

dans « opération
mal faite » il y a du
positif : la décision
d'essayer de la
faire

Une remarque comme cette dernière est importante, surtout si l'élève a annoncé qu'il essayait de faire telle chose aujourd'hui (par exemple penser à utiliser une connaissance scientifique dans une explication alors que jusqu'à maintenant il ne faisait que décrire, même lorsqu'on lui demandait d'expliquer). C'est un moyen de lui signaler qu'il y a du positif dans sa démarche, et qu'il peut à l'avenir conserver ce positif.

Pour pousser les élèves à mettre le nez dans la liste, l'enseignant peut annoter à l'aide d'un code qui renvoie aux différents critères de la liste, et demander ensuite aux élèves de « verbaliser » certaines des annotations en clair (nommer, en se référant à la liste de critères, une erreur qui lui a été seulement pointée).

Exemples d'utilisation par l'élève

apprendre à
utiliser cet outil

Pour que cet outil soit une aide pour l'élève, il faut que celui-ci l'utilise ! Comme en général les élèves n'en ont pas l'habitude, il est nécessaire que l'enseignant les stimule. Ce dernier doit trouver des situations qui vont dans ce sens. Il peut, par exemple, demander à l'élève :

- * de repérer dans la production d'un autre quels sont les critères pris en compte ou non ;
- * de le faire dans la sienne au moment où il l'a terminée ;
- * d'annoncer au début de sa production quels sont les critères sur lesquels son attention va particulièrement porter ;
- * au lieu de réaliser une production, d'annoncer seulement les actions qu'il prévoit de faire.

il n'est pas
nécessaire de
s'entraîner
uniquement en
réalisant

On trouve d'autres propositions à faire aux élèves dès qu'on admet qu'il est possible d'apprendre autrement que par la seule réalisation ; on apprend en faisant... mais pas seulement en faisant : également en pensant à ce qu'on va faire, à ce qu'on a fait.

Exemple en début de sixième

- **Contexte** : les élèves ont vu un film montrant une sépiole en train de chasser et de manger. Il doivent ensuite utiliser ce qu'ils ont vu dans ce film pour «écrire un texte qui met en évidence une connaissance scientifique» (même classe que Mathilde dont le cas est signalé page 165).

- **Bénédicte** écrit à la suite de sa production :

«J'ai bien décrit comment la sépiole chassait

J'ai fait des fautes

J'ai mis en évidence le sujet

Pour améliorer : faire plus vite le devoir»

On voit apparaître une trace des critères de référence (mise en évidence, décrire), mais elle n'a pas repéré qu'on lui demandait plus que décrire. Sa proposition n'est peut-être pas très constructive (...faire plus vite ?). Il faudra encore du temps, et sans doute des interventions de l'enseignant pour que cette élève arrive à être plus précise.

- **Quatre mois plus tard** : elle est à l'aise parmi les critères, et s'attaque à des choses plus difficiles :

«Je n'ai pas mis en évidence ce qui est important ; je n'avais pas compris qu'il faut que je montre aux lecteurs ce qui va vraiment se passer».

Il s'agissait de prévoir le résultat d'une expérience ; elle commence à s'interroger sur la finalité de sa production).

- **Samuel** déclare à la suite de son texte :

«Je pense que mon texte est scientifique car j'ai essayé d'y rassembler les principaux critères : y mettre un titre, des mots scientifiques».

Et il explique :

«Et puis j'ai fait la résumation (sic) du comportement alimentaire.»

Il semble avoir compris le rôle de la liste de critères, et, signe qu'il se l'approprie, il reformule certains points à sa façon : il n'a pas recopié cette liste.

- **Quatre mois plus tard** il déclare :

«Je n'ai pas réussi à mettre en évidence les choses importantes du texte. Il faut faire une introduction qui apporte le problème.»

Tous ces types d'utilisation ont une finalité unique : poser des problèmes à l'élève pour qu'il apprenne à maîtriser les procédures de la tâche

Toutes ces activités ont pour but de repérer «les procédures de la tâche» (les opérations mentales, les invariants mis en oeuvre) afin d'aider l'élève à se construire une représentation correcte du but à atteindre et des étapes pour y parvenir.

Cette liste n'est pas une référence rigide.

- * Seules y sont portées les opérations qui sont utiles : celles que les élèves maîtrisent déjà (celles qui sont déjà «automatisées») n'ont pas besoin d'être indiquées,... ni celles qui permettraient d'atteindre une «qualité d'expertise» supérieure mais qui est hors de portée des élèves du niveau considéré.

une liste
s'adapte...

... qui renvoie l'élève à un questionnement

- * L'avis des élèves est parfois nécessaire. Par exemple quand dans la production d'un élève il n'y a pas trace de l'opération «utiliser une connaissance scientifique» (dans une production du type «expliquer ceci avec des connaissances scientifiques»), comment savoir si l'élève ne l'a pas faite :
 - parce qu'il n'a pas repéré qu'il fallait le faire ?
 - parce qu'il n'a pas su repérer la connaissance qui convenait ?
 - parce qu'il n'a pas su utiliser la connaissance qui convenait ?
 - parce qu'il n'a pas accédé à cette connaissance ?
 - parce qu'il ne la «comprend pas» ?
 - parce qu'il ne comprend pas ce qu'est une connaissance scientifique ?
 - ou pour une autre raison encore ?

un jeu de piste qui stimule les prises de conscience, favorise les initiatives

Lui seul peut déterminer d'où vient son manque : la liste de critères, dans ce cas, sert à soulever un problème pour lui. Cela le renverra à une réflexion qui le pousse à prendre conscience de son fonctionnement. Ainsi la liste de critères n'est pas une piste bordée de fil de fer barbelé qui conduit à un endroit prédéterminé, donc qui enferme, mais une série de portes auxquelles on se heurte, mais qui en s'ouvrant découvrent des possibilités multiples.

l'enseignant n'a pas besoin de tout contrôler

Nous verrons plus loin l'importance pour l'élève de chercher à répondre à cette question («je n'ai pas utilisé une connaissance scientifique parce que...?»). Mais il n'est pas forcément nécessaire que l'enseignant connaisse, lui, cette réponse ; surtout si l'élève commence à s'engager sur le chemin de l'autonomie.

En plus d'aider l'élève à se représenter la production attendue et les opérations (procédures) à faire pour y arriver ⁽¹⁴⁾, la liste de critères lui sert à repérer les opérations ou procédures qu'il sait faire ou qu'il essaie de faire.

dialoguer à propos des procédures pour favoriser l'autoconstruction des processus

En somme, les procédures sont une modélisation, une description simplifiée de la réalité que sont les processus à l'oeuvre dans la tête de la personne. Quand cette personne parle de la façon dont elle s'y prend, par exemple pour «choisir les éléments de la réalité en accord avec ce qu'on veut montrer» ou pour «mettre en correspondance ceci avec cela», elle parle en terme de procédures. Il est possible -et vraisemblablement probable- que ce qu'elle décrit ainsi ne corresponde pas aux détails de la réalité qui se passe en elle ; mais l'hypothèse est faite qu'en parlant ainsi elle agit sur ses processus ⁽¹⁵⁾. Mais là il ne s'agit plus des invariants de la tâche (les «je dois» ⁽¹⁶⁾ dans la tâche) mais d'un essai de description des processus de la personne (ce sont des «je peux»). Et ces processus sont certainement varia-

(14) Ainsi on l'aide à «orienter son action»; voir GALPERINE P., «Essai sur la formation par étapes des actions et des concepts», in *Recherches psychologiques en U.R.S.S.*, Moscou, Ed. du Progrès, 1966.

(15) Voir «Vygotsky aujourd'hui», in SCHNEUWLY B. et BRONCKART J.P., *Textes de base en psychologie*, Delachaux et Niestlé, pages 95 à 117.

(16) MEIRIEU Ph., *Enseigner, scénario pour un métier nouveau*, Les éditions ESF, Paris, 1989 p. 87.

bles d'un individu à l'autre. A chacun de se construire ses processus personnels, à chacun de trouver sa solution aux problèmes posés par la tâche.

Par exemple, dans une tâche on a repéré la procédure suivante : **«Repérer les données dans la consigne»**.

L'élève qui est en face de ce problème met en route, «dans sa tête», un certain nombre d'activités qui lui permettent de repérer ces données : ce sont ses processus personnels. Si on lui demande comment il fait, il va répondre en terme de procédures, par exemple :

- * je lis la consigne,
- * je me demande si c'est une question qu'on me pose ou une donnée,
- * je souligne au crayon les données et j'entoure les questions,
- * j'écris les données sur ma feuille de brouillon.

On voit tout de suite :

- * qu'il ne nous donne qu'une information partielle sur ce qui se passe dans sa tête ; en particulier il ne nous dit rien sur l'essentiel : comment il distingue les données des questions. Il serait d'ailleurs certainement embarrassé pour nous décrire ce qui se passe quand il le fait, mais peu importe, s'il réussit à le faire correctement !
- * que ce qu'il nous indique n'est qu'une possibilité parmi d'autres (ce sont cette fois des procédures «je peux»). On voit mal pourquoi imposer, à des élèves qui ne sauraient pas repérer les données, cette série de procédures-là ; en effet il est parfaitement possible de réussir à «repérer les données» sans les souligner au crayon, ni entourer les questions : ces procédures n'ont pas à être imposées, n'ont pas à être indiquées sur la liste de critères. Tout au plus pourra-t-on ajouter sur la liste de critères : «distinguer les données des questions posées».

distinguer les «je dois» des «je peux»

Que peut-on faire pour aider un élève à faire et réussir une opération (procédure) qu'il ne maîtrise pas ?

- * La liste de critères permet déjà à l'élève de repérer, d'identifier que c'est cela qu'il a à apprendre. Dans certains cas on constate que cela suffit : l'élève fait tout à coup ce qu'il ne savait pas faire. Mais d'autres fois il a besoin d'une aide pour accélérer la construction de telle ou telle compétence.
- * On peut l'aider en lui demandant comment il fait, lui, pour réaliser cette opération ⁽¹⁷⁾. Parfois cela suffit pour le mettre

Identifier le problème

(17) Je suis carrément admiratif quand je vois Pierre Vermersch mener ce qu'il appelle un «entretien d'explicitation»; il aide par ses questions à dire ce qu'on a essayé de faire; j'ai pour l'instant retenu quelques bribes de sa virtuosité, bribes que je trouve déjà très utiles en classe : éviter de demander «pourquoi as-tu fait cela», préférer «comment as-tu fait cela», ou «comment as-tu pris cette décision»; ou encore, à un élève qui dit : «dans la consigne je n'y comprends rien !» demander «et quand tu ne comprends rien ...qu'est-ce que tu comprends ?»; souvent l'élève fait une réponse qui l'aide à avancer; à condition, bien sûr, d'avoir créé un climat de confiance, que l'élève ait bien compris qu'on cherche à l'aider, qu'on se soit assuré qu'il est bien d'accord pour ce genre d'entretien.

un
questionnement
aidant (et non
inquisiteur !)

sur une piste allant vers la réussite : il n'est pas rare qu'un élève de sixième, après cette question, se demande explicitement où il va trouver ces données, dise qu'il les trouvera dans la consigne et s'aperçoive alors... qu'il est important de lire la consigne, ce qu'il ne faisait pas attentivement jusqu'à maintenant. Aussi extraordinaire cela soit-il, nombreux sont les enfants en difficulté qui, en classe de sixième, ne lisent pas l'énoncé des travaux qu'on leur donne à faire ! On a beau leur DIRE de le faire : cela n'a pas le même impact que lorsque cette action prend du sens par rapport au but à atteindre. L'importance de la lecture de l'énoncé est tellement évidente pour l'enseignant qu'il oublie que ça ne l'est pas pour certains élèves ! Même quand on le leur dit !

proposer des
exemples... en les
présentant
comme des «tu
peux»

- * On peut aussi l'aider en lui proposant des exemples de façons de faire ; mais en les indiquant explicitement comme des exemples, non comme des passages obligés ; une façon d'assurer cette fonction d'exemple est d'en proposer plusieurs en même temps : «tu peux essayer ceci, ou cela». Il est même possible de le noter par écrit sous la forme de listes prenant une forme du genre :
«Pour faire telle opération, je peux essayer ceci, cela,...» en distinguant bien ces listes, des listes de critères qui sont, elles, des «je dois faire telles et telles opérations».

c'est en
«verbalisant»
qu'on apprend

La finalité de cet outil «liste de critères» est essentiellement de pousser l'élève par la «verbalisation», à prendre conscience de ce qu'il fait en situation d'apprentissage. Les travaux de Vygotsky ⁽¹⁸⁾, déjà anciens, sont actuellement souvent repris pour souligner l'importance de cette verbalisation. Il s'agit, peu à peu, de pousser l'élève à une autoévaluation. Le mot «autoévaluation» est pris ici avec le sens particulier donné plus haut à évaluation ⁽¹⁹⁾.

l'autoévaluation
vue comme un
discours sur sa
pratique

Il ne s'agit pas d'un autobilan au cours duquel l'élève indiquerait (par exemple avec des croix dans des cases) ce qu'il a réussi, ce qu'il n'a pas réussi.

Il s'agit plutôt de quelque chose du genre : «En ce moment je suis en train d'essayer de faire telle opération et je m'y prends comme cela». «Je viens de comprendre ceci». «La prochaine fois j'essaierai de ne pas oublier telle action». «J'essaie de repérer cela et je n'y arrive pas». «Je ne comprends pas ce que veut dire telle action»...

(18) Voir note 15

(19) Voir paragraphe 2.1.

Exemples de «verbalisation», «d'autoévaluation»

- Contexte

Des élèves de troisième ont fait un exercice de génétique : «mettre en évidence une connaissance scientifique à partir de l'étude d'un cas concret : parents aux cheveux bruns, enfants les uns bruns, un autre blond» ; ils avaient déjà travaillé sur des cas semblables.

A la fin de ce contrôle (sommatif ; il sera noté alors que les autres travaux avaient été évalués «pour aider à apprendre»), j'ai demandé à ceux qui le voulaient de faire une «autoévaluation» chez eux, en se souvenant de ce qu'ils avaient fait. Cela pourrait éventuellement leur ouvrir le «droit» à un contrôle complémentaire ⁽²⁰⁾.

- Quelques remarques faites

Mounira (très peu motivée scolairement, mais en train de changer d'attitude) : *«La prochaine fois j'essaierai de mettre en évidence ce qui est important, par exemple si je fais un texte je le généralise.»*

Phuoc (turbulent mais motivé ; il a une écriture très difficile à lire par son graphisme et sa syntaxe approximative) : *«La prochaine fois j'essaierai de m'appliquer sur mon écriture et sur la construction des phrases. J'ai fait un titre trop général. Je pourrais mettre : Exemple de la transmission de la couleur des cheveux pour comprendre l'hérédité.»* Au travers de cette décision on voit la trace d'une préoccupation à dépasser l'exemple concret pour aller vers une idée générale.

Beya (grosses difficultés pour manier le langage et pour l'abstraction, mais très motivée ; elle utilise beaucoup les outils du type liste de critères) : *«J'ai compris que le titre doit avoir un rapport avec mon texte. Je mets : «Les instructions génétiques des parents envers les enfants». Dans mon texte j'ai dit que c'était comme pour la couleur des yeux, c'est la même démarche.»* Les élèves avaient travaillé sur l'hérédité de la couleur des yeux : c'est sa façon d'essayer de généraliser.

Erwan (bon niveau) écrit à la fin de son exercice : *«Est-ce que la conclusion peut être aussi la connaissance générale acquise ? Mais je crois que je peux y répondre. La conclusion générale c'est le résultat du schéma ou de la manipulation et la connaissance générale c'est ce que l'on peut tirer de toute l'expérience faite. Pourtant j'ai eu quand même des doutes quand je l'ai faite.»* Erwan est mûr pour une réflexion sur la construction du savoir en sciences ! Nous n'avons pas encore eu l'occasion d'aborder cela dans cette classe.

- Exemples de situations abordées à partir de la liste de critères : problèmes d'apprentissage posés aux élèves

l'autoévaluation
directement en
prise avec un
concept

Exemple 1 : **Quels sont les critères de telle notion ?**

Il s'agit de trouver les caractéristiques de telle «notion», de telle «connaissance» (ce sont les termes employés avec les élèves),

(20) Voir note 10

c'est-à-dire de tel concept. C'est une extension de la notion de «critère d'évaluation» : à quoi, à quelles caractéristiques, peut-on reconnaître qu'une «connaissance» est utilisée correctement ?

Le terme «critère» désigne quelque chose «qui décrit» ; on a l'habitude d'employer «critère d'évaluation» pour désigner ce «qui décrit une production réussie», afin de «mesurer» si une production est ou non conforme à ce qui est attendu. Mais nous avons vu que ces «critères d'évaluation» permettent à celui qui apprend de se représenter le but à atteindre : les critères d'évaluation deviennent ainsi des repères pour apprendre. Dans ce contexte, ce «qui décrit un concept» et permet à celui qui apprend de mieux se «représenter» ce concept peut tout à fait être considéré comme un «critère d'évaluation de ce concept». C'est dans ce sens un peu élargi que la notion de critère d'évaluation est utilisée ici.

pour maîtriser un concept qui vient d'être abordé

Par exemple, des élèves de cinquième ont cherché cela pour la notion de «multiplication végétative des végétaux». Ils l'ont fait à partir de schémas faits par eux «pour résumer le mode de reproduction de certains êtres vivants, en mettant en évidence ce qui est important». Il s'agissait de schémas faits à la suite de l'étude de documents indiquant des exemples de cette multiplication végétative. La contrainte «en mettant en évidence ce qui est important» avait ici été explicitée, mais de toute façon cette opération doit toujours être prise en compte : un schéma a toujours une finalité, il est fait pour montrer quelque chose, pour montrer «ce qui est important» ; il reste à déterminer ce qui est important ! Dans ce contexte, ce sont les caractéristiques décrivant le concept de multiplication végétative des végétaux. Ce sont les critères de cette notion ; on peut s'en servir à une fin sommative (contrôler si un schéma est ou non correct du point de vue de cette notion), ou bien à une fin formative (ces critères peuvent servir de repères quand on a ce schéma à réaliser).

Voici les critères retenus avec ces élèves (pointés par certains élèves, repris collectivement, reformulés avec l'aide de l'enseignant pour arriver à un certain niveau d'abstraction) :

- * La multiplication végétative est un mode de reproduction ;
- * Cette reproduction se fait à partir d'un seul individu ;
- * Elle donne naissance à un grand nombre d'individus ;
- * Ces individus sont identiques entre eux, et identiques au «parent».

Ces critères ont été dégagés à partir des réussites et des erreurs repérées dans les schémas faits par certains d'entre eux. L'enseignant avait sélectionné quelques cas offrant une gamme de réussites et d'erreurs.

Exemple 2 : Qu'est-ce qu'une connaissance scientifique ?

Le problème de la nature (le statut) d'une connaissance scientifique est abordé souvent au travers de l'utilisation de listes de critères. En effet, parmi les critères retenus, dans de nombreux travaux on trouve «mettre en relation avec une connaissance scientifique», «repérer une connaissance scienti-

prendre
conscience de
l'importance de
la validation dans
la démarche
scientifique

fique qui permet de...». Comme j'ai le souci de voir les élèves prendre en compte leurs stratégies personnelles, il m'arrive de leur demander de proposer une explication «en utilisant leurs idées à eux». Je fais ce choix d'une part pour donner droit d'existence aux «idées personnelles» (je mets derrière ce terme employé avec les élèves les conceptions, les modèles spontanés), d'autre part pour comparer «idées personnelles» et «idées qui sont des connaissances scientifiques». Cela conduit à retenir le critère «distinguer idée personnelle de connaissance scientifique» ou «indiquer le statut des idées utilisées pour expliquer» (ou, dans d'autres cas, «pour prévoir»). Bien sûr ces critères amènent des interrogations sur ce que signifie «connaissance scientifique». Plusieurs fois en cours d'année, parfois de façon collective, parfois à titre individuel, chaque élève a l'occasion d'aborder explicitement ce problème.

Cette question a été posée plusieurs fois par écrit à des élèves, en début et en fin de sixième et de cinquième, pour obtenir quelques renseignements sur leurs conceptions à ce sujet ⁽²¹⁾. Les réponses sont de deux types :

- * Premier type : «c'est ce qu'on a appris», «c'est ce qu'on sait» (environ la moitié des réponses en début de cinquième). Par exemple :
 - «Des connaissances scientifiques c'est ce qu'on a appris en classe, avec le professeur.»
 - «C'est quand on apprend quelque chose et qu'on l'écrit d'une façon scientifique.»
 - «Les «connaissances scientifiques» sont ce que l'on sait en science.»
 - «C'est des choses qu'on peut dire.» (Réponse difficile à classer ; quel est le sens de «on peut» ? La discussion avec l'élève semblerait indiquer que c'est «on est autorisé» parce que c'est prouvé ; mais un doute persiste.)
- * Deuxième type «ce sont des idées prouvées, sur lesquelles les scientifiques se sont mis d'accord» (un peu moins de la moitié des réponses). Par exemple :
 - «Ce sont des choses que l'on connaît qui parlent sur la science. Exemple : une expérience faite ; le résultat sera une connaissance scientifique.»
 - «C'est des connaissances sur lesquelles on a travaillé et on a prouvé que nos idées étaient vraies.»
 - «Ce sont des idées que tous les scientifiques ont décidé qu'elles étaient vraies, qu'on pouvait s'en servir pour deviner d'autres choses.»
 - Et même celle-ci (authentiquement écrite en classe, sauf l'orthographe qui a été rectifiée) : «Des connaissances scientifiques sont des choses parlant de biologie ou de

des déclarations
d'élèves relatives
à «l'épistémologie
des sciences
expérimentales»

(21) VESLIN, J. : «Les élèves de 11 ans peuvent-ils accéder à l'idée que «la science» est une création de l'imaginaire des hommes?» in *Sciences, techniques et imaginaire*, Actes des 12èmes Journées Internationales sur l'Enseignement Scientifique de Chamonix, Paris Université Paris VII, 1990.

physique qui ont été trouvées par des chercheurs en sciences et qui, par la suite, ont été acceptées par le reste des chercheurs.»

Exemple 3 : Dans un schéma, «mettre une phrase d'accompagnement»

accompagner les schémas par une petite phrase : tout un programme !

Dans les publications scientifiques les schémas sont en général non seulement accompagnés d'un titre, mais aussi d'une phrase assez courte qui situe le schéma dans un contexte. J'ai choisi d'imposer ce critère dans les réalisations qui se limitent à produire un schéma ; ce schéma est en général plus ou moins de type «schéma de synthèse». Les caractéristiques de cette «phrase d'accompagnement» sont qu'elle ne doit pas «répéter» les détails du schéma, mais indiquer une «idée générale» dont le schéma illustre un cas particulier. C'est un moyen de pousser les élèves à situer le schéma particulier en question dans une perspective générale, à se poser la question de la finalité de ce qu'ils sont en train de faire.

Exemple de schéma demandé à des élèves de troisième : «Une personne mange une tartine beurrée ; faire un schéma montrant ce que cela devient dans le corps.»

La «phrase d'accompagnement attendue sera, par exemple :

«Dans le tube digestif certains des aliments simples constituant la biscotte beurrée sont transformés. Cet aliment composé est devenu un mélange de nutriments qui passent peu à peu dans le sang.»

L'élève qui cherche quel contenu donner à sa «phrase d'accompagnement» est, ici amené à expliciter sa conception de la digestion ; on se rend compte par cet exemple que méthode (mettre en évidence) et concept (ici digestion) sont très liés.

• Une piste pour résoudre un problème des enseignants : la gestion de l'hétérogénéité

et si la liste de critères (et son emploi) aidait à gérer l'hétérogénéité ?

Cette fois il ne s'agit plus d'un problème pour l'élève, mais d'un problème pour l'enseignant : l'utilisation de listes de critères permet aussi de faciliter la gestion des classes très hétérogènes. Lorsque tous les élèves travaillent «au sein» d'une tâche complexe, un certain nombre d'entre eux arrivent à surmonter des difficultés grâce aux repères qui leur sont donnés. Cela permet à l'enseignant d'intervenir auprès de certains autres pour les aider. C'est une aide pour individualiser le travail. D'autre part certains élèves peuvent travailler sur des points apparemment faciles, mais difficiles pour eux, pendant que d'autres qui ont déjà surmonté les principales difficultés, peuvent travailler sur des critères «difficiles» qui ont été introduits spécialement pour eux.

Un point qui n'est pas acquis par un élève très «en retard» peut toujours être travaillé par cet élève : cela offre beaucoup plus de souplesse qu'un travail dans lequel les difficultés repérées par l'enseignant sont abordées systématiquement les unes après les autres ; cela évite à certains élèves de piétiner sur des difficultés qui n'en sont plus pour eux, pendant que d'autres

sont déjà débordés. Bien sûr, «à la fin» certains seront allés plus loin que d'autres, mais chacun aura eu l'occasion de progresser sur un point correspondant à son niveau. Depuis que j'utilise ce genre d'outil, il ne m'arrive plus, contrairement à ce qui m'arrivait auparavant, de ne pas savoir quoi proposer de «facile» à un élève en grande difficulté ou de «difficile» à un élève déjà très à l'aise dans la tâche qui est abordée par la classe : la liste de critères sert de «réserve», d'autant plus qu'on peut y «remettre» un critère en principe maîtrisé dans telle classe, où en «ajouter» un en principe réservé à plus tard. C'est l'occasion qui commande.

Exemple de difficultés abordées par deux élèves de niveau très différent

- **Damien** (Élève en très grande difficulté : il maîtrise très mal, pour ne pas dire ne maîtrise pas, le langage écrit, il a de la peine à rester assis à une place.)

Aujourd'hui il regarde les erreurs indiquées par l'enseignant sur sa production :

Damien : «*Si je comprends bien, celui qui lit n'a pas cette feuille ?*» (il montre la feuille sur laquelle est l'énoncé).

L'enseignant : «*Non.*»

Damien : «*Alors il faut que j'écrive ça sur ma feuille ?*» (il montre la «description des expériences qui ont été faites», donnée dans la consigne et à partir de laquelle on lui demandait de faire un travail.

L'enseignant : «*C'est ça.*»

Damien : «*Ah ! alors je comprends quelque chose.*»

L'enseignant : «*Ecris-le.*»

Damien écrit : «*J'ai compris une grande chose au jour d'hui c'est que quel c'un que lit mon text na pas la feuille scientifique sou les yeux*» (orthographe d'origine...)

On peut, au choix, être effondré en voyant le niveau de maîtrise de la langue manifesté par cet élève au milieu de son année de cinquième, ou être émerveillé de cette prise de conscience tardive mais certainement importante pour lui, ou être ému par le contraste entre les deux !

- **Claire** (Même âge, bon niveau)

Après avoir pris connaissance de l'évaluation d'une de ses productions : «*...je devrais présenter la connaissance scientifique de façon à montrer que je la connais mais que ce n'est pas moi qui l'ai découverte...*»

Ce sont là des préoccupations d'un niveau fort différent ; les deux ont été déclenchées en examinant une liste de critères.

- L'utilisation de cette liste de critères n'est qu'un moyen parmi d'autres pour stimuler les élèves à prendre conscience de leurs apprentissages

Voici un exemple d'une conduite de classe de cinquième organisée pour stimuler les élèves à des prises de conscience. En classe les élèves lisent la description du comportement d'attaque d'un rouge-gorge mâle au printemps, quand un autre rouge-gorge mâle s'approche de l'endroit où il se tient habituellement. Ils proposent des explications (toutes plus ou moins

repérage de
«modèles
spontanés»...

... qui n'ont pas permis de prévoir

recherche de «modèles scientifiques»

anthropomorphiques : «il est jaloux», «il pense que», «il se dit que...»). Avec l'aide de l'enseignant on «modélise» collectivement leurs propositions (sous forme de schémas). Ils doivent ensuite prévoir les réactions d'un rouge-gorge mâle mis en présence de leurres. Puis ils comparent leurs prévisions à une description de ce qui se passe (tirée d'une publication sur ce sujet). Ils sont surpris de ces résultats presque toujours différents de ce qu'ils avaient prévu. Une longue discussion a lieu. Certains élèves feuilletent leurs livres, ce qui permet de clarifier l'explication proposée «par les scientifiques», qui est : «la couleur rouge déclenche ce comportement d'attaque». Pendant la fin du débat au cours duquel cela se passe l'enseignant a comme souci de faire ressortir ce qui lui semble l'essentiel et écrit au tableau, en partie en s'appuyant sur des propositions d'élèves, en partie en reformulant certaines propositions (en explicitant qu'il le fait «pour que cela puisse resservir d'autres fois, comme quand on écrit une liste de critères») :

<p>Vous avez essayé de prévoir avec vos idées personnelles («modèles spontanés») qui étaient : <i>«les animaux se conduisent comme nous, ils pensent, se disent que, sont jaloux, etc...»</i></p>	<p>Il existe d'autres «idées pour expliquer» («modèles scientifiques») qui sont : <i>«quand il y a un comportement, il y a une stimulation qui le déclenche»</i> ici, on l'a cherchée : c'est la couleur rouge.</p>
---	---

qu'en reste-t-il ?

Des élèves ont fait le rapprochement avec le cas du comportement alimentaire, lui aussi déclenché par une stimulation ; ils ne l'ont pas fait spontanément, mais sollicités par l'enseignant : *«quel exemple du même genre avions-nous vu l'an dernier ?»*

Une semaine plus tard, la question suivante est posée aux élèves : *«Qu'as-tu appris le 25 février 1990 ?»*

Voici quelques exemples de réponses.

Djelloul : *«Les rouges-gorges n'aimaient pas le rouge de leurs plumes.»*

Guillaume : *«J'ai appris que le rouge-gorge fait beaucoup de manières.»*

Elen : *«J'ai appris que le rouge-gorge quand il voyait du rouge alors il devient jaloux.»*

Mathieu L. : *«J'ai appris que les scientifiques n'ont pas la même opinion que moi sur le rouge-gorge.»*

Sandrine : *«Certains animaux ne réagissent pas comme des humains.»*

Marie : *«J'ai appris que :*

- *les animaux sont déclenchés par une stimulation*
- *les animaux peuvent réagir comme les humains mais pas tout le temps.»*

Céline : *«Le rouge-gorge a des stimulations il ne réfléchit pas.»*

Samir : *«Un rouge-gorge ne pense pas comme les humains ; je pensais que c'était la même chose mais je me suis trompé.»*

Mourad : *«Un animal n'a pas le même comportement que l'être humain : un homme lui peut se maîtriser, peut utiliser à son profit les connaissances sur les moyens de communications entre animaux. Le rouge-gorge attaque, sans réfléchir, par une stimulation.»*

Il est intéressant de souligner que Mourad, très agressif par rapport aux autres, mais ayant plusieurs fois manifesté un désir de changer... a eu un changement net d'attitude après cette séance. Effet inattendu !

Audrey : *«J'ai appris comment trouver dans un texte ce qui est important.»*

Sophie : *«J'ai appris qu'il ne fallait pas avoir peur de barrer et de se tromper ; avant j'écrivais au crayon de papier.»*

Est-ce le souci constant, chez l'enseignant, d'accorder un droit d'existence aux idées personnelles, qui avait eu de l'effet sur Sophie ce jour-là ?

Elle ajoute : *« Ce n'est pas la même chose qui déclenche le comportement chez les animaux que chez les humains. Chez les animaux ce n'est pas spicologique (sic) mais c'est une action instantanée, une stimulation qui déclenche le comportement.»*

Valérie : *«Pour trouver la stimulation d'un animal il ne faut pas se mettre à sa place.»*

Mathieu C. : *«J'ai appris que toujours on trouve si on dit «un comportement est déclenché par une stimulation.»*

Jean-Baptiste : *«J'ai appris à sortir de mon modèle spontané et à penser sans tenir compte de ma personnalité.»*

J'avoue avoir pâli en lisant cela ! Quelques jours plus tard j'ai demandé à Jean-Baptiste ce qu'il voulait dire par *«sans tenir compte de ma personnalité»* ? Il m'a répondu : *«ça veut dire oublier ce que je ferais si j'étais le rouge-gorge ; comment sortir de mes réactions à moi, ce que j'aurais fait avec ma personnalité à moi, j'essaie de ne pas penser à ça pour expliquer»*. Dois-je être rassuré ? Jean-Baptiste est capable de comprendre des choses difficiles... mais aussi de sentir ce qui me fait plaisir !

On voit qu'ici, chez des élèves habitués à expliciter ce qu'ils font, ce qu'ils apprennent, ce qui change en eux, une question du genre *«qu'est-ce que tu as appris»* déclenche des réponses variées. Celles-ci témoignent d'une grande hétérogénéité de ce qui s'est passé pour eux :

- apparemment rien pour certains, ou juste un étonnement anecdotique par rapport à l'apprentissage visé (Djelloul, Guillaume) ;
- un mélange d'une persistance du point de vue ancien combiné à un aspect du point de vue visé (Elen) ;
- un changement de point de vue plus ou moins sur le chemin de ce qui était visé (Céline, Samir) ;
- mais aussi des changements inattendus, mais certainement importants pour celui chez qui ils se sont produits (Sophie).

des réponses
variées qui sont
des indications...

... des différents
degrés du
passage du
modèle spontané
au modèle
scientifique

4. LA LISTE DE CRITÈRES : OUTIL AUSSI POUR UNE RÉFLEXION ÉPISTÉMOLOGIQUE DES ENSEIGNANTS

Nous avons vu qu'un questionnement de l'enseignant sur l'explicitation de ce qu'il fait, sur la valeur de ce qu'il fait par rapport à ses objectifs, le pousse à prendre en compte des résultats de recherches en didactique ; cela le conduit à stimuler les élèves à prendre conscience de ce qu'ils font, de la valeur de leurs savoirs, de la façon dont ils le construisent. L'utilisation de listes de critères est un bon point d'appui pour cela.

Ces listes de critères sont destinées à servir de médiation à l'apprentissage, destinées à stimuler un questionnement de l'élève sur son fonctionnement intellectuel, sur les procédures qu'il emploie, sur l'explicitation de son implicite.

L'enseignant est lui-même amené à expliciter les critères des tâches qu'il propose aux élèves. Or dès qu'un enseignant veut chercher à expliciter les critères qui sont les siens, il est conduit à un questionnement de type épistémologique : « quel est mon savoir, quelles sont la nature et la valeur de ce savoir ? » La boucle est bouclée !

Prenons par exemple le cas du « dessin d'observation » ou du « schéma qui rend compte d'une observation ».

C'est une tâche souvent prise comme exemple par les enseignants qui assistent à un stage de formation quand on leur demande de choisir une tâche et d'en expliciter les critères d'évaluation.

Le « modèle spontané » des enseignants sur l'observation est en général du type : « on regarde ce qu'il y a ; pour bien observer il faut bien regarder ; l'observation est le point de départ à partir duquel on peut déduire une connaissance ». C'est-à-dire que la conception qu'ils ont, est du type empiriste.

Ils notent donc comme critères des choses du genre : « relever tous les détails ». Mais assez vite, en regardant des dessins ou schémas d'observation d'élèves qui ne conviennent pas, ils constatent que justement il y a des détails plus « intéressants que d'autres », qu'il faut placer l'objet sous un certain angle pour le dessiner, qu'il faut négliger certains détails dans la réalisation du schéma et en privilégier d'autres. Bref qu'il faut « choisir les détails », qu'il faut, dans le réel « choisir des éléments ». Mais les choisir « en fonction de quoi ? » Il apparaît vite que c'est en fonction de ce qu'on veut montrer, donc, finalement, en fonction de la « connaissance » qu'il faut montrer, qu'il faut mettre en évidence. Ainsi l'observation n'apparaît pas comme aussi simple, aussi « première » qu'ils le croyaient de prime abord. Elle n'est pas le point de départ d'une démarche linéaire arrivant à la connaissance.

Les enseignants sont alors prêts à s'approprier un autre modèle, celui dans lequel on conçoit l'observation comme toujours faite au travers d'un filtre : celui du savoir culturel ; dans ce modèle, l'observation n'est pas considérée comme

explicitation des critères amène à se questionner sur les « modèles épistémologiques » de référence

faire évoluer le modèle empiriste de l'observation

«première», mais comme un élément dans un système complexe ; elle n'est pas donnée une fois pour toute. Ce nouveau modèle permet de traiter des problèmes que le modèle empiriste ne permet pas de traiter.

Le modèle empiriste est tellement fort dans le milieu enseignant que cela ne suffit pas à faire changer tout le monde de point de vue, mais au moins le problème est posé, une discussion peut s'engager, des certitudes sont ébranlées.

CONCLUSION

La construction d'une liste de critères, construction qui apparemment n'a comme finalité que d'aider les élèves, devient très vite le support d'un questionnement épistémologique.

Ainsi, quand on commence à chercher les critères qui pourraient aider l'élève à apprendre, à expliciter les critères procéduraux, on est vite conduit à expliciter les modèles de référence sur lesquels on s'appuie soi-même.

Cela peut être l'occasion d'un questionnement sur ces modèles, le point de départ de la recherche d'autres modèles, peut-être plus efficaces pour faire avancer l'apprentissage, pour surmonter des difficultés auxquelles on se heurte.

Cela peut donner l'envie d'aller voir du côté des recherches en didactique s'il n'y a pas des découvertes qui nous aideraient. A moins qu'on ne craigne une trop forte remise en cause... Car c'est effectivement le risque pris quand on commence à regarder dans cette direction : des certitudes sur lesquelles on s'appuyait, tombent, et ce n'est pas toujours facile à «encaisser», j'ai eu personnellement l'occasion d'en faire l'expérience ! ⁽²²⁾.

Donc, lorsque l'enseignant, pour favoriser les apprentissages de l'élève, met en place des situations qui poussent celui-ci à faire une démarche de type épistémologique... il met le doigt dans un engrenage qui l'amène lui-même à une démarche épistémologique. Faisons le pari que cela le rendra plus efficace dans son travail.

La liste de critères est vraiment un outil sensationnel pour aider les élèves, et pour former les enseignants. Le lecteur trouvera peut-être mon enthousiasme exagéré. Il est vrai que lorsqu'on a découvert un outil, un modèle qui semble efficace, on a un peu tendance à en faire un outil universel. Pour alerter sur le risque d'utilisation exagérée d'un modèle, Lucie Sauve, de l'Université du Québec à Montréal, disait lors des dernières Journées

«si on aidait les élèves en leur précisant ce qu'on attend d'eux ?»...

... une proposition faussement anodine !

22) VESLIN, J., «Quelques jalons sur le chemin d'un praticien» in *Perspectives documentaires en sciences de l'éducation*, n° 18, Paris, 1989, pp. 73-85.

Internationales sur l'Education Scientifique, à Chamonix, en janvier 1991 :

«Si t'as comme outil un marteau, t'as un peu tendance à tout traiter comme un clou...»

Dont acte ! Mais c'est tout de même un outil qui peut aider à faire un bon bout de chemin !

Jean VESLIN

Groupe Recherche/Action/Formation en didactique de la biologie et de la géologie, MAFPEN de Grenoble

**IFM, Université Joseph Fourier, Grenoble
Collège de la Villeneuve, Grenoble**

APPRENTISSAGE DE MÉTHODES PAR LA RÉFLEXION DISTANCIÉE

Brigitte Peterfalvi

Quelles stratégies didactiques est-il possible de développer pour l'acquisition de méthodes en sciences expérimentales, dans une perspective constructiviste ? Une récente recherche de l'INRP s'est proposé d'expérimenter des situations de classe répondant à cette préoccupation. Les situations produites, bien qu'apparentées dans leur perspective générale, misant toutes sur l'apport d'une réflexion distanciée des élèves, se sont révélées très diverses dans leur conception et les dispositifs mis en place. La diversité des stratégies didactiques adoptées servira ici de support à une réflexion comparative et permettra de poser quelques questions.

développer des
compétences
méthodologiques,
faciliter la réussite
scolaire...

Comment amener les élèves à développer les compétences méthodologiques nécessaires à l'apprentissage scientifique ? Ce texte rendra compte des travaux menés dans une récente recherche de l'INRP visant à donner des réponses à ce problème, à la demande de professeurs de collège ⁽¹⁾.

Ceux-ci associaient la nécessité d'apprentissages méthodologiques à des préoccupations concernant l'inégalité de réussite scolaire : en développant des compétences méthodologiques, des outils intellectuels transversaux à différentes disciplines, il était possible de pallier certaines difficultés des élèves réussissant moins bien que les autres.

1. UN PROJET D'ENSEIGNEMENT CONSTRUCTIVISTE DE MÉTHODES

Cette recherche a tenté de reprendre ce problème, dans le cadre des sciences expérimentales, en cohérence avec le modèle pédagogique issu des travaux successifs de l'équipe.

1.1. Un modèle constructiviste d'enseignement

dans un modèle
constructiviste

En effet, les travaux menés ces dix ou quinze dernières années par l'équipe de didactique des sciences de l'INRP ont contribué à élaborer un modèle d'enseignement dit «constructiviste». Le terme, emprunté aux théories de l'apprentissage, est dans ce contexte transposé à un modèle d'enseignement. Nous n'exposerons pas ici ce modèle ; le lecteur pourra se reporter pour en

(1) Nous reprenons ici des éléments du rapport de recherche à paraître, intitulé «Compétences méthodologiques dans l'apprentissage des sciences expérimentales».

prendre connaissance à différentes publications ⁽²⁾. Rappelons toutefois quelques éléments-clés de ce modèle, nécessaires à la compréhension de notre propos. L'idée de «tension didactique» entre l'état de connaissance de l'apprenant, ses représentations, et le pôle de projet de l'enseignant, en relation avec les niveaux de formulation de concepts auxquels il se propose d'amener les élèves, est centrale. Il s'agit pour lui, de «prendre en compte les représentations des élèves» tout en adoptant une stratégie qui les amène à construire, à partir de là, des connaissances en cohérence avec la science telle qu'elle est reconnue par la communauté scientifique. La difficulté consiste à placer l'apprenant dans une position active par rapport à l'élaboration de ses propres connaissances, tout en sachant qu'il ne connaît pas le point d'aboutissement que l'enseignant, quant à lui, connaît. Ce modèle a conduit à donner une place importante aux stratégies faisant émerger des conflits cognitifs, amenant les élèves à réviser leurs conceptions en fonction d'éléments nouveaux à intégrer ou de confrontations avec des conceptions différentes.

chercher des
stratégies
d'enseignement
des méthodes

L'accent avait été mis, ces dernières années, sur l'élaboration de stratégies didactiques concernant des apprentissages conceptuels. Bien que divers travaux (Weil-Barais, Matthieu, Cauzinille-Marmèche, Gohau, Paulin...) aient traité d'apprentissages de méthodes, une recherche complémentaire sur ce point semblait nécessaire. En effet, les compétences que nous cherchions à développer dépassaient le cadre spécifique à la méthode expérimentale, plus souvent traitée dans ces travaux. Nous cherchions aussi à développer des compétences concernant des outils intellectuels plus généraux, susceptibles de jouer un rôle dans la plus ou moins bonne réussite scolaire.

1.2. La réflexion distanciée des élèves sur leurs propres démarches

les apports
possibles d'une
réflexion
distanciée

Cette recherche étudie les apports possibles d'une «réflexion distanciée» des élèves sur leurs propres démarches dans ces apprentissages. Elle rejoint par là un courant actuel visant à développer les activités métacognitives des élèves, dans un but d'optimisation du fonctionnement intellectuel (pour la lecture, la mémorisation...). Qu'entendons-nous par ce terme ? Nous reviendrons plus loin sur les différents types d'opérations intellectuelles qu'il peut recouvrir. D'une façon générale, nous entendons par là toute situation où le sujet est amené à penser, au second degré, sur ses propres procédures ou activités intellectuelles. Par le passage du niveau de l'action au niveau verbal ou symbolisé, ou bien par celui d'un registre de langage à un autre, un processus de désimmersion s'opère. Le sujet est

(2) Notamment : Equipe de recherche ASTER. *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris. INRP. 1985 et J.P. ASTOLFI et M. DEVELAY. *La didactique des sciences expérimentales*. Paris PUF. Coll. «Que sais-je», n°1448. 1989.

amené à un regard d'une autre nature sur ce qu'il fait. Ce type de regard induit un détachement qui autorise les critiques et permet la décentration. Il est de ce fait facilitant pour les réélaborations. L'idée rejoint celle d'«abstraction réfléchissante» telle que la définit Piaget : l'abstraction réfléchissante «consiste à tirer d'un système d'actions ou d'opérations de niveau inférieur certains caractères dont elle assure la réflexion (au sens quasi-physique du terme) sur des actions ou opérations de niveau supérieur, car il n'est possible de prendre conscience des processus d'une construction antérieure qu'au moyen d'une reconstruction sur un nouveau plan.»⁽³⁾

Les méthodes ou démarches travaillées ainsi dans le cadre de cette recherche touchent à plusieurs domaines : certaines sont spécifiques aux démarches scientifiques, d'autres concernent des outils intellectuels plus généraux. Les exemples que nous citerons donneront une idée de leur variété.

1.3. Intérêt d'un tel travail réflexif dans une pédagogie constructiviste

L'idée constructiviste, telle que nous l'avons conçue au cours de recherches successives, conduit donc à faire travailler les apprenants sur leurs propres représentations et à chercher des situations susceptibles d'ouvrir des conflits cognitifs qui déboucheront sur des réorganisations conceptuelles. Nous avons recherché, pour l'élaboration des méthodes, des dispositifs qui soient en cohérence avec cette perspective. C'est dans cet esprit que nous avons entrepris de faire travailler les élèves sur leurs propres démarches ou sur les représentations qu'ils s'en font. A partir de confrontations diverses, ils seront amenés à en cerner les limites, à procéder à des choix et à des changements.

En effet, pour la construction des méthodes comme pour l'acquisition des connaissances, nous postulons quel que soit le niveau d'enseignement considéré l'existence d'idées et d'automatismes en place. Ceux-ci peuvent être point d'appui pour de nouvelles démarches, mais peuvent aussi se constituer en obstacle⁽⁴⁾. On parle souvent de «connaissances métacognitives» pour désigner les savoirs sur les démarches, méthodes référées aux fonctionnements diversifiés des individus, mais on peut aussi parler de «représentations métacognitives»⁽⁵⁾ si on se

faire travailler les
élèves sur leurs
propres
démarches...

«pré-méthodes»...

(3) Jean PIAGET. *Etudes d'épistémologie génétique* XXIV. Paris PUF. 1961. p.203.

(4) Par exemple, les élèves ont une idée bien constituée de ce qu'il est licite ou non d'écrire en classe de sciences et cela peut aller à l'encontre de ce qu'il serait effectivement utile d'écrire pour mener à bien une démarche scientifique. Ils pensent volontiers notamment qu'on doit écrire plutôt des faits reconnus comme exacts que leurs doutes ou les questions qu'ils se posent. Or, cela peut être plus fécond pour déboucher sur de nouveaux apprentissages.

(5) Elisabeth BEAUTIER-CASTAING et Aline ROBERT. «Réflexions sur le rôle des représentations métacognitives dans l'apprentissage des mathématiques». *Revue Française de Pédagogie* n°84. 1988.

aides ou
obstacles

réfère au côté à la fois relatif de ces «connaissances» et à la source d'obstacles qu'elles peuvent constituer. C'est pourquoi les stratégies pédagogiques pour travailler ces «représentations» ne sont pas très éloignées de celles qu'on utilise pour travailler celles qui concernent les contenus.

Comme pour le travail sur les contenus, la tâche est de permettre aux élèves de surmonter ces obstacles méthodologiques en favorisant des constructions alternatives.

alterner action
effective et
distanciation

La réflexion distanciée est un des moyens de cette construction. Nous reprenons là l'idée d'«enfant épistémologue» de Seymour Papert⁽⁶⁾ qui mise sur les possibilités de réflexion distanciée des enfants (nécessité, dans son cas, par le dépassement des «bugs» dans la pratique de la programmation en informatique) pour les amener à des reconsidérations générales de leurs procédures. Ce processus permet un investissement de l'élève dans l'élaboration de ses connaissances sur les méthodes, par l'alternance de phases d'immersion dans une action effective et de moments de distanciation, où il se détache de l'action immédiate pour en reconsidérer le sens.

1.4. Intérêt d'un tel travail réflexif dans une perspective de différenciation de la pédagogie

Un autre intérêt d'une telle procédure pédagogique est de permettre de prendre en compte de façon différenciée les modes de fonctionnements des élèves pour les tâches qui leur sont confiées, en fonction de plusieurs variables comme :

prendre en
compte les
fonctionnements
différents des
élèves

- les styles cognitifs (par exemple comprendre plus facilement avec une représentation graphique ou au contraire verbalisée),
- les types de préoccupations favorisées par le milieu culturel (par exemple valoriser la gratuité ou au contraire le caractère utilitaire d'une acquisition),
- le niveau de développement intellectuel
- ou encore les habitudes procédurales contractées par le passé scolaire.

Ceci est rendu possible par le fait que la réflexion distanciée s'appuie sur leurs propres productions, qui sont elles-mêmes marquées par ces différences. Une réflexion distanciée sur les méthodes de la science, in abstracto, sans prise en compte des productions propres des élèves ne permettrait pas cette intégration.

Cette façon de travailler permet aux élèves d'utiliser au départ leurs propres potentialités. Elle peut permettre aussi, dans les cas où c'est possible, d'aboutir à des constructions de méthodes

(6) Seymour PAPERT. *Jaillissement de l'esprit*. Paris. Flammarion. 1981 (pour la traduction française). New York. Basic books 1980 (première édition).

Les «bugs» sont les erreurs de programmation, aboutissant à un blocage ou à un résultat autre que celui qui était escompté.

souvent, plusieurs
démarches
pertinentes
possibles

qui ne soient pas normées et qui donnent à chaque individu les chances maximales de parvenir à mener à bien son travail en fonction de ses caractéristiques propres. Bien sûr, certaines démarches ne peuvent pas ainsi se diversifier. Il existe intrinsèquement de «bonnes méthodes» pour une tâche donnée. Mais justement lorsque tel est le cas, le type de travail proposé doit permettre aux élèves d'éprouver par eux-mêmes et de reconnaître la pertinence supérieure d'une démarche par rapport à une autre. Dans le cas inverse, qui existe peut-être plus souvent qu'on ne l'imagine, tant les habitudes normatives sont ancrées, on a tout intérêt à amener les élèves à rechercher les cheminements les plus adaptés à la fois à la tâche à réaliser et à leurs caractéristiques personnelles, tout en favorisant autant que possible une flexibilité, une prise de conscience que d'autres cheminements pertinents sont possibles et pourraient être essayés.

L'intérêt qui sous-tend une telle démarche est de constituer des conditions favorables à la création d'une dynamique intellectuelle qui soit prise en charge par chaque élève pour lui-même, dans laquelle il reconnaisse les connaissances construites comme lui appartenant en propre. Partir de là où il en est et avec les outils dont il dispose doit permettre un développement de compétences méthodologiques réellement utilisables parce que réellement intégrées, à condition que la pertinence des démarches ait été éprouvée, en interaction avec les apports de l'enseignant et de situations diverses proposées à cet effet.

2. QUELLE ACTIVITÉ RÉFLEXIVE ? VARIANTES DANS LES CONCEPTIONS ET LES ATTENTES

Que recouvrent donc les termes «activité réflexive» des élèves, et «distanciation» ? Car des interprétations assez différentes de ce projet ont été adoptées : les intentions poursuivies à travers ces pratiques, ce qu'on se propose de développer ou de faire produire par les élèves donne lieu à des variations importantes.

2.1. Prise de conscience, régulation de l'action

- Deux facettes de l'activité réflexive

passage d'une
connaissance en
action à une
connaissance
symbolisée...

Les connaissances concernant les procédures ou les façons de faire sont susceptibles de niveaux d'intégration différents, selon qu'il s'agit de «connaissances en action» (ou «énactives» pour reprendre la terminologie de Bruner ⁽⁷⁾), automatisées, utilisées de façon coutumière pour des classes d'actions ; ou bien qu'à l'inverse, il s'agit de connaissances verbalisées (ou

(7) Jerome BRUNER. *Le développement de l'enfant. Savoir faire. Savoir dire*. Paris. PUF. 1983 (traduction française).

verbalisables), en tout cas conscientes pour le sujet qui peut les énoncer ou les représenter sous une forme symbolisée (écrite, schématisée, exprimée avec des symboles logiques ou mathématiques).

Faire réfléchir les élèves sur leurs propres procédures pour les leur faire construire suppose de les faire passer, au moins dans certaines étapes, d'une connaissance «en action» à une connaissance symbolisée qui suppose une conceptualisation et une abstraction plus grande. Ce processus de «prise de conscience» peut se heurter à des résistances (Piaget parle de «refoulement cognitif»⁽⁸⁾), liées à une perte dans l'efficacité immédiate de la procédure utilisée et aux efforts de reconstruction conceptuelle qu'il occasionne. Piaget traite le problème à propos de savoir-faire psychomoteurs plus ou moins complexes (comme savoir marcher à quatre pattes ou lancer une fronde), et à propos des démarches les plus élaborées.

ou rétroaction de
la prise de
conscience sur la
démarche

Pour les tâches psychomotrices complexes, Piaget étudie les rétroactions de la conceptualisation sur la démarche elle-même qu'elle tend à optimiser en permettant des «choix actifs» là où auparavant jouaient des schèmes d'action ne laissant pas de place à la décision. La prise de conscience est en effet utile et même primordiale pour permettre les ajustements lors d'une tâche complexe et surtout les remises en cause et les remodelages lorsqu'une démarche s'avère peu pertinente. Ce sont ces remodelages qui sont à la source des «sauts» dans l'apprentissage.

Ce processus de prise de conscience ou «réflexion distancée» peut s'opérer dans une activité spontanée de l'individu et intervient comme dimension métacognitive de la régulation des actions.

• Les dispositifs privilègent l'une ou l'autre

Mais, pour le cas qui nous occupe, il ne s'agit pas d'observer cette activité spontanée, mais de provoquer, de façon ciblée et organisée une réflexion des élèves sur certains aspects des démarches utilisées dans l'apprentissage scientifique, dans des séquences ou moments prévus spécifiquement à cet effet.

les dispositifs
privilègent...

Or, la façon dont ces séquences intègrent cette activité réflexive est susceptible de variations, selon que l'accent est mis sur le processus de prise de conscience ou prise de distance lui-même ou bien plutôt sur l'utilisation des «connaissances métacognitives» c'est à dire les produits stabilisés de la prise de conscience pour réguler ou contrôler l'action.

le processus de
prise de
conscience...

- La logique de certaines séquences tourne autour du processus de prise de conscience, sans préoccupation d'un réinvestissement immédiat dans l'activité qui lui donne naissance.

(8) Jean PIAGET. «Inconscient affectif et inconscient cognitif». in *Problèmes de psychologie génétique*. Paris. Denoël. 1972.
La prise de conscience. Paris. PUF. 1974
Réussir et comprendre. Paris. PUF. 1974

Exemple 1 : Des élèves doivent écrire un texte décrivant et expliquant un phénomène physique (ce qui se passe quand on enferme un cachet d'aspirine effervescent dans un récipient fermé contenant de l'eau). Ils sont regroupés deux par deux. Tandis qu'un élève écrit, l'autre doit l'observer, et à intervalles de temps réguliers doit cocher une grille comportant des catégories caractérisant l'activité en cours (« écrire », « penser-réfléchir-planifier », « relire », « corriger »). Lorsque l'activité d'écriture est terminée, l'observateur doit caractériser l'itinéraire d'écriture de son partenaire, en établissant une chronologie des opérations (il doit relier par un trait les points marqués successivement dans la grille) et en faisant apparaître les opérations prédominantes (par des totaux dans chaque colonne). Puis une discussion a lieu dans chaque binôme. Un débat plus général est alors organisé dans la classe, après que les écrits de quelques élèves aient circulé, accompagnés de leurs « itinéraires d'écriture ». Les élèves mettent en relation les aspects descriptifs et interprétatifs des textes, les aspects corrects ou erronés, avec l'itinéraire d'écriture adopté. Ils prennent conscience que plusieurs itinéraires sont possibles pour arriver à un texte satisfaisant, mais que certains itinéraires (comme écrire de façon exclusive et continue) sont peu favorables à produire un texte interprétatif correct.

L'activité réflexive mise en œuvre à travers cette séquence n'est pas utilisée pour la régulation de l'activité en cours. Elle peut l'être pour des activités ultérieures et c'est d'ailleurs ce qui lui donne sens. Mais ce qui est mis au centre de la logique de cette démarche, c'est le processus de prise de conscience.

ou la régulation
de l'action...

- A l'inverse, certaines séquences mettent au cœur de leur logique une réflexion distanciée qui a pour fonction de permettre de mener à bien l'activité sur laquelle elle se greffe.

Exemple 2 : Des élèves doivent se livrer à une démarche expérimentale. Ils sont invités au préalable à produire un outil graphique qui doit prévoir les différentes étapes de l'expérimentation et laisser de la place pour noter les résultats qu'ils obtiendront au cours de la phase de réalisation effective de l'expérience (par exemple ceci s'est fait pour une expérience sur la détermination des conditions d'action de la salive sur l'amidon en classe de troisième).

Cette activité oblige les élèves, avant de se lancer dans l'action, à réfléchir au sens de chaque étape séquentielle par rapport à un raisonnement global dans lequel elle s'insère et à organiser de façon systématique chaque étape l'une par rapport à l'ensemble des autres. Les comparaisons à faire doivent être prévues, chaque action manipulative aura ainsi une place précise et ne pourra de ce fait être oubliée. En cours d'action, le report à l'instrument construit de façon anticipatoire règle la suite des opérations à mener. La réflexion préalable et la systématisation de la démarche qui en résulte, s'oppose à un tâtonnement trop exclusif (celui-ci se fait sur le support symbolique plutôt qu'en cours de manipulation) et intègre l'ensemble de l'activité comme une suite logique qui se tient⁽⁹⁾.

(9) Ceci n'est tout à fait possible que pour des raisonnements assez simples et comportant une part déductive importante, comme nous avons pu le constater par la mise en œuvre de cette même procédure à propos de différentes démarches expérimentales. En cas contraire, les anticipations ne se font que partiellement et sont reprises plusieurs fois en fonction de ce qui se produit dans la phase manipulative de l'expérience. La régulation est alors plus complexe.

mais tous visent
une optimisation
de l'action

En fait, toutes les séquences de classe ou presque réfèrent la réflexion proposée à une optimisation de l'action, au moins à long terme. Mais certaines d'entre elles laissent au hasard de la bonne volonté individuelle des élèves le réinvestissement des acquis sur lesquels elle débouche alors que d'autres organisent ce réinvestissement : soit en les utilisant de façon immédiate comme dans l'exemple précédent, soit en consignnant ces acquis dans des outils (par exemple listes de critères de réussite) matériellement utilisables dans des phases ultérieures. Nous reprendrons plus précisément ce point à propos des fonctions de l'écrit par rapport à l'activité réflexive.

2.2. Opérations mentales impliquées dans l'activité réflexive

Ce deuxième axe de différenciation touche au type d'opération mentale, d'activité intellectuelle attendus de façon prépondérante et qui orientent de ce fait la logique des différentes séquences de classe. Différents plans seront ici distingués de ce point de vue :

- synoptisation et systématisation d'une démarche
- généralisation de considérations faites à partir d'une (ou de plusieurs) démarche(s) singulière(s)
- jugement . référence à la réussite de l'action
- prescription d'une démarche
- choix entre prescriptions multiples
- interrogation.

différents niveaux
de l'activité
réflexive

Ces différents plans ne sont pas indépendants les uns des autres et souvent la mise en œuvre de l'un d'entre eux entraîne celle d'un ou plusieurs des autres. On peut les concevoir en partie emboîtés, mais la hiérarchie n'est pas absolue. On peut y retrouver partiellement les distinctions faites par A.M. Melot et A. N'Guyen Xuan ⁽¹⁰⁾ entre différents niveaux de l'activité métacognitive :

- le niveau de l'observateur (représentation du déroulement de l'action),
- le niveau de l'observateur qui réfléchit (conceptualisation et référence à la réussite de l'action),
- le niveau de l'observateur qui agit en fonction de ce qu'il observe (utilisation du niveau précédent pour la régulation de l'action).

Mais, s'agissant ici d'une réflexion systématisée dans le cadre de la classe et non d'une réflexion spontanée d'individus en prise avec une tâche à réaliser, un découpage différent et une introduction de catégories supplémentaires (comme celle de la prescription) déterminées par la spécificité de ce type de situation a semblé pertinent.

(10) MELOT A.M., N'GUYEN XUAN A. «La connaissance des phénomènes psychologiques» in Oléron et al.. *Savoirs et savoir faire psychologiques chez l'enfant*. Bruxelles. Mardaga. 1981.

Dans les différentes séquences de classe, ils ne sont pas mis en œuvre de façon exclusive, mais les centrations sont différentes, la logique du dispositif tournant plus ou moins autour de tel plan privilégié.

- Synoptisation et systématisation d'une démarche

L'exemple 2 (voir 2.1.), sur la construction d'un outil graphique anticipatoire d'une démarche expérimentale, qu'on va effectivement mener, relève typiquement de cette perspective. Ce qui est visé en premier lieu est une vision globale de la démarche et sa systématisation, par opposition à une vision séquentielle tâtonnante.

vision globale
d'une démarche

La production attendue et obtenue des élèves est dans ce cas un tableau synoptique qui visera à réguler l'action à entreprendre.

Pour ce premier niveau, l'idée de «distanciation» est prise au pied de la lettre, pourrait-on dire. Une vision «panoramique» permet de se dégager de l'immersion dans l'action. Au lieu de considérer une démarche de façon séquentielle, élément par élément, on la voit dans son ensemble de façon simultanée, chaque action prenant un sens précis dans un raisonnement qui l'intègre. L'activité réflexive joue dans ce cas comme **synoptisation de la démarche**.

Avec cette vision globale, une systématisation, une **structuration logique intégrant les différentes actions** entreprises ou à entreprendre apparaît.

Ce procédé peut jouer un rôle important dans la régulation de la démarche sur laquelle porte la réflexion distanciée, en référant chaque élément constitutif à l'ensemble qui lui confère sa signification.

La production d'outils graphiques, consignnant diverses étapes ou éléments de la démarche, est particulièrement utile pour cet aspect de la question, en vertu de leur pouvoir de synoptisation.

- Généralisation

Ce deuxième niveau correspond au passage à un niveau d'abstraction supplémentaire. Selon les exemples, la généralisation porte sur des éléments partiels, ou bien sur la globalité d'une procédure, embrassant alors la synoptisation dont nous venons de parler.

généralisation,
abstraction

Il s'agit d'embrasser dans un même ensemble d'idées non pas une situation singulière, mais une classe de situations où une même caractéristique se retrouve. Ce **processus de généralisation** lié à l'abstraction procède par sélection de ces caractéristiques communes parmi l'ensemble beaucoup plus complexe des caractéristiques d'une situation singulière.

Pour une même démarche, **des sélections différentes peuvent être opérées** selon le problème auquel on s'intéresse. Différents plans de généralisation sont possibles et le professeur peut intervenir ici pour guider les élèves vers celui qu'il s'est donné pour projet de développer. Ces plans se situent sur

un plan «épistémologique» si ce qu'on cherche à abstraire de la situation concerne des aspects de la méthode scientifique (par exemple, «une hypothèse c'est...»). Ils se situent sur un plan plus psychologique si les régularités qu'on cherche à cerner concernent les modes de pensée («moi, je préfère faire un schéma plutôt qu'écrire des phrases»).

Ce qu'on attend des élèves dans cette perspective relève de formulations définitives de concepts méthodologiques («une hypothèse c'est...», «une expérience témoin c'est...») ou bien des énoncés généraux qui utilisent ces concepts de façon pertinente («avant d'arriver à une conclusion, il est nécessaire d'expérimenter»), s'il s'agit du versant «épistémologique» comme dans cet exemple. Ou bien encore, il peut s'agir d'énonciations descriptives générales de procédures («je commence par faire un plan, puis j'écris»).

- Référence à la réussite de l'action : jugement

Les considérations émises sont rapportées à la réussite de la démarche par rapport au but poursuivi. De ce plan sont exclues les réflexions d'ordre général qui pourraient être formulées comme des définitions ou comme des observations non valorisées. On abandonne une vision abstraite détachée, pour s'intéresser à la validité de ce qu'on fait ou à l'efficacité de l'action.

recherche de
l'efficacité

Mais en réalité, même dans les réflexions relevant des deux plans précédents, celui-ci est rarement entièrement absent. Quand on reconsidère l'ensemble d'une procédure qui a abouti à un «bug» par exemple, on peut la considérer en soi dans sa logique, mais tout de même, si on l'a considérée c'est bien parce qu'elle posait un problème quant à la réussite de ce qu'on voulait faire. Une polarité de valorisation-dévalorisation était en fait déjà présente.

Les jugements peuvent porter sur des actions particulières au cours de leur réalisation, jouant alors sur leur régulation, ou en fin de parcours, comme regard rétrospectif.

D'une façon ou d'une autre cependant, ils supposent une référence à des critères de jugement plus généraux, portant sur des classes d'actions et mettant en jeu des processus d'anticipation, regards rétrospectifs, comparaisons.

- Prescription

Ces jugements sont parfois systématisés en règles générales d'action qui prennent un tour prescriptif systématisé : par exemple : «Pour construire une courbe, lire d'abord les données à figurer, choisir une échelle, mettre les points correspondant aux données, etc...».

algorithmes
performants

Il s'agit alors de construire et de renforcer, jusqu'à arriver éventuellement à une automatisation, des algorithmes performants, susceptibles d'être mis en œuvre ultérieurement. Le risque est de favoriser une rigidification, un fonctionnement en recette, ce qui peut parfois être efficace, mais la procédure

risque d'être utilisée de façon non pertinente. C'est le cas de l'enchaînement «OHERIC»⁽¹¹⁾, qui bien que partiellement valide comme reconstitution logique a posteriori dans une démonstration, ne correspond en fait à aucune démarche réelle dans sa dynamique de production et son déroulement.

• Choix entre prescriptions multiples

choix selon le but
poursuivi

C'est par rapport à ce risque que des enseignants essaient de développer, plutôt qu'une telle attitude prescriptive, des prescriptions multiples référées à des buts différenciés entre eux. On arrive alors, plutôt qu'à un algorithme ou outil unique, à une série d'algorithmes ou outils disponibles, à choisir selon le but poursuivi.

Exemple 3 : C'est dans cette perspective qu'un des enseignants fait éprouver par les élèves l'efficacité de divers types de dispositions spatiales d'informations susceptibles d'être utilisées pour répondre à des questions de type différents (il s'agissait d'un travail sur le mode de respiration aquatique ou aérien de différentes espèces en fonction de leur milieu de vie). Les temps de réponse des élèves à différentes questions sont chronométrés pour trois dispositions spatiales différentes, qu'ils ont eux-mêmes produites auparavant. Les élèves peuvent se rendre compte que les tableaux à double entrée sont plus efficaces pour répondre à tel type de question, alors qu'une liste alphabétique est préférable pour telle autre.

• Interrogation

développement
d'une attitude
réflexive

A propos de cette dernière séquence, il faut parler de la place de l'interrogation dans le processus de réflexion distanciée. L'enseignant insiste sur le fait qu'il cherche plus à amener les élèves à se poser la question de la pertinence de l'outil construit par rapport au but poursuivi, qu'à développer un savoir faire spécifique. Se poser la question, c'est à dire marquer un temps d'arrêt réflexif, explorer les possibles plutôt que donner une réponse affirmative immédiate.

On voit qu'ici, c'est aussi une attitude qui est visée. L'intention est de développer non seulement une compétence spécifique, mais aussi l'attitude réflexive elle-même. Celle-ci sera susceptible par ailleurs d'engendrer de nouvelles «connaissances métacognitives» ou compétences. Mais un tel projet suppose un certain type de fonctionnement de la classe, certaines caractéristiques de la logique générale d'enseignement et peut difficilement se développer sur un seul exemple circonscrit et ponctuel.

L'interrogation intervient en fait, comme phase plus ou moins rapide, en association avec chacun des plans que nous venons de décrire. Mais, elle peut intervenir comme phase fugitive

(11) «Observation, hypothèse, expérimentation, résultat, interprétation, conclusion». André GIORDAN. *Pour une pédagogie des sciences expérimentales*. Paris. Le Centurion. 1978. p.34.

préalable («voyons, comment donc ai-je procédé jusque là ?), ou au contraire, prendre une place plus importante, plus finale dans le processus et être promue à son tour comme règle d'action. De façon particularisée, si on retient par exemple une série de questions précises à se poser systématiquement à propos de telle classe d'actions (par exemple «à qui est destiné le compte-rendu que je vais rédiger ?», «qu'est ce que le destinataire va en faire ?»), ou bien comme règle d'action plus générale, ce qui rejoint l'idée de développement d'une attitude réflexive.

2.3. L'objet de la réflexion

Un troisième axe de différenciation porte sur l'objet de la réflexion et sur le type d'acquisition qu'on cherche à développer chez les élèves.

On peut distinguer ce qui relève de méthodes spécifiques aux sciences et ce qu'on pourrait appeler des «méthodes ou outils de pensée», qui touchent en fait d'autres dimensions de l'activité, moins spécifiques aux démarches scientifiques.

- Plan épistémologique

Il est peut-être ambitieux d'appeler cette tendance «**épistémologique**». On peut se reporter pour préciser les sens de ce terme à l'article d'Anne Marie Drouin dans ce numéro («L'enfant épistémologue»). Il ne s'agit pas ici d'«épistémologie» dans le sens où il s'agirait d'examiner les fondements logiques de la validité des productions de la science. Plus modestement, il peut s'agir ici de travailler sur l'image qu'on a de la production de connaissances scientifiques : par exemple, se rendre compte que c'est en produisant d'abord des erreurs et en les rectifiant qu'on peut parvenir à un résultat. Ou bien, de construire des «concepts» tels que ceux de «variable», «hypothèse», «résultat», «modèle», «loi», etc. et s'interroger sur la façon dont on peut les traiter dans un raisonnement cohérent et logiquement correct, quand on conçoit une expérience, quand on recherche un résultat ou une interprétation.

Dans ce contexte, l'objet construit est indépendant du sujet produisant la connaissance. On s'intéresse aux régularités des méthodes scientifiques. Celles-ci peuvent se différencier en aspects plus conceptuels (comprendre ce qu'est une loi, une théorie, un fait..) et en aspects plus instrumentaux ou techniques (qu'est ce qu'une «expérience témoin», comment procéder à la mise en évidence indirecte d'une substance par l'intermédiaire d'un réactif donnant une réaction spécifique...). L'exemple suivant se situe sur un plan instrumental.

des démarches
spécifiques aux
sciences...

avec des aspects
conceptuels et
instrumentaux

Exemple 4 : Des élèves de troisième, au cours de biologie, ont travaillé sur la reconnaissance d'aliments simples, à l'aide de réactifs. Lorsque l'enseignante leur demande d'imaginer les expériences nécessaires pour connaître la composition du pain, elle s'aperçoit que les élèves ont des difficultés à déterminer le matériel nécessaire. Ils n'ont visiblement pas compris ce qu'est un réactif (certains demandent du glucose pour connaître la composition du pain !). Elle décide alors un temps d'arrêt et leur demande ce qu'est un réactif. Il s'agit de leur faire comprendre, à partir de cet exemple particulier, une démarche utilisée de façon plus générale en biologie ou en chimie : la mise en évidence, par un procédé indirect, de la présence ou de l'absence d'une substance.

Elle note au tableau un certain nombre des formulations ainsi données (par exemple «tube dans lequel il se passe quelque chose», «produit qu'on ajoute») et demande aux élèves de les reprendre par petits groupes. Sur une fiche, ceux-ci doivent écrire leurs critiques en regard de chacune des formulations (par exemple «elle nous précise que cela se passe dans un tube, mais ne dit pas ce qui se passe», «à moitié vrai parce qu'il ne dit pas à quoi cela servira»), puis ils devront en donner une nouvelle, après discussion. Enfin, après mise en commun dans la classe, chaque élève rédige individuellement sa propre formulation. Les élèves reprendront ensuite les expériences à propos desquelles ce temps de distanciation a eu lieu.

• Plan des «méthodes de pensée»

des outils
intellectuels
généraux ...

L'autre tendance se préoccupe moins des concepts méthodologiques utilisés dans les sciences, mais des **outils intellectuels généraux** que les élèves sont susceptibles d'utiliser pour réussir une tâche, valables dans d'autres disciplines : comment mémoriser un ensemble d'informations, comment organiser matériellement un ensemble de données pour pouvoir les traiter, comment s'y prendre pour écrire etc.

Une **dimension psychologique** vient ici interférer avec celle de la spécificité de la tâche à réaliser. On rejoint ici l'idée de **métacognition**, telle qu'elle est développée par exemple par Britt-Mary Barth ⁽¹²⁾.

C'est ici que des termes comme «gérer une tâche», «conduire consciemment sa pensée» (expression empruntée à Britt Mary Barth) entrent en scène. L'idée de réussite de la tâche, d'efficacité, est plus centrale ici que dans la perspective précédente. Cette perspective est à mettre en relation avec tout un courant, en fort développement actuel, sur les styles cognitifs d'une part, sur l'apprentissage des modes de raisonnement et des opérations intellectuelles d'autre part.

universellement
valides...

La pertinence de ces méthodes de pensée présente des **aspects universels** : certaines démarches intellectuelles ou certaines formes sont intrinsèquement meilleures ou plus pertinentes par rapport à une tâche donnée. Par exemple, certaines formes graphiques sont plus adaptées que d'autres pour des usages

(12) Britt-Mari BARTH. *L'apprentissage de l'abstraction*. Paris. Retz. 1987.

spécifiés : on a par exemple parfois intérêt à représenter des données sous forme d'un tableau à double entrée, et parfois plutôt sous forme d'un schéma en arbre, selon la nature du problème à résoudre. L'usage d'un outil non pertinent peut empêcher de résoudre un problème ⁽¹³⁾.

ou présentant des dimensions personnelles...

Mais ces outils de pensée présentent aussi une **dimension personnelle**, sujette à variation d'un individu à l'autre. On peut parler à cet égard de «**méthodes personnelles**», ce qui sous-entend que certains réussissent mieux d'une façon et d'autres d'une autre. Différents aspects de l'activité, dans l'apprentissage scientifique, peuvent donner lieu à de telles variations individuelles. Le fait de se servir de supports symboliques, de traces écrites pour raisonner ou au contraire de penser sur des évocations mentales, le fait de privilégier d'abord des aspects analytiques ou au contraire plus globaux ou complexes, la façon de mémoriser, la façon d'organiser des données comme support à un raisonnement constituent quelques uns d'entre eux. Rappelons aussi les oppositions visuel/auditif (développée par La Garanderie) et dépendant/indépendant du champ (développée par des psychologues comme Huteau,), qui sont actuellement des références courantes à ce sujet.

On a en général amené les élèves à rechercher des démarches à la fois pertinentes pour la tâche à mener et compatibles avec leur façon personnelle de fonctionner. Mais ces deux plans ne sont pas toujours faciles à démêler, et une ambiguïté persiste souvent quant au caractère personnel ou universel de certaines règles d'action adoptées à l'issue de l'activité réflexive.

Exemple 5 : On demande aux élèves d'une classe de sixième d'écrire un résumé du cours sur la respiration pour préparer un contrôle. Après la passation de l'épreuve et sa correction, les élèves, par groupes de deux (l'un ayant réussi son contrôle, l'autre ayant moins bien réussi) sont invités à échanger leurs résumés préparatoires et à discuter les relations entre leurs caractéristiques et le degré de réussite au contrôle : le fait d'avoir écrit un résumé a-t-il aidé ? Un résumé plus condensé aide-t-il mieux à retenir ? L'utilisation de formes graphiques a-t-elle aidé à comprendre et mémoriser (ils devaient classer leur résumé dans l'une des catégories «entièrement écrit», «entièrement schématisé», «mi-texte/mi-dessin») ? Après avoir discuté de leurs résumés mutuels, ils sont invités à dégager les critères d'un «bon résumé» pour apprendre. S'agit-il de critères valables pour tous ? En particulier, le caractère graphique ou au contraire «écrit» de façon juxtalinéaire correspond-il à des styles cognitifs, ou bien l'une de ces deux formes présente-t-elle des avantages généraux ?

et leurs traductions symboliques : écrits, graphismes

Dans les séquences de classe expérimentées, la majorité des réflexions de ce type a porté sur les modes de symbolisation et sur la gestion de l'écriture. La réflexion sur les modes de pensée et sur divers types d'opérations mentales (comparer, classer,

(13) A. BESSOT et F. RICHARD. «Une étude sur le fonctionnement du schéma arbre par la commande de variables d'une situation». *Recherches en didactique des mathématiques*. Vol 1. n°3. 1980.

etc.) s'est faite le plus souvent par l'intermédiaire d'une réflexion sur les caractéristiques des supports symboliques, qui offrent une matérialisation qu'il est plus facile de reprendre et de discuter.

- L'influence de la stratégie didactique sur l'objet de l'apprentissage

plutôt des
compétences
méthodologiques
que des
méthodes

Les acquisitions méthodologiques des élèves portent la marque du processus par lequel ils les ont construites. Plutôt que d'apprentissages de « méthodes », on parle de développement de « compétences méthodologiques » ou de « connaissances métacognitives » quand la réflexion distanciée entre en jeu. Le champ des objets d'apprentissage couverts par une réflexion de ce type se trouve élargi : de l'apprentissage d'algorithmes standards reproductibles tels quels, on passe à l'apprentissage d'idées plus générales comme celle que pour chaque fonction de l'écrit celui-ci doit obéir à des critères différents, ou bien que pour une même tâche, ce ne sont pas les mêmes outils qui sont les plus performants selon les individus. Dans l'idée de compétence méthodologique, il faut entendre la mobilisation de capacités, connaissances et savoir faire, davantage **pour établir une stratégie d'obtention de la réponse** que pour obtenir la réponse elle-même. Autrement dit, la compétence permet de construire une méthode, qui elle-même permettra de résoudre une classe de problèmes. Et de résoudre les problèmes de façon chaque fois un peu nouvelle, sans procédure canonique toute établie. On pourrait dire de la sorte, que l'idée de compétences méthodologiques revient plutôt à la **possibilité de produire une question, de penser la résolution d'un problème.**

3. CONDITIONS DE FACILITATION DE L'ACTIVITÉ RÉFLEXIVE

Ce type de travail suppose certaines conditions du point de vue de son insertion dans l'ensemble de la stratégie didactique et des dispositifs prévus pour le réaliser.

la réflexion
distanciée
s'appuie sur une
production de
démarches...

Tout d'abord, les séquences (ou les moments) de réflexion distanciée des élèves **ne peuvent exister isolément.**

Une condition préalable indispensable est de leur permettre de **produire des démarches par eux-mêmes**, dont ils éprouveront les limites par diverses confrontations et mises à l'épreuve. C'est une façon de donner l'**occasion de produire des « erreurs »**, qui, lorsqu'elles auront été reconnues comme telles, serviront de levier à une reconsidération des démarches. Sans erreur et sans problème, pas de dynamique de réflexion distanciée, celle-ci serait dépourvue de sa fonction essentielle qui est de tenter d'établir une cohérence là où on a perçu qu'elle était déficiente. Ceci ne veut pas dire que cette condition soit exclusive : on peut aussi donner, comme appui à la réflexion des exemples de démarches extérieures aux élèves, données dans

occasions
d'erreurs

des méthodes
intégrées aux
contenus

des manuels ou des documents divers. Mais nous postulons que la réflexion sera réellement déclenchée chez les élèves à partir du moment où ces sources extérieures seront confrontées à quelque chose qu'ils auront eux-mêmes produit.

Pour que les élèves puissent percevoir le caractère fonctionnel des méthodes qu'ils sont amenés à travailler, ces productions de démarches et la réflexion dont elles sont le support **ne doivent pas s'autonomiser comme un cours de méthodologie supplémentaire**, mais au contraire s'insérer dans les apprentissages conceptuels menés. Cela doit permettre de concevoir les méthodes comme des moyens de produire de la connaissance plutôt que comme des règles vides de contenu.

Ces conditions fondamentales étant remplies, comment organiser les activités des élèves pour que la réflexion distancée ait les chances optimales de se développer ? Sur la base des variations observées dans les dispositifs mis en place, nous poserons ici quelques questions à ce sujet.

3.1. La place du maître et de l'élève dans ce type d'apprentissage

Il s'agit donc plutôt que d'apprendre des méthodes aux élèves (faire de la méthodologie) de les amener à élaborer dans une certaine mesure par eux-mêmes les démarches les plus appropriées à la fois aux tâches à réaliser et aux caractéristiques cognitives de chacun d'entre eux.

Cela ne veut pas dire qu'il s'agisse d'attendre un apprentissage spontané qui se ferait sans intervention de l'enseignant. Comme pour l'apprentissage de contenus, le problème à résoudre ici est d'abord celui de la «tension didactique». «L'élève est le centre organisateur incontournable d'un savoir qui lui est radicalement hétérogène»⁽¹⁴⁾ et l'enseignant est porteur du projet de cette construction. La place du maître et de l'élève sont à examiner plus attentivement de ce point de vue.

Comment se situe la tension entre les façons de faire spontanées des élèves, les outils intellectuels dont ils disposent déjà (de façon facilitante par rapport aux apprentissages ou au contraire de façon à faire obstacle) et ce que le maître projette de leur faire acquérir ?

Plusieurs auteurs et enseignants affirment que les élèves seuls sont incapables d'une telle activité réflexive et que c'est toujours au maître d'impulser le processus. Mais il convient de moduler ces propos : si les élèves sont incapables ou n'ont pas l'idée d'une activité réflexive systématique, il existe sans doute, au moins pour certains, des moments réflexifs spontanés liés à la régulation de l'action. Dans quelle mesure l'intervention de l'enseignant est-elle donc nécessaire ?

Plusieurs dimensions interfèrent ici pour fonder cette nécessité :

démarches
spontanées des
élèves et projet
d'enseignement
du maître

(14) Voir paragraphe 1.1. et note 2. Equipe de recherche ASTER. *ibid.* p.52.

nécessaire
intervention de
l'enseignant...

- La centration de l'objet de la réflexion : pour que l'activité réflexive débouche sur des apprentissages méthodologiques déterminés, projetés par l'enseignant, il est nécessaire qu'elle soit cadrée par celui-ci. L'objet de la réflexion ne doit pas s'éparpiller, mais converger vers ce que l'enseignant projette de développer dans la séquence.
- La convergence de l'activité réflexive des différents individus : les échanges dans la classe jouant un rôle important dans l'activité réflexive elle-même, il est nécessaire de créer les conditions pour que dans l'activité intellectuelle des uns et des autres des rencontres soient possibles. Il faut que des moments soient prévus pour que des convergences ou divergences puissent apparaître, de façon que dans un jeu de comparaisons, questions et réponses mutuelles, les réflexions prennent corps par la recherche de dépassement des contradictions.
- Le déclenchement de l'activité réflexive : si une activité réflexive spontanée existe vraisemblablement, elle n'existe pas de façon égale pour les différents individus. Ils ne s'y livrent ni aux mêmes moments, ni sur les mêmes problèmes et surtout, certains sont moins enclins que d'autres à ce type d'activité intellectuelle. C'est pourquoi le rôle de l'enseignant pour créer des situations déclenchantes est important.

Comment le maître peut-il intervenir dans ces apprentissages et cadrer les situations ? De nombreuses modalités sont possibles.

selon une variété
de modalités

Il peut organiser les confrontations par lesquelles il a prévu que tel obstacle méthodologique (ou métacognitif) pourrait se fissurer ; en sélectionnant par exemple les documents produits par des élèves à discuter collectivement de façon que des façons de faire contrastées apparaissent ; ou bien en faisant utiliser par les élèves, de façon comparative, des outils construits par certains d'entre eux pour une même tâche.

Il peut amener les élèves à rassembler les critères de réussite d'une démarche qu'ils ont eux-mêmes dégagés dans une activité. Il peut proposer lui-même des outils à essayer et à comparer. Certains donnent eux-mêmes des catégories (observer, comparer, inférer etc.) que les élèves doivent repérer dans leurs démarches.

3.2. Rôle de l'écrit et des langages

l'écriture facilite
la distanciation...

L'écriture semble jouer un rôle important comme support de l'activité réflexive. Ceci ne veut pas dire qu'il ne faille permettre aux élèves de se livrer à une telle activité qu'en écrivant. Ceci pourrait représenter une dérive bloquante pour les élèves en difficulté avec ce mode d'expression. Mais, sans l'aide de ce support, au moins à certaines phases de l'activité, certaines opérations mentales et échanges semblent beaucoup plus difficiles. Comment donc l'écriture intervient et comment faciliter cette dernière pour ne pas tomber dans la dérive susdite ? Les solutions adoptées sont très diverses et témoignent aussi d'options différentes sur la nature de la réflexion proposée.

• Le rôle de la consignation matérielle

Insertion de l'écriture dans l'activité métacognitive

L'écriture peut jouer de deux façons différentes comme aide par rapport à la réflexion distanciée.

en conservant
des traces des
activités...

- D'une part, pour toute réflexion a posteriori sur une démarche, ou pour trouver des régularités entre plusieurs d'entre elles, il est utile de disposer de **traces** de ces dernières qui permettent de les reconsidérer ; ces traces sont alors prises comme témoins des processus ou procédures employées antérieurement. L'écriture joue ici comme «**matière première**» pour le **travail réflexif** qui se fait alors par reprise, relecture, comparaison de ces traces.

en consignat la
réflexion
elle-même...

- D'autre part, l'écriture peut s'insérer plus intimement dans le processus réflexif lui-même : **on réfléchit en écrivant**. Dans ce rôle, l'écriture favorise la structuration des idées sur les méthodes, ou bien permet de construire et conserver des outils utilisables pour la régulation des actions.

et en facilitant les
confrontations

Dans l'un et l'autre de ces deux cas, l'écriture joue un rôle clé dans la possibilité qu'elle donne de **communiquer** les idées différentes des uns et des autres et de procéder à des **comparaisons** qui servent de moteur à des reconsidérations ou des délimitations. Elle permet de mettre directement en regard des conceptions différentes, ce qui empêche les glissements et oblige à prendre en compte les contradictions. L'écrit est donc un outil majeur pour les confrontations, qui sont elles-mêmes centrales pour impulser l'activité réflexive.

Opportunité de construction des outils écrits

Certaines pratiques mettent l'accent sur la nécessité de la consignation des connaissances métacognitives acquises dans des outils écrits ; ce sont aussi celles qui attachent le plus d'importance au côté régulation de la tâche, qui ont la préoccupation de rendre opératoires ces connaissances et qui ont une visée d'efficacité immédiate. Il s'agit dans ce cas d'écrits en général condensés, orientés vers une utilisation économique en cours d'action. Ils se présentent souvent comme des listes de critères de réussite, de règles d'action, de questions à se poser... ou des grilles.

éviter la
rigidification

La construction de tels outils présente des avantages, mais expose aussi à certains risques : ces outils donnent des repères et permettent des réinvestissements dans des activités autres que celles qui leur ont donné naissance ; mais il existe un risque de rigidification dont nous avons déjà parlé à propos de la prescription (cf. 2.2.) qui peut faire obstacle à certaines démarches. Pour parer ce risque, il est possible de favoriser l'individualisation de tels instruments, dans la mesure où des prescriptions collectives semblent plus sujettes à une rigidité normative. C'est dans cet esprit qu'un des enseignants propose aux élèves de rédiger des «feuilles de conseils pour soi» pour la rédaction de résumés, après une discussion collective sur la question. Mais, même diversifiées, les autoprescriptions peuvent se rigidifier.

On peut aussi favoriser leur fluidité en ménageant des possibilités de réflexion sur leur degré d'adéquation aux activités spécifiques pour lesquelles ils pourraient être réemployés, et des possibilités de réaménagements correspondantes.

Exemple 6 : A la suite d'une activité expérimentale en physique, des élèves ont construit une grille de critères formels précisant les caractéristiques d'un schéma de montage expérimental. Dans une phase ultérieure, l'enseignante leur propose la réalisation d'un schéma d'un autre type : il s'agit de modéliser un phénomène au niveau moléculaire. Les critères de la grille ne sont plus utilisables tels quels et les élèves prennent conscience des limites de l'utilisation de l'outil. Une réflexion au second degré sur l'utilité de la grille est organisée par une discussion dans la classe.

Ces réflexions sont aussi à moduler selon les aspects suivants.

- Si ces outils sont construits **avant une mise à l'épreuve d'utilisation**, ils peuvent être conçus comme **provisoires** et remodelés. Si à l'inverse ils sont construits comme **récapitulation finale** de règles d'action (applicables dans d'autres situations), ils présentent d'emblée un côté plus **définitif** et sont plus sujets au risque de rigidification (ou de non-utilisation ultérieure, ce qui représente l'écueil inverse).

- La nature même de ce qui est consigné est susceptible de variations et cela change et le rôle de cette écriture et les écueils possibles : le problème se pose différemment de ce point de vue si ce qu'on inscrit correspond à une suite de règles de conduite pour une réalisation (par ex. «comment s'y prendre pour écrire un résumé») ou s'il s'agit d'une série de questions à se poser systématiquement à propos d'une classe d'action (par ex. «mon texte doit-il être descriptif ou explicatif ? qui lira mon texte ? etc.»).

Si à l'inverse on ne fait pas construire de tels instruments, on mise sur la mémoire, qui est plus aléatoire : on vise alors peut-être une intégration plus intime au système cognitif, on respecte les stratégies individuelles, mais on expose les acquisitions à l'oubli. Avec une stratégie de ce type, il est important de proposer des reprises relativement nombreuses à échéance brève de façon qu'une intégration puisse se faire par réinvestissements successifs.

Par ailleurs, il est possible qu'un risque de rigidification des produits de la métacognition existe même indépendamment de cette consignation écrite. Des précautions sont à prendre de toute manière du côté du développement parallèle de la plasticité de la pensée.

Ce problème rejoint deux problèmes plus généraux :

- celui de la relation entre l'extériorisation des idées et procédures (leur accès à la conscience et leur consignation sous une forme communicable) et leur intériorisation (conversion de «schémas» ou textes prescriptifs de procédures à utiliser en «schémas d'action» automatisés ou inconscientisés) ; dans quelle mesure la conservation, dans une mémoire qui est extérieure à l'individu (l'écrit qu'il a produit), de produits de sa

éviter l'oubli

pensée le dispense-t-elle de se souvenir lui-même (garder dans sa propre mémoire) et, au contraire, dans quelle mesure constitue-t-elle un relais pour sa mémoire ?

- celui, d'autre part, de la dialectique entre la plasticité mentale et la constitution d'outils mentaux sûrs et bien assis.

Pour parer aux difficultés de l'écriture pour les élèves

alléger l'écriture

On peut développer des stratégies d'allègement de l'écriture : en utilisant des formes facilement accessibles (style télégraphique par exemple, dessins, schémas, mots isolés), demandant peu de temps d'écriture (formes condensées) ; en dédramatisant les jugements éventuels qu'on a tendance à porter sur la forme écrite : il est utile pour cela de ménager des possibilités de réécriture en fonction des imperfections perçues. Une articulation entre écriture et parole peut être aussi facilitante, dans la mesure où les préoccupations évaluatives vis-à-vis de l'écrit peuvent être mises entre parenthèse provisoirement dans des phases parlées qui permettent une plus grande fluidité des idées. Les idées exprimées lors d'une discussion entre élèves peuvent être reprises partiellement dans des écrits qui sont en général beaucoup plus riches que ceux qu'on obtient par une écriture directe.

• Le rôle spécifique de certains langages

outils graphiques pour voir d'un seul coup d'œil

Par leur caractère synoptique, les outils graphiques ou les schémas sont susceptibles, rappelons-le, de constituer des instruments privilégiés de distanciation par rapport aux démarches intellectuelles : ils permettent de se représenter une succession d'opérations comme un tout organisé et de repérer en cours d'action chaque phase séquentielle par rapport à un ensemble qui lui donne sens, comme nous avons pu le signaler à propos de l'exemple 2. L'examen de tels outils produits par des élèves dans une séquence de classe sur l'identification d'ions dans une solution ⁽¹⁵⁾ montre que les outils graphiques, en tant qu'instruments économiques, solidarisent différents aspects de la tâche à réaliser (en particulier l'organisation pratique de l'expérience et le raisonnement sur lequel elle s'appuie). Il met aussi en évidence de quelle façon l'aide apportée par l'outil graphique pour le raisonnement et la réalisation de la tâche est diversifiée selon les individus.

• Le rôle des changements de langage

Les changements de langage facilitent-ils la métacognition ? Par exemple l'utilisation d'un schéma pour rendre compte d'une suite d'actions ou d'une action décrite verbalement, de la parole pour se distancier d'un écrit ou d'une série d'écrits, de l'écrit pour consigner ce que la parole apporte dans une démarche etc... plutôt que des considérations écrites sur de l'écrit... Le changement de langage peut favoriser un décrochage

(15) B. PETERFALVI. «Outils graphiques, anticipation de la tâche, raisonnement ». in *Aster* n°6, 1988, «Les élèves et l'écriture en sciences».

facilitant la distanciation. Selon les langages en effet les délimitations entre concepts sont différentes et les conversions obligent à des reconsidérations.

Le passage d'une forme extensive à une forme condensée peut favoriser l'abstraction, en obligeant à opérer des sélections. Inversement, le passage d'une forme condensée à une forme extensive incite à nuancer les idées et à adopter une attitude plus analytique.

Nous avons parlé plus haut de l'aide à l'écriture que peut apporter une alternance de phases écrites et parlées. Mais cette alternance constitue une aide aussi à la distanciation, en permettant une série de décrochages et de reformulations qui se servent mutuellement de support. L'article de Martine Szterenbarg dans ce numéro donne un exemple d'une telle procédure : Celle-ci reprend le principe de l'exemple 2 (construction d'un outil graphique anticipatoire pour la réalisation d'une expérience), mais propose en sus une procédure de réflexion sur l'outil anticipatoire avant son utilisation effective. Grâce aux passages entre visionnement de productions graphiques d'élèves au rétroprojecteur, discussions collectives sur cette base, réécritures, une prise de conscience des erreurs apparaît progressivement, des idées nouvelles, une construction d'un cadre organisé pour l'expérience émergent. Dans leurs productions écrites, les élèves reprennent certains éléments émis oralement lors de la discussion. Mais ces paroles n'ont été elles-mêmes rendues possibles que par l'existence d'écrits préalables qui leur servaient de support.

alternance de la parole et de l'écrit pour changer de registre

3.3. Rôle des confrontations

Les confrontations de natures diverses jouent donc un rôle central dans l'émergence de conflits cognitifs déclenchant un retour réflexif qui pourra déboucher lui-même sur des constructions alternatives de démarches ou méthodes. Comment favoriser ces confrontations, quelles modalités de travail adopter pour permettre ou obliger à ces fécondes mises en regard ? Nous avons déjà mentionné la fonction que pouvait remplir l'écriture comme condition de possibilité de ce processus. Nous verrons ici quelques éléments supplémentaires de situation susceptibles de permettre ce travail.

- Diversification, comparaisons

- Comparaisons entre différentes démarches ou productions pour une même tâche

. Une des modalités de travail souvent adoptée dans la perspective qui nous occupe est la comparaison entre différentes productions ou démarches d'élèves correspondant à une même tâche. On joue alors sur les différences perçues pour une remise en question des productions de chacun. Il s'agit donc d'abord de favoriser une diversification des productions, pour rendre ce type de comparaison possible. Nous avons déjà mentionné que la production de démarches par les élèves eux-

comparer des productions diversifiées...

mêmes constitue une des conditions favorables à la production de ces différences. Nous reviendrons plus loin sur d'autres conditions permettant ces différenciations.

La tâche de l'enseignant, dans une telle situation sera de choisir, parmi les productions de la classe, celles qui méritent d'être confrontées, celles dont la comparaison est la plus susceptible de provoquer des prises de consciences concernant la méthode. Il s'agira souvent de productions contrastées, dont chacune correspond à un type suffisamment représenté dans la classe.

. Une autre modalité de la comparaison consiste, non plus à faire produire des démarches différenciées par différents élèves, mais à faire produire successivement par chacun plusieurs démarches ou outils qui seront l'objet de la comparaison.

Exemple 7 : On propose à des élèves de représenter par trois formes graphiques différentes la structure logique d'une expérience qui leur a été transmise dans un film vidéo (l'identification des organes des sens employés par la Chauve Souris pour repérer ses proies). Il s'agit de deux tableaux à double entrée de structure différente et d'un schéma en arbre, proposés par l'enseignante. Après réalisation de cet exercice, les élèves sont invités à comparer les trois instruments : en quoi sont-ils équivalents ou pas ? Permettent-ils de représenter les mêmes données ? Peut-on les traiter de la même manière ? Avec lequel d'entre eux chacun se sent le plus à l'aise ? A l'issue de cette discussion, les élèves sont invités à produire chacun un instrument qui leur semble le plus adapté à la tâche et à leurs caractéristiques mentales personnelles.

ou successives...

Dans cet exemple, les outils à comparer sont proposés par l'enseignant. Il est possible aussi d'inciter les élèves à comparer plusieurs de leurs productions propres pour un même type de tâche. On peut, pour cela les renvoyer à leurs productions antérieures, ce qui est amplement facilité s'ils en ont conservé des traces écrites.

Le premier type de comparaison mentionné suppose l'organisation d'une communication entre élèves. Le second type ne le nécessite pas absolument, puisque chacun est amené à comparer plusieurs de ses propres productions.

Les comparaisons de démarches ou productions ainsi provoquées peuvent porter sur différents aspects : sur leur pertinence par rapport à une tâche, sur leurs qualités intrinsèques (des productions peuvent être par exemple comparées selon des critères formels, comme la qualité du trait pour la réalisation d'un schéma) ou encore sur les affinités personnelles pour telle forme ou telle démarche.

pour les
transformer ou
pour choisir

Ces comparaisons peuvent déboucher sur des **transformations** d'outils ou productions (modifications après critiques ou emprunts à d'autres) ou sur des **choix** entre plusieurs instruments.

- Comparaisons entre démarches homologues pour plusieurs tâches ou problèmes

comparer pour
conceptualiser

Une modalité apparentée à celle dont nous venons de parler consiste à comparer non pas plusieurs outils ou démarches concernant un même problème, mais des démarches homologues pour des problèmes différents. On débouche alors sur une **conceptualisation** de la démarche, une **abstraction** qui repose sur la sélection de caractéristiques communes entre plusieurs situations particulières. C'est ainsi que dans l'exemple qui suit ⁽¹⁶⁾, les élèves travaillent le concept de modèle scientifique.

Exemple 8 : Des élèves de CM ont construit successivement, au cours de l'année, des modèles explicatifs de différents phénomènes, (la dissolution du sucre, l'évaporation de l'eau, la succession des jours et des nuits, les saisons...) sous forme de séries de propositions et de schémas. Les séries de «phrases», élaborées de façon dissociée au cours de l'année sont inscrites au tableau pour cette séance, de façon à être visibles simultanément. Une discussion collective s'instaure sur la nature de ces «phrases» et sur ce qu'elles permettent. Par cette confrontation, les élèves sont amenés à proposer des caractérisations de ce qu'est un modèle : «une explication possible», «ce qu'on imagine pour pouvoir répondre à une question». Ils dégagent certaines propriétés des modèles comme le fait que «des modèles semblables permettent de résoudre des problèmes différents» (la dissolution du sucre et la disparition de l'eau d'un récipient par exemple) ou qu'un même phénomène peut être expliqué par des modèles différents. Ils vont jusqu'à dégager l'idée que certains modèles sont plus féconds (plus plausibles) que d'autres, parce qu'ils permettent de répondre à plus de questions.

• Mise à l'épreuve du réel

le réel résiste et
fait réviser les
procédures...

L'autre modalité de confrontation centrale dans ces démarches visant à produire une distanciation est la mise en relation de démarches imaginées ou décrites dans des écrits, exprimées sous une forme symbolisée, avec une démarche effective. Les outils construits sont utilisés selon le but imaginé au départ. On découvre en général que l'adéquation n'est pas parfaite. Les décalages entre ce qu'on a anticipé et ce qui se passe au cours de la mise en œuvre réelle fait apparaître des problèmes auxquels on n'avait pas songé et qui amènent à reconsidérer les méthodes du point de vue de leur caractère réalisable et de leur efficacité. En d'autres termes, ce type de confrontation oriente vers l'examen de la **fonctionnalité** de ce qu'on a produit.

(16) Cet exemple est détaillé dans un autre article de ce numéro d'*Aster* : GENZLING J.C. «Construire des méthodes à l'école élémentaire : la séparation de variables et la modélisation».

Exemple 9 : Dans une variante de la séquence 2 où les élèves devaient prévoir les expériences à réaliser pour déterminer les organes des sens que le lapin emploie pour repérer sa nourriture, certains d'entre eux avaient prévu, pour certaines phases de l'expérience de bander les yeux d'un lapin, pour observer son comportement lorsqu'il ne peut pas se servir de la vue. Au moment de la réalisation de l'expérience, ils s'aperçoivent que ce qu'ils avaient prévu est très difficile à réaliser pratiquement. Ils sont amenés à rechercher des équivalents logiques de cette action : empêcher de voir, sans empêcher de sentir ni d'entendre. C'est possible en cachant la nourriture (une carotte) tout en ménageant une circulation possible de l'air. La cacher dans un chiffon répond à ces conditions. Les élèves sont donc amenés à modifier leur plan d'expérience, tout en veillant à la structure logique de l'ensemble qui doit ainsi être précisée.

Cet autre exemple illustre le fait que selon la nature de la mise à l'épreuve proposée, la réflexion des élèves s'oriente vers une direction spécifique, déterminée par la fonction particulière de leurs productions dans le contexte considéré.

Exemple 10 : Des élèves doivent rédiger, pour leurs camarades d'une autre classe une fiche technique leur permettant de réaliser et comprendre un montage expérimental qu'ils ont eux-mêmes imaginé auparavant : comment faire monter de l'eau dans une seringue sans en actionner le piston au moment de l'ascension de l'eau. Le dispositif est simple : il faut préalablement créer une dépression en bouchant l'orifice et en tirant sur le piston. Au moment où on introduit l'orifice dans l'eau, il suffit de le déboucher et l'eau monte dans la seringue, sans qu'on touche au piston. Les élèves récepteurs de la fiche devront, avec les indications de leurs camarades être capables de réaliser le montage. Après réception des fiches et essais de réalisation de l'expérience ces derniers doivent écrire une lettre aux élèves auteurs : ils indiquent comment la fiche leur a effectivement permis ou pas de réaliser le montage et proposent des modifications.

Dans cette séquence, ce qui est mis à l'épreuve du réel est le caractère communicable du document écrit pour le public concerné et la cohérence des instructions qu'il donne pour que le montage réalisé provoque effectivement le phénomène escompté. La réflexion suscitée par cette procédure chez les élèves auteurs touche des aspects de la démarche d'écriture à respecter pour que celle-ci remplisse son but : la nécessité de se représenter les lecteurs et leurs connaissances relatives à l'objet du texte par exemple. Elle laisse en revanche de côté d'autres aspects que l'enseignant se proposait de faire travailler, comme la distinction entre les aspects injonctifs et explicatifs du texte⁽¹⁷⁾. En effet, l'enseignant avait demandé aux élèves d'ex-

mais pas dans
tous leurs aspects

(17) Cf. A. VERIN, «Apprendre à écrire pour apprendre les sciences» in *Astern*° 6, *Les élèves et l'écriture en sciences*, 1988, pp. 34-38. Cet article donne une analyse détaillée de cette séquence, à partir d'un document interne de l'INRP : C. DURNERIN, D. CAPART, A. ROBERT «Une situation de communication fonctionnelle pour la rédaction de fiches de travaux pratiques».

pliquer à leurs camarades «comment» et «pourquoi» le phénomène pouvait se produire ; il attendait une explication en termes de pression atmosphérique et de différences de pression. Or, cette explication n'est fonctionnellement pas nécessaire pour réussir la manipulation et les élèves ne l'ont spontanément pas utilisée. La mise à l'épreuve de la communication du texte pour la réalisation de l'expérience par d'autres n'a donc pas soulevé cette question que l'enseignant a dû aborder ultérieurement par un autre moyen.

• La communication entre élèves

Nous avons vu, à propos de la comparaison de productions et de leur mise à l'épreuve fonctionnelle, quelques situations où la communication entre élèves intervient. Cette communication peut être organisée à des niveaux divers (dans la classe, dans un petit groupe, entre plusieurs classes) et à différents moments de l'activité (pour l'élaboration d'une démarche dans un petit groupe par exemple, de façon rétrospective pour comparer plusieurs démarches...). Selon les modalités adoptées, cette communication joue à titre divers.

C'est le regard rétrospectif sur la production propre qui est favorisé lorsque l'élève

regard
rétrospectif sur ses
démarches...

. est critiqué dans la démarche qu'il propose ou a tel aspect de sa production désigné comme pertinent

. se réfère à sa propre production quand on critique un camarade (et moi, ce que j'ai fait, est-ce mieux ? l'aspect critiqué dans la production de l'autre se retrouve-t-il dans la mienne ?)

. présente ou explicite sa propre démarche pour un autre (par exemple lors de la mise en présence de classes de niveaux différents).

C'est la prise de conscience que d'autres démarches que la sienne propre sont possibles lorsqu'il

prise de
conscience
d'autres
démarches
possibles...

. peut voir ou prendre connaissance des productions des autres (ou de leur démarches)

. observe d'autres élèves en cours d'action

. emprunte des éléments des productions d'autrui pour compléter ou transformer la sienne

. est amené à utiliser un outil construit par un autre, et qui amène à une recherche de pertinence et d'optimisation des démarches.

La communication entre élèves joue un rôle important, par ses aspects affectifs, dans l'énergétique qui sous-tend les phénomènes cognitifs. La présentation de la démarche d'un camarade a une valence affective particulière qu'on ne retrouve pas de la même manière à l'occasion de la prise de connaissance d'une démarche analogue dans un document plus extérieur. Par l'identification que ce processus permet, la prise en compte, comme un possible pour soi, de certains aspects des démarches de l'autre est favorisée.

Les élèves ont souvent néanmoins des difficultés à se décentrer, à entrer dans la logique de productions qui ne sont pas les leurs. Ceci se manifeste en particulier par le fait qu'il leur est souvent plus facile d'aborder les productions des autres par des critiques ponctuelles, ou par des emprunts locaux, que d'essayer d'en comprendre la logique intrinsèque.

bien que la décentration soit difficile

Mais plusieurs considérations peuvent minimiser le poids de cette difficulté :

D'une part, celle-ci est incontournable, elle est intrinsèquement liée aux caractéristiques de la cognition en développement. Il faut donc faire avec et l'on tire malgré cela des bénéfices de la communication. A l'occasion de l'examen de la production d'autrui, par exemple, même si l'on n'entre pas dans la logique de l'autre, il est fréquent qu'on soit renvoyé à une réflexion sur sa propre démarche. La considération des productions d'autrui permet de lever des inhibitions.

D'autre part, il est possible à cette occasion de développer cette capacité de décentration : par des procédures contraignant par exemple à emprunter la forme adoptée par un camarade pour présenter un contenu personnel ; ou bien en proposant de réécrire à sa propre manière le contenu proposé par l'autre ... divers procédés sont possibles.

• Liberté, contrainte et confrontations

Une discussion récurrente sur le rôle de la liberté et de la contrainte par rapport à l'éclosion d'une pensée réflexive a eu lieu entre les enseignants participant à ce projet.

Certains pensaient qu'un climat globalement libre était indispensable pour que la pensée sur les procédures personnelles se développe d'une façon qui mette en jeu l'adhésion réelle du sujet et que des modalités personnelles (hors norme) puissent s'exprimer et être examinées. D'autres pensaient que des systèmes de contraintes précis étaient nécessaires pour obliger à mettre à l'épreuve (de différentes manières) les productions ou les façons de faire des élèves.

donner de la liberté pour diversifier...

En réalité, il semble que le partage ne soit pas si simple et que les différentes stratégies employées dans les séquences de classe combinent de façons diverses des moments où l'un ou l'autre de ces aspects est privilégié. D'une manière générale, lorsque le moteur choisi pour favoriser la prise de conscience repose sur la comparaison de productions ou de procédures diversifiées par différents élèves, on a intérêt, au moins au départ, à ménager un maximum de liberté de façon que les productions soient réellement diversifiées et permettent des comparaisons plus riches. Par contre, pour les moments où l'on mise sur l'exploration des limites d'un outil ou de la pertinence d'un langage par rapport à un usage donné, on a intérêt à donner des contraintes fortes pour que ces limites apparaissent clairement (on peut même aller jusqu'à proposer transitoirement des tâches impossibles - utiliser un outil inadéquat - de façon à faire éprouver réellement l'inadéquation et faire produire ensuite par les élèves des outils qui eux, seraient adéquats et faire préciser les conditions d'adéquation).

mais des contraintes pour éprouver les démarches

Autrement dit, la liberté favorise la diversité qui peut servir de support aux confrontations alors que les contraintes favorisent la convergence qui permet aux confrontations de se faire de façon effective.

3.4. Effets de surprise et entraînement

La façon d'organiser dans le temps l'activité réflexive et le travail sur les méthodes peut donner lieu à différentes stratégies. Globalement, pour obtenir un effet d'apprentissage qui ne soit pas négligeable, on a le choix entre des actions à long terme et des actions à court terme qui soient suffisamment frappantes pour ébranler certains obstacles et laisser une empreinte dans l'esprit des élèves.

effets
spectaculaires

En effet, certaines pratiques mettant l'accent sur le côté prise de conscience recherchent des effets spectaculaires, un «tilt» dont les élèves se souviendront même si l'activité ne se déroule pas sur une longue durée. On utilise parfois pour cela des références à des pratiques déviantes par rapport aux normes scolaires habituelles, voire interdites. Par exemple, on a proposé à des élèves, de façon quelque peu paradoxale et avec un petit clin d'œil d'écrire des «antisèches» ou «pompes» de façon à leur faire éprouver ce qu'il est vraiment utile d'écrire pour leur permettre de restituer de façon économique des connaissances utilisables. Ils prennent conscience à cette occasion que certains écrits ne sont pas utiles seulement pour le professeur, mais aussi pour eux-mêmes. Ils se rendent compte aussi que selon le type d'exercice qu'ils prévoient, ce ne sont pas les mêmes informations qu'ils conservent. Il s'agit, dans cette stratégie d'obtenir des effets de rupture, de casser des habitudes.

On utilise aussi parfois des mises à l'épreuve agies par les élèves eux-mêmes montrant de façon éprouvée et objectivée la difficulté d'utilisation ou l'inadéquation de certains instruments par rapport à la fonction qu'ils sont censés jouer : c'est le procédé utilisé dans l'exemple 3 lorsqu'on propose aux élèves un chronométrage de leurs temps de réponses et qu'en sus l'enseignant leur apporte la fois suivante des histogrammes faisant apparaître comment ces temps varient en fonction des questions et des outils utilisés.

On cherche dans tous ces cas des événements marquants, qui puissent s'insérer facilement dans le réseau des évocations familières aux élèves, on cherche un langage direct qui puisse être facilement révoqué.

Par opposition à des séquences où cet aspect intervient comme moteur de la réflexion des élèves sur leurs démarches, d'autres mettent l'accent sur la nécessité du travail à long terme, favorisant les mises à l'épreuve successives de chacune des modélisations de la démarche construite à chaque nouvelle occasion : on est là plutôt dans une logique d'intégration progressive.

entraînement	<p>Pour comprendre ce qui peut se passer dans ce cas par rapport à la réflexion distanciée sur les méthodes, une nouvelle distinction est importante.</p> <p>Certaines de ces pratiques favorisent l'entraînement, c'est-à-dire vont dans le sens d'une automatisation et une disponibilité grandissante des démarches. Il s'agit de favoriser un algorithme ou une méthode qu'on utilise systématiquement, à chaque occasion de mieux en mieux. Ceci permet d'adopter cette démarche sans plus y faire attention et rend disponible pour autre chose, ce qui est un avantage certain. L'automatisation des démarches est indispensable dans une très grande mesure, pour des raisons de gestion de charge mentale. Lorsqu'on adopte une telle démarche, on sort du champ de la réflexion distanciée ou métacognition.</p>
ajustements successifs	<p>On peut adopter une autre optique, qui mette en jeu une réflexion à chaque nouvelle occasion, de manière à opérer de nouvelles délimitations conscientes dans l'usage des procédures, pour disposer finalement d'une palette de procédures possibles parmi lesquelles on peut procéder à chaque fois à des «choix actifs» selon l'idée qu'on a construite de l'opportunité de leur emploi. La métacognition est alors présente, aussi bien au niveau prise de conscience qu'à celui de la régulation de l'action.</p>
faut-il choisir ?	<p>Faut-il choisir entre ces types de démarches ? Chacune présente des avantages et le fonctionnement intellectuel a besoin à la fois d'automatismes et de décisions conscientes. Toujours est-il que dans la pratique, chaque enseignant, avec son style particulier a tendance à privilégier toujours la même parmi ces deux orientations. Aurait-on intérêt à enrichir et chercher des articulations plutôt qu'à choisir ?</p> <p>Ce problème est à mettre en relation avec celui de la recherche de l'optimisation de l'action ou de l'acceptation d'une régression, au moins apparente et transitoire, sur ce plan : l'activité métacognitive suppose un passage par le symbolique (la prise de conscience distanciée s'appuyant sur le verbal) amenant à reconsidérer les schèmes procéduraux correspondant aux automatismes, ce qui peut rendre l'action moins efficace tant qu'un schème procédural nouveau ne s'est pas consolidé.</p>

3.5.Prise en compte de la capacité de distanciation

Nous avons vu les avantages de miser sur une activité réflexive pour développer les compétences méthodologiques des élèves. Or, il est tout à fait vraisemblable, et on a pu l'observer, qu'il existe des personnes plus ou moins enclines à la réflexion distanciée

- Styles cognitifs, âge et réflexion distanciée

Ce type d'activité mentale convient plus ou moins bien aux styles d'apprentissage individuels. Ne risque-t-on pas, en misant trop exclusivement sur cette stratégie didactique de privilégier ceux qui sont le plus à même de se distancier, qui

la distanciation
convient bien à
certains et moins
à d'autres

passent plus facilement à un niveau d'abstraction plus élevé, en somme les bons élèves ? Les limites de ce qui est explicitable par les élèves varient selon leur âge, leur niveau de développement cognitif, leur degré d'avancement par rapport à un apprentissage donné, selon le substrat concret ou expérimental dont ils disposent. Il n'est pas toujours possible de connaître ces limites et elles ne sont d'ailleurs pas absolues : selon l'investissement dans l'activité, selon ce qu'on pense possible et les situations dans lesquelles on place les élèves, ces limites se déplacent. On a vu, dans l'exemple 8 comment des élèves de CM sont amenés à exprimer des considérations élaborées sur les modèles et la modélisation. Des élèves très jeunes sont donc capables de beaucoup si on en prend les moyens.

Si la capacité de distanciation métacognitive est une caractéristique de « styles cognitifs individuels », on peut aussi s'interroger sur la plasticité de cette caractéristique. Peut-on l'acquérir si on en est peu pourvu ? Peut-on développer cette caractéristique par des stratégies didactiques pensées à cet effet ?

Ou bien, à l'inverse, à supposer que cette capacité soit un donné peu modifiable, ne serait-ce pas une source d'échec de ces pédagogies pour les élèves qui en seraient dépourvus ou peu pourvus ?

Faute de réponses précises à ces questions, on peut évidemment éviter de tabler trop exclusivement sur des stratégies de ce type. C'est d'ailleurs rarement le risque dominant. Il est aussi possible de jouer sur les degrés de distanciation dans les activités proposées aux élèves.

En effet, la distanciation est susceptible de degrés : un premier degré pourrait être représenté par exemple par la représentation sous forme d'un schéma synoptique d'une démarche qui s'est déroulée pour un élève (synoptisation de la démarche) ; un second degré pourrait être représenté par des considérations comparatives entre plusieurs schémas correspondant à des démarches différentes de plusieurs élèves (prise de conscience que plusieurs démarches sont possibles) ; un troisième degré pourrait être représenté par des considérations sur l'aide que peut apporter un schéma pour modéliser une démarche et sur les limites de cette aide (réflexion sur les représentations des démarches)... On peut ainsi concevoir des niveaux d'abstraction emboîtés et choisir dans chaque cas celui qui est susceptible de pouvoir être accessible aux élèves (selon leur âge, leur niveau scolaire, leur expérience de la réflexion distanciée).

chercher le degré
de distanciation
adéquat

- Dimension socio-culturelle : le problème de la gratuité/utilité

Outre le problème de l'âge et celui des styles cognitifs individuels, la pratique de pensée réflexive est plus ou moins facile du fait qu'elle rencontre un écho très inégal selon les milieux socio-culturels. Pour certains, ce mode de pensée s'inscrit naturellement dans la dynamique des échanges au niveau quotidien alors que pour d'autres, il s'agit d'une rupture importante. Pour

éviter la gratuité

les élèves de milieux socio-culturels défavorisés, qui sont souvent aussi des élèves «faibles», le caractère gratuit qui peut s'attacher au détour métacognitif peut être une raison de refus de s'y engager. A un problème de capacité de distanciation s'ajoute ici un problème d'attitude, directement lié au système de valeurs du groupe social. Des précautions particulières sont à prendre à cet égard : si ces élèves peuvent percevoir le caractère fonctionnel des moments de distanciation, le problème est amoindri. C'est une des raisons pour lesquelles il est opportun d'insérer l'activité réflexive dans le cursus général d'apprentissage de façon qu'une utilité suffisamment immédiate apparaisse : soit qu'elle permette de réussir une activité qui sans ce détour échouerait, soit que ce qu'on en tire sur le plan de connaissances sur la méthode puisse être réinvesti de façon suffisamment immédiate dans une autre activité, optimisée par ce moyen. On peut faire l'hypothèse que si, pour certains aspects de l'activité réflexive, l'efficacité par rapport à l'action peut être éprouvée, certains aspects plus gratuits dans l'immédiat pourront être perçus comme ayant une utilité d'ordre général à plus longue échéance.

3.6. Prise de risque et climat de sécurisation

Les pratiques mettant en jeu la métacognition fragilisent (au moins transitoirement) les assurances cognitives des élèves. Penser sur sa pensée suppose qu'on se livre, dans des aspects qui ne sont pas nécessairement ceux qui sont les plus canoniques ou acceptés scolairement. Cela suppose d'examiner ses faiblesses et ses incertitudes. Cette prise de risque nécessite des conditions de sécurisation particulières, un climat permissif, sans quoi, elle ne se fait pas effectivement. Ce problème est particulièrement important pour les élèves qui ont des difficultés scolaires et qui, faute de se sentir suffisamment assurés ne se permettent pas ces risques.

autoriser l'erreur

Un tel climat suppose un changement de statut de l'erreur. Celle-ci doit être perçue non seulement comme autorisée et avouable, mais la faire concevoir comme partie intégrante du processus d'apprentissage peut contribuer à permettre de se lancer sans inhibition dans son expression et son réexamen. Il s'agit par les dispositifs qu'on met en place et les activités qu'on propose, de modifier la représentation de l'apprentissage et de la construction des connaissances en faisant éprouver que c'est à partir de l'examen des erreurs que se font les progrès de la pensée. En somme, ce qu'on cherche, c'est retourner une situation : utiliser les faiblesses comme tremplin à la construction de nouvelles connaissances, rendre les erreurs intéressantes pour les élèves. Par des indications explicites de l'enseignant sur les processus d'apprentissage, on peut renforcer cette neutralisation du sentiment de faiblesse et faciliter l'engagement des élèves dans la pensée réflexive sur leurs propres démarches.

sécuriser

Quelles situations sont les plus sécurisantes pour les élèves ? Des considérations sur «comment je fais» s'expriment peut-être plus facilement avec des pairs (d'autres élèves) et peut-être plus dans des situations de petits groupes, sans supervision du professeur représentant des normes scolaires ; à moins que l'intervention facilitante de l'enseignant soit au contraire nécessaire pour autoriser ce qui ne l'est peut-être pas habituellement en classe ? Ou bien les situations les plus favorables seraient-elles des situations ne mettant pas directement en jeu une relation sociale, comme les situations proposées par Papert, où l'élève, seul face à sa machine est en situation de reconsidérer ses façons de faire jusqu'à réussite de la tâche, qui donnera le verdict final de la correction de la démarche ? Ou bien des situations ludiques, hors contenu, comme le proposent certaines techniques d'entraînement mental ? Mais on perd alors le côté fonctionnel de l'activité réflexive.

4. CONCLUSION

ce n'est pas une panacée

Nous avons vu un certain nombre de conditions favorisantes pour le développement d'une activité réflexive des élèves sur leurs démarches, mais bien des questions restent ouvertes. Il ne faudrait pas conclure hâtivement que ces pratiques doivent devenir omniprésentes et soient susceptibles de répondre à tous les problèmes. Rappelons à cet égard que le mode de pensée sollicité dans ce genre d'activité ne convient pas nécessairement à tous les individus, élèves et enseignants. Rappelons aussi que ces pratiques ne peuvent exister isolément, un substrat expérientiel suffisant étant nécessaire pour un développement de pensée au second degré. Dans cet esprit, la place des moments de distanciation est à examiner, de manière qu'ils n'évacuent pas les activités en prise directe avec les objets, par une substitution trop poussée de manipulations d'objets symboliques à celle d'objets réels.

Pour décider d'une stratégie à adopter lorsqu'on s'engage dans ce travail, il est nécessaire d'opérer un certain nombre de choix. Les systèmes d'opposition qui suivent peuvent aider à se situer à cet égard. Il ne s'agit souvent pas de choisir de façon exclusive entre les pôles proposés. Ce qu'il s'agit souvent de chercher au contraire, c'est une façon d'articuler entre eux les termes en opposition :

- développer des compétences spécifiques ou une attitude réflexive, susceptible de générer des connaissances métacognitives nouvelles ;
- rechercher un succès à brève échéance de l'action ou bien accepter des régressions provisoires pouvant déboucher sur de nouveaux apprentissages.

des choix sont à faire

Ces deux alternatives sont à examiner du point de vue de leur exclusivité ou au contraire de la nécessité des deux branches pour leur construction mutuelle. Le choix est similaire à celui d'apprendre à apprendre, par rapport à apprendre des connaissances spécifiées : ici le choix est de favoriser la capacité de réflexion distanciée et la plasticité procédurale, ou de faire construire des procédures solides sur lesquelles on pourra s'appuyer et qu'on ne remettra pas en question au moins pour un temps (cf. «routines» en informatique). Les mots-clés pourraient être d'une part «efficacité» et d'autre part «plasticité» ; peut-être le problème serait-il de réussir à concilier ces deux termes dans une même pratique.

- Créer une situation favorisant une activité réflexive spontanée ou bien cibler précisément, systématiser la procédure réflexive mise en place. Autrement dit, faire entrer l'activité réflexive dans la «coutume didactique» ou bien organiser un contrat précis à propos de telle réflexion à mener.
- Intégrer l'activité réflexive avant, après, pendant la réalisation d'une démarche.
- Jouer sur la répétitivité, le long terme, les reprises de la même réflexion à propos d'activités successives, ou bien opter pour une logique de démonstration jouant sur des effets de surprise sur un temps court.
- Faire produire des outils formels utilisables pour la régulation de l'activité présente ou ultérieure (grilles de critères de réussite, procédures à suivre...), ou miser sur l'intériorisation des acquisitions dans la mémoire.
- Orienter la production vers un algorithme privilégié ou vers un choix d'algorithmes ou démarches multiples à choisir en fonction de leur pertinence par rapport à une situation.

Les séquences ou moments «réflexifs», au dire des enseignants leur sont très utiles : c'est une façon inhabituelle et féconde de se rendre compte de «là où ça coince pour les élèves», selon l'expression employée par l'un d'entre eux, de situer les sources de leurs difficultés qui sont souvent ailleurs que là où ils les imaginaient. Quant aux élèves, leur attitude vis à vis de ces séquences oscille entre l'enthousiasme et la réticence : «ils adorent ça» ou bien «ils ont horreur de ça» rapportent les enseignants selon les essais. A quoi attribuer de telles variations ? Cette interprétation peut être avancée : l'utilité même de la procédure pour l'enseignant peut être la source d'un sentiment de piège pour les élèves. Se sentir observé dans les détours, somme toutes assez intimes parfois de leur pensée peut être paralysant. C'est ce que nous avons appelé l'effet «Big Brother». Cet effet peut être accentué par le fait que ces essais en classe se font dans le cadre d'une recherche : avec une visée évaluative, les enseignants veulent savoir ce que pensent leurs élèves et comprendre le fonctionnement de leur activité réflexive. La pression d'enseignement s'en trouve augmentée et les élèves se trouvent privés de ce fait d'une marge de manœuvre qui se situe à l'abri du regard de l'enseignant.

se méfier de l'effet «Big Brother»

Mais il n'est pas indispensable, pour que l'activité réflexive se fasse effectivement, que l'œil de l'enseignant soit présent en permanence lorsqu'elle se déroule. On peut aussi organiser ces activités de manière qu'elles aient une signification intrinsèque suffisante pour les élèves : qu'ils perçoivent qu'elles les aident à sortir d'un tâtonnement dans lequel ils s'enlisaient, qu'elles leur permettent de réussir enfin une tâche qu'ils ne parvenaient pas à mener à bien, qu'elles leur donnent des armes tangibles pour aborder d'autres activités ou bien qu'ils y trouvent un plaisir narcissique à comprendre comment ils fonctionnent par rapport à des démarches habituelles.

Brigitte PETERFALVI
Equipe de didactique des sciences
expérimentales, INRP

Les séquences de classe citées ont été conduites par des enseignants associés à cette recherche :

Exemple 1 : Anne Goube

*Exemple 2 : Martine Flécher, Marie-Françoise Garreau, Philippe Girard,
Françoise Guillochin, Catherine Laget, Martine Szterenbarg*

Exemple 3 : Etienne Durup

Exemple 4 : Martine Szterenbarg

Exemple 5 : Philippe Girard

Exemple 6 : Anne Goube

Exemple 7 : Martine Szterenbarg

Exemple 8 : Jean-Claude Genzling

Exemple 9 : Martine Szterenbarg

Exemple 10 : Camille Durnerin