

LES OBSTACLES ET LEUR PRISE EN COMPTE DIDACTIQUE

Brigitte Peterfalvi

l'obstacle
comme
nécessité
fonctionnelle
de la pensée

Les problématiques développées en didactique des sciences depuis une quinzaine d'années ont remis à l'ordre du jour l'idée d'obstacle épistémologique, proposée par Bachelard en 1938. Renouvelant le courant de recherches sur les représentations ou conceptions des apprenants, ce concept est venu donner sens et cohérence à ce qui pouvait apparaître comme singularités ou bizarreries dans la pensée des apprenants. Il introduit un aspect dynamique, passant d'un point de vue réifiant sur des objets mentaux, parfois rassemblés en catalogues, à un point de vue sur des fonctionnements. Il met en particulier l'accent sur les inerties, les processus de résistance de la pensée par rapport à ce qui peut remettre en question ses assises et ouvre des perspectives pour la prise en compte des représentations dans les processus d'enseignement/apprentissage. Dans cette optique, les "erreurs", "idées fausses", "écarts" aux connaissances socialement reconnues, loin d'être le produit du hasard ou d'un manque de connaissances, obéissent à une logique qui constitue une nécessité pour le sujet et a pour lui une fonction positive. Ils procèdent d'un processus incontournable, intrinsèque à la construction de la pensée, qui doit s'en émanciper pour se former. Il ne s'agit pas de difficultés, puisque le sujet peut au contraire avoir l'impression de comprendre. Il ne s'agit pas non plus de lacunes, mais au contraire de "trop pleins de la pensée", comme le dit Michel Fabre (1), de systèmes de connaissances polymorphes souvent chargés affectivement, qui permettent au sujet d'appréhender les phénomènes et d'orienter son action. C'est ce qui lui fait apparaître comme inutile ou même dangereux un nouveau point de vue. L'attachement à ces systèmes de pensée, lié à leur fonction positive, explique leur récurrence, leur résistance au changement et à la réfutation.

un concept
diversement
adapté au
contexte scolaire...

Par rapport aux problématiques d'étude des représentations, un double déplacement s'est opéré avec ce courant de recherches. De l'étude des représentations ou conceptions des élèves on est passé à celle des obstacles qui les soutiennent ; de l'étude descriptive de ces fonctionnements intellectuels on est passé à la théorisation et aux essais pratiques de modalités didactiques pour les traiter.

Si un accord général pour la prise en compte des obstacles dans l'enseignement des sciences semble se manifester dans les milieux didactiques et pourrait même constituer une cer-

(1) FABRE M. (1995), *Bachelard éducateur*, Paris : PUF.

...objet de
résistances...

taine vogue, le terme n'est pas toujours pris tout à fait dans le même sens. Ainsi, le qualificatif "épistémologique", employé à l'origine par Bachelard est parfois remplacé par d'autres ("ontogénétique", "psychologique", "didactique", "pédagogique"...), témoignant de l'effort d'adaptation du concept aux problèmes posés dans le cadre de l'enseignement, mais aussi de la diversité des perspectives adoptées. La tendance à la réification et à l'assimilation à de simples difficultés qui s'exprimait auparavant à propos des représentations ou conceptions est en outre toujours latente. C'est que le concept d'obstacle est difficile à cerner et que des résistances se manifestent à son égard, notamment dans les milieux enseignants.

Dans une perspective apparentée, mais sans toujours employer le terme d'"obstacle", certains courants ont développé un point de vue qui met l'accent sur des aspects transversaux de la pensée (le "*raisonnement linéaire causal*" ou la "*pensée séquentielle*" décrits par J.-L. Closset, S. Rozier et L. Viennot) comme explication unifiante de la production d'erreurs dans des domaines de connaissance disjoints. Le terme d'obstacle est lui-même repris parfois en référence à des aspects plus ou moins transversaux à différents contenus conceptuels. Bachelard le proposait aussi dans ce sens lorsqu'il parlait de l'obstacle de l'"*expérience première*", de "*la pensée générale*", ou de "*l'animisme dans les sciences physiques*", bien que toujours en relation avec des contenus spécifiés. Mais c'est souvent en référence aux aspects structuraux piagétiens liés au développement de la pensée opératoire, que de tels aspects transversaux sont évoqués, puisque la didactique s'intéresse à la genèse des concepts scientifiques chez les enfants, dans le cadre de l'enseignement, donc à l'épistémologie génétique. C'est ainsi qu'on parle de l'anthropomorphisme, de l'adualisme de la pensée, de la prédominance des fonctions figuratives... Même si les perspectives bachelardienne et piagétienne ne se recouvrent pas entièrement, un parallèle est souvent opéré entre l'idée de déséquilibre et de rééquilibration de Piaget et celle de rectification de la pensée chez Bachelard. Elles constituent souvent une double référence pour les didacticiens, qui empruntent chez chacun de ces auteurs ce qui s'intègre à leur problématique propre.

...objet de
controverses

La référence aux aspects transversaux de la pensée est toutefois contestée par certains, en liaison avec des travaux plus récents de la psychologie cognitive qui considèrent les avancées significatives de la pensée davantage liées aux domaines particuliers où elle s'applique, et dans une autre optique, par l'évacuation des aspects symboliques de la pensée qu'un tel point de vue structural représente. La conception qui en découle pour les obstacles est de ce fait différente, ainsi que les façons dont on envisage de les traiter.

Diverses tentatives ont eu lieu pour prendre en compte ces dynamiques dans l'enseignement. La proposition par J.-L.

des tentatives
de prise
en compte dans
l'enseignement

Martinand dès les années 84-86 de travail par "objectifs-obstacles" en est un des premiers exemples (2). Un colloque tenu au Canada en 1989 a fait un premier point sur les stratégies didactiques du traitement des obstacles et plus particulièrement sur les apports et les limites du conflit socio-cognitif dans ce domaine (3). Diverses réalisations pratiques ont été mises en œuvre depuis cette période. Elles mettent en jeu différents principes, notamment celui de conflit socio-cognitif emprunté à l'école genevoise néo-piagétienne, celui de "déconstruction" des réseaux d'idées constitués en obstacles reprenant l'idée bachelardienne de "*psychanalyse de la connaissance*", celui de réflexion épistémologique des élèves ou encore de "*dérangement épistémologique*" comme le proposent M. Larochelle et J. Désautels (4) (1992).

En quoi consistent ces réalisations ? À quelles évolutions des modes de pensée aboutissent-elles ? Quelles en sont les limites ? En quoi l'idée bachelardienne d'obstacle est-elle modifiée pour s'adapter aux problèmes de l'apprentissage scolaire ? Les obstacles sont-ils envisagés comme passages obligés de la pensée en développement ou cherche-t-on, par des pratiques didactiques appropriées à les éviter ? Quels sont chez les enseignants les obstacles à l'idée d'obstacle ?

Les articles que nous réunissons dans ce numéro contribuent à éclairer la façon dont ces questions sont actuellement évoquées. Chacun d'entre eux, outre des développements sur le concept d'obstacle ou sur l'analyse d'obstacles à la construction de concepts spécifiés, propose et analyse des modalités de prise en compte possible par l'enseignement. Dans la plupart des cas, il s'agit de modalités de travail effectivement testées. Certains articles, comme celui de Marcelle Goix, fournissent en outre des données et analyses sur l'évolution effectivement obtenue chez les élèves à la faveur de ces pratiques. À travers cet ensemble de contributions, une diversité de conceptions de cette prise en compte apparaît.

Les trois derniers articles que nous proposons, ceux de Marcelle Goix, Elisabeth Plé et moi-même sont issus d'une même recherche de l'Institut National de Recherche Pédagogique, "Objectifs-obstacles et situations d'apprentissage dans le champ conceptuel des transformations de la matière".

(2) MARTINAND J.-L. (1986), *Connaître et transformer la matière*, Berne : Peter Lang.

(3) BEDNARZ N., GARNIER C. (eds), (1989), *Construction des savoirs, obstacles et conflits*, Ottawa, CIRAIDE, Agence d'Arc.

(4) LAROCHELLE M., DÉSAUTELS J. (1992), *Autour de l'idée de science*, Université de Laval et Bruxelles : De Boeck.

Les combinatoires de la continuité et de la rupture

appui sur l'existant,
saut dans
l'inconnu...

Guy Rumelhard présente le problème en opposant trois attitudes différentes qui évitent un réel travail sur les obstacles : "*s'installer dans la rupture avec la pensée commune*", "*rester dans la représentation ou y revenir*", "*nier les obstacles sous couvert de les étudier*". Après avoir posé la question de la possibilité de définir des procédés, il évoque, pour sa part, un travail sur les obstacles, sous la forme de "*révolutions conceptuelles inaperçues*" et de "*subversions infinitésimales*" qui s'intègrent à l'enseignement sans constituer des moments vraiment individualisables ou des procédés généralisables. Ainsi l'emploi du même terme "savoir" comme substantif ou comme verbe renvoie à des conceptions épistémologiques tout à fait différentes.

...ou instauration
d'une dialectique

L'opposition qu'il relève dans les façons de gérer les ruptures nécessaires et qui évitent selon lui la prise en compte réelle des obstacles peut se retrouver dans une certaine mesure dans les pratiques qui se réclament au contraire d'un tel travail. Le problème est de gérer simultanément la rupture épistémologique et une continuité psychologique qui permette au sujet de s'investir dans ce travail. La combinatoire qui en résulte peut osciller entre deux pôles : l'un privilégiant la continuité, l'autre la rupture. Deux des articles peuvent illustrer l'opposition sur un tel axe.

L'appui sur le sensible ou sur l'abstrait

le vécu sensoriel
comme condition
de l'appropriation...

Celui de Jack et Françoise Guichard insiste, à propos d'activités proposées dans le cadre de musées, sur la nécessité d'ancrer des surprises, visant à déstabiliser certains obstacles, dans un vécu sensoriel qui puisse servir de référence vraiment appropriée par le sujet. Dans ce sens, la surprise et la nouveauté s'intègrent à l'univers sensoriel et émotionnel familier et c'est même une condition de son appropriation. C'est ainsi que des enfants invités à dérouler une "corde du temps" remettent en question de façon physiquement éprouvée leur conception des temps historique et géologique. Ce type d'approche est sans doute lié au cadre dans lequel il est développé. Le musée oblige en effet par la brièveté de l'action possible à privilégier le frappant et le spectaculaire. Même s'il est question de rupture, on cherche une continuité psychologique forte. D'une certaine façon, l'intuition sensible est utilisée pour se combattre elle-même. L'obstacle est utilisé contre l'obstacle.

Tout à l'opposé, l'article de Pascal Ballini, Guy Robardet et Jean-Michel Rolando propose une pratique, concernant l'apprentissage de l'énergie en classe de Première, où l'intuition sensible est combattue par la référence systématisée à un principe théorique en rupture avec cette dernière (le principe de conservation). Les élèves sont invités à confronter à ce principe abstrait les interprétations qu'ils donnent lors de la résolution de problèmes successifs, en examinant systé-

...le principe
abstrait
comme condition
du contrôle
de la pensée

matiquement la cohérence théorique de l'ensemble. Ces auteurs visent le développement d'un processus d'autocontrôle de la pensée, par référence à un outil intellectuel fourni par l'enseignant. Il s'agit bien ici d'installer dans la rupture, par une automatisa- tion de la référence et du contrôle théorique. À l'opposé de ce qui est proposé par Jack et Françoise Guichard, on se garde de s'appuyer sur l'intuition sensible. Au contraire, l'appui se situe dans une certaine ritualisation du théorique, appartenant au paradigme visé, avec une intention de familiarisation. Ce n'est pas pour autant que les idées des apprenants ne sont pas examinées, comme dans les cas évoqués par Guy Rumelhard, lorsqu'il parle d'évitement du travail sur les obstacles, par l'installation dans la rupture. Si l'on s'installe bien ici dans la rupture, de là où on est, on examine les interprétations naïves. C'est dans cette mesure que cette pratique propose un travail des obstacles.

Déstabilisation préalable ou familiarisation au paradigme à construire

fournir d'abord
des éléments
de construction...

Sur un autre axe, ce dernier type de procédé didactique s'oppose aux pratiques qui tentent des remises en cause des systèmes de pensée par conflits socio-cognitifs. Deux options s'opposent en effet à cet égard, combinant différemment continuité et rupture :

- introduire d'emblée certains éléments du paradigme à construire et les faire fonctionner à propos de différents problèmes, ce qui implique leur confrontation aux systèmes de représentation existants ; c'est l'option adoptée dans l'article de Pascal Ballini *et al.*;
- déstabiliser d'abord les systèmes de représentations existants en utilisant des confrontations entre élèves et/ou à des phénomènes inexplicables, et utiliser la dynamique ainsi créée pour reconstruire un nouveau réseau.

...déstabiliser
d'abord
les systèmes
de pensée
existants

C'est une stratégie de ce type que propose Élisabeth Plé, à propos de l'obstacle qui empêche d'attribuer une matérialité à l'air, lorsqu'elle demande à des élèves de fin d'école primaire de discuter sur leur prévision du niveau de l'eau dans un verre renversé immergé dans une bassine d'eau, de confronter leurs prévisions avec la réalisation de l'expérience et d'inventer de nouvelles expériences pour faire monter l'eau dans le verre. Le conflit socio-cognitif ainsi installé est à l'origine de l'effort de reconstruction à travers une série d'activités visant à délimiter les concepts d'air et de matière.

Un procédé proposé par Marcelle Goix, concernant une activité de modélisation de la croissance des végétaux en classe de Sixième occupe une position intermédiaire. Après mobilisation d'un principe de conservation de la quantité de matière acquis pour la plupart des élèves pour la matière inerte (pesée de pâte à modeler avant et après déformation), il conduit à dégager collectivement dans la classe un prin-

cipe de conservation analogue pour le vivant (*pour que la masse de la plante s'accroisse, il est nécessaire que de la matière s'ajoute à celle qui la constitue déjà*), loin d'être mis en œuvre spontanément par tous, et correspondant précisément à un des aspects de l'obstacle travaillé, le vitalisme. Pour cela, les élèves sont invités à représenter avec divers matériaux (pâte à modeler, légos) la croissance d'une plante. La confrontation entre les divers "modèles" ainsi construits permet de repérer et de discuter le non-ajout de matière dans certains d'entre eux et donc cette (non)-conservation. Un principe général nouveau de conservation se construit mais sur la base du transfert d'un acquis dans un autre champ de connaissance. Il pourra servir de repère pour examiner les "modèles" proposés par chacun. Les confrontations entre "modèles" permettront de travailler sur le mode du conflit socio-cognitif d'autres aspects du vitalisme, comme l'ajout de matière non intégré à la matière vivante, qui conserve ainsi ses caractéristiques intrinsèquement différentes et magiques.

La quête du sens

La nécessité de l'ancrage d'un travail sur les obstacles dans une activité intellectuelle qui ait un réel sens pour les élèves représente une préoccupation majeure pour certains auteurs. Car le travail sur les obstacles, qui constitue un défi pour l'enseignement puisqu'il s'agit de s'attaquer à ce qui justement lui résiste, ne peut se faire que si les apprenants en sont personnellement les acteurs. L'ancrage émotionnel et sensoriel que nous avons évoqué chez Jack et Françoise Guichard peut aussi être interprété dans ce sens.

Dans cet esprit, Michel Fabre et Christian Orange développent la thèse selon laquelle les difficultés rencontrées dans les tentatives de traitement des obstacles tiennent au fait qu'on a jusqu'ici privilégié dans ce but la résolution de problèmes. Or, pour ces auteurs, si une connaissance a un sens pour celui qui l'acquiert, c'est en réponse à un problème qui a lui-même un sens réel pour le sujet. Dans cette mesure, il lui est tout aussi important de construire le problème que de le résoudre. L'article propose l'analyse de la construction d'un "espace problème" par une classe d'école primaire, à propos de la digestion et l'assimilation, reposant sur la filiation et le déplacement des questions, réponses, alternatives successives engendrés par le débat collectif. Le sens réside dans la problématisation par les élèves et c'est dans cette mesure qu'ils seront dans la possibilité de dépasser certains obstacles qu'elle met en jeu.

Guy Robardet, dans *"le jeu des résistors"* reprend les concepts de *dévolution* du problème et de situation *a-didactique* proposés par Brousseau dans le cadre de la didactique des mathématiques. Il ne s'agit plus ici de conduire les élèves à problématiser, mais d'œuvrer en sorte qu'ils se saisissent d'un problème que l'enseignant leur propose et qu'ils

conduire
les élèves
à construire
le problème

...à prendre
le problème
à leur propre
compte...

le fassent vraiment leur. La mise en scène proposée ici pour cela est la "dramatisation" par un jeu, où, après un entraînement à deux, des équipes rivales gagnent ou perdent des points, dans une activité qui met en cause la représentation courante de l'électrocinétique et notamment la conception "du générateur à courant constant" et celle de l'épuisement du courant après son passage dans des composants. La sanction est donnée par le système lui-même (selon les intensités obtenues dans une portion de circuit) et non par l'enseignant en référence à un savoir institué. C'est en cela que la situation est "*a-didactique*" et porteuse de sens pour les élèves. Les connaissances acquises seront institutionnalisées, mais seulement après ce passage de recherche ludique, comportant des formalisations collectives et des débats.

...tâche qui
exige attention
et souplesse
de l'enseignant

Élisabeth Plé, à propos de la situation que nous avons évoquée plus haut reprend aussi cette idée de dévolution du problème, en la liant à celle de la nécessité de flexibilité des situations proposées aux élèves. Pour que les élèves se saisissent vraiment du problème, il est nécessaire qu'ils soient en mesure d'infléchir la façon dont on le leur propose. C'est ainsi que lorsqu'ils commencent par nier une observation qui contredit leur prévision ("l'eau montera dans le verre renversé et immergé"), l'enseignante les met en demeure d'aller au bout de leur idée par une expérience à inventer, et les conduit à prendre conscience par leur propre démarche des contradictions où elle les entraîne. L'auteur souligne que cette flexibilité des enseignants est loin d'être évidente, car outre la compréhension de son impact sur l'enrôlement des élèves, elle nécessite de leur part une assurance, un esprit d'à propos, une connaissance des processus intellectuels, un répertoire d'actions possibles... Élisabeth Plé étudie cette question en relation avec celle de la limite du caractère reproductible de dispositifs testés.

conduire
les élèves à
reconnaître
les obstacles

Une autre orientation dans cette quête du sens est proposée dans ma propre contribution, au travers d'activités d'identification d'obstacles par les élèves eux-mêmes. Un regard rétrospectif sur la façon dont on raisonnait avant un travail mettant en jeu des obstacles et la compréhension de ce en quoi ces représentations étaient utiles peut constituer le déclic de la compréhension et de la délimitation entre les connaissances construites et celles auxquelles on a dû renoncer. Il permet de comprendre ce qui poussait à penser autrement auparavant, de dédramatiser l'erreur et la relativiser et simultanément de construire une vigilance vis-à-vis des résurgences de tels modes de pensée dans des situations ultérieures. Il peut constituer une réponse au problème de la résistance des obstacles aux tentatives pour les déstabiliser.

Quelques questions sur les stratégies de travail des obstacles

Certains auteurs insistent sur la nécessité d'un travail à long terme, en relation avec leur forte résistance ("*attaquer les obstacles par plusieurs faces*" chez Élisabeth Plé). D'autres soulèvent le problème de la nécessité d'une relative rapidité pour que l'activité soit réalisable malgré les contraintes scolaires, ou comme le font Jack et Françoise Guichard pour le cadre du musée. À cette opposition on peut associer celle du spectaculaire au répétitif (familiarisation à un principe abstrait) chez Ballini *et al.*, ou encore celle du spectaculaire à l'inaperçu (subversions infinitésimales qui s'insèrent dans le cours de façon quasi inaperçue, mais en changeant le sens, chez Rumelhard). Ces options sont-elles alternatives ou peuvent-elles être utilement associées dans une complémentarité à rechercher ?

Les échanges entre élèves sont valorisés dans la quasi totalité des contributions. Cependant les références ne sont pas toujours les mêmes. Si certains se réfèrent au conflit socio-cognitif comme moteur du changement ou d'une manière plus générale à l'interaction sociale comme source du développement cognitif, d'autres adoptent plutôt le terme de "débat", en référence à une caractéristique de la pensée scientifique, comme production sociale, soumise à la critique. La référence des premiers se situe plutôt sur un plan psychologique, celle des seconds sur un plan épistémologique. Mais le terme de "débat" n'évacue-t-il pas les aspects affectifs et symboliques dont on sait qu'ils affectent les obstacles, en plaçant la confrontation sur un terrain trop purement rationnel ?

négativité
du conflit
positivité
du débat ?

Des termes divers circulent dans ces textes à propos des attentes vis-à-vis des actions entreprises : faire "franchir" les obstacles, les "déstabiliser", les "ébranler", conduire à les "dépasser", à les "reconnaître", faire "travailler les obstacles". Que traduisent au juste ces variations quant au but que l'on pense être en mesure d'atteindre ?

Pas de méthode de traitement universelle des obstacles

Plusieurs auteurs insistent sur le fait qu'il serait vain de rechercher un procédé universel pour favoriser le dépassement des obstacles. Chacun des articles proposés présente une ou plusieurs situations visant à les faire travailler, mais aucun ne prétend à une généralité ou une exclusivité du procédé. Pour Guy Rumelhard "*le polymorphisme de l'obstacle implique une pluralité d'actions à inventer dans chaque situation*". Quant à Michel Fabre et Christian Orange, ils tentent une typologie des ruptures (ruptures "métaphysiques", "développementale" et "simple"). "*Ces trois types de rupture, disent-ils, aux caractéristiques épistémologiques*

une pluralité
d'actions
à inventer

bien repérables, n'engagent pas les mêmes changements conceptuels et exigent certainement des traitements didactiques différents."

Ce numéro d'*Aster* présente un aperçu des problématiques développées actuellement autour du travail des obstacles. Le prochain numéro complétera ce tour d'horizon. Nous y proposerons notamment des contributions sur les contraintes auxquelles ce type de travail se confronte dans le système scolaire et sur le point de vue que les enseignants adoptent à son égard.

Brigitte PETERFALVI,
Équipe de didactique des sciences
expérimentales, INRP.

TRAVAILLER LES OBSTACLES POUR ASSIMILER LES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

Guy Rumelhard

Traditionnellement l'enseignement scientifique se propose immédiatement d'introduire au savoir actuel. La prise en compte des obstacles n'a de sens que si l'on se propose le passage de la pensée commune à la pensée scientifique de façon à caractériser une fonction polémique : le rejet des croyances. Mais on peut rester dans la représentation, ou bien nier l'idée d'obstacle de nombreuses façons. Pour travailler les obstacles il faut réunir un certain nombre de conditions qui rendent possible la mise au point de procédés. Pouvoir décomposer les avancées conceptuelles en étapes à franchir successivement. Analyser le polymorphisme des obstacles et leur réapparition dans diverses étapes de la démarche. Être attentif aux révolutions inaperçues par familiarité, ou par le caractère infinitésimal du changement apporté. Le cas Galilée permet d'analyser l'articulation entre les différentes étapes d'une démarche.

l'objectif
d'un enseignement
scientifique :
passer de la
pensée commune
à la pensée
scientifique

analyser
les conditions
de possibilité
de ce travail

Si l'on se fixe comme but d'enseigner et de faire assimiler les connaissances scientifiques comme un ensemble de résultats socialement utiles, la prise en compte des représentations des apprenants et des enseignants n'est pas indispensable. L'utilité du savoir scientifique se suffit à elle-même par la médiation de son efficacité opératoire pratique.

Le fonctionnement d'obstacles ou d'aides à l'assimilation du savoir ne joue un rôle que si l'on se fixe comme objectif d'enseignement le passage de la pensée commune qui apporte des réponses rassurantes aux questions de la vie, à la pensée scientifique objective qui apporte un savoir vrai. Le rôle des obstacles apparaît également lors de la réinsertion sociale de ce savoir, non pas tant au niveau de ses applications pratiques qu'à celui plus large de la constitution d'une culture scientifique contemporaine.

Il ne s'agit pas dans cet article de décrire des procédés nécessairement variables, contradictoires et toujours révisables pour travailler les obstacles, mais plutôt de préciser certaines conditions de possibilité de ce travail.

1. LE PASSAGE DE LA PENSÉE COMMUNE AU SAVOIR SCIENTIFIQUE

Comment comprendre que le concept d'obstacle épistémologique énoncé en 1938 par Gaston Bachelard un physicien-enseignant devenu épistémologue ait mis tant de temps à

s'imposer. Il faut supposer des résistances internes à l'enseignement extrêmement fortes. Nous en examinerons trois.

Tout d'abord rappelons que traditionnellement l'enseignement scientifique ne se propose pas le passage de la pensée commune à la pensée scientifique. Cet enseignement s'installe directement dans le savoir le plus actuel, sans se préoccuper de l'existence possible d'autres types de connaissances se proposant, dans l'esprit de l'élève, comme réponse visant plus à rassurer ou à donner du sens qu'une véritable explication.

Mais faute de vigilance et de fermeté conceptuelle, ou bien sous l'influence d'une demande des élèves, l'enseignement scientifique peut lui-même demeurer, à son insu, dans la pensée commune. Certains pédagogues penseront ainsi susciter l'intérêt ou se faire mieux comprendre.

Enfin, sans adhérer aux stratégies du soupçon systématique, on peut cependant supposer qu'il existe de nombreuses façons de nier le concept d'obstacle dans son rôle didactique, même sous couvert de le prendre en compte.

1.1. S'installer dans la rupture avec la pensée commune

le savoir
scientifique
a une fonction
polémique

Le savoir scientifique n'a pas pour seule fonction de répondre à des questions qui seraient restées sans réponse et comme "en attente", ménageant par avance une place à occuper. Il a une fonction polémique car il évince des croyances métaphysiques, morales, religieuses, politiques qui se présentaient comme des explications vraies. La vulgarisation de la pensée de Karl Marx a rendu très commune la notion d'idéologie. Marx dénonce les idéologies morales, religieuses, politiques, métaphysiques au nom de la science. Il ne cite donc pas la science au nombre des idéologies. Mais pour lui l'axe de la lutte se situe dans l'abolition des rapports de classe. Quand ceux-ci seront abolis, la fonction d'illusion idéologique prendra fin, laissant place à la science économique.

D'une certaine façon, une attitude analogue de déplacement du point central d'action existe chez les scientifiques. Le savoir scientifique remplace et rend caduques de nombreuses croyances, mais cela se fait sans lutte ni combat. Les mathématiciens ne font aucune place dans leur enseignement aux propriétés magiques ou mystiques des nombres ou figures géométriques, les astronomes n'évoquent pas l'astrologie, fut-ce pour la réfuter, les chimistes ne font plus allusion à l'alchimie. Pour les enseignants la formalisation mathématique ou l'invention technique permettent de s'installer immédiatement dans le savoir scientifique qui est toujours en rupture totale avec ces pseudo-explications. Ces croyances occupent, de bonne foi peut-être, mais de manière indue, une place qui n'est pas la leur.

les croyances
sont éliminées
par un simple
calcul...

Si ces croyances sont évoquées en classe par les élèves, il suffit de peu de travail pour les balayer avec un calcul ou la description d'un objet technique.

- Si l'on dit que "c'est Dieu qui donne les garçons", il suffit de montrer, nombres à l'appui, que c'est un processus aléatoire correspondant à deux événements équiprobables (sauf cas particuliers de familles à filles et familles à garçons). Le modèle mathématique est une explication suffisante pour la majorité des cas. Il réfute par avance toute autre pseudo-explication.

... ou la description
d'une technique

- L'orage, le tonnerre, les éclairs sont des phénomènes propres à créer des peurs qui ont nécessité des pseudo-explications variées. On connaît la remarque de Marx : quand le paratonnerre est inventé, il n'est plus possible d'attribuer la foudre à une intervention divine. Un objet technique aurait chassé par lui-même les dieux vengeurs terrifiants, sans plus d'explication (1).

On peut se demander si "un fait brut", des nombres, des actions techniques de transformation peuvent modifier des représentations qui ont par ailleurs une fonction rassurante plus que réellement opératoire. Il faudrait encore admettre que la pensée naît directement des nombres, des objets, des actions et non par rectification de représentations.

Il faudrait encore croire que les instruments ou les techniques expérimentales qui les utilisent sont d'eux-mêmes des pensées. Or, bien évidemment, un instrument peut servir à explorer, mais n'est d'aucun secours pour questionner. Sauf de manière métaphorique, il n'y a pas de "dialogue avec les objets" à moins d'admettre une pensée non verbale.

De plus, si, en mathématiques, astronomie, physique, chimie, géologie la formalisation et/ou les actions de transformation sont souvent réalisables, de nombreux domaines de biologie ne le permettent pas aussi aisément. Séparer par exemple chez l'homme sexualité et fécondation, étroitement liées pour des raisons religieuses, démontrer l'autonomie de l'ovulation et la possibilité d'intervenir pour l'empêcher ou la faciliter ont demandé beaucoup plus de travail et soulèvent encore de nombreuses résistances (2).

C'est également une illusion de croire que les ruptures instaurées par quelques grands scientifiques ont été uniques, totales, définitives. Il faut savoir reconnaître des ruptures partielles, des ruptures successives et admettre par exemple que Galilée est resté prisonnier pour la trajectoire des planètes d'une forme rassurante et chargée de résonances idéologiques : celle du cercle.

À propos de la molécule d'ADN demandons-nous ce qui est le plus important et ce qui est le plus fascinant : le fait

(1) MARX K. (1857). *Introduction à l'économie politique*. Paris, Éditions sociales, p. 174.

(2) CANTOR M. (1994). *Pouchet, savant et vulgarisateur*. Nice, Z'Éditions.

qu'elle est double, le fait qu'elle est en hélice, le fait qu'elle tourne à droite ?

1.2. Rester dans la représentation ou y revenir

Dans un livre de vulgarisation il est fréquent, lorsque l'on veut présenter le problème moderne de l'immunité, d'évoquer Mithridate, roi du Pont comme inventeur de l'immunisation. Simple clin d'œil ou recherche de continuités visant à effacer la véritable nouveauté de la science immunologique ? Dire que les savants contemporains ont réalisé les vieux rêves des alchimistes est-ce une simple boutade qui ne trompe personne ?

Dans un précédent travail nous avons analysé la fausse continuité entre la première et la deuxième "loi de Mendel" (3). La première relevant d'un simple constat empirique généralisé, mais pas tout à fait général, la seconde relevant d'une modélisation de la séparation des allèles d'un gène au moment de la formation des gamètes. Méconnaissance du travail théorique indispensable pour analyser les résultats expérimentaux, volonté de maintenir la représentation commune du travail scientifique qui donne la priorité et le dernier mot à l'observation des faits ? Désormais la séparation des allèles des gènes "s'observe" dans les figures de méiose et les "lois de Mendel" ont disparu de l'enseignement ; la volonté pédagogique de réaliser des expériences de croisement entre animaux de variétés différentes (*Drosophiles*) avant d'en expliquer les résultats ne peut que renforcer cette représentation empirique de la méthode scientifique, accompagnée d'un formalisme plaqué sur les résultats. Nous ne pouvons ici que nous limiter à une allusion à cet exemple développé plus longuement ailleurs.

En éthologie et dans les explications concernant l'évolution des êtres vivants les expressions finalistes et anthropomorphiques sont en principe vivement critiqués et on apprend, difficilement il est vrai, à ne pas les employer : les animaux ne sont ni utiles ni nuisibles, il ne faut pas leur prêter trop facilement nos sentiments, les mutations ne sont pas guidées par une intention. On peut cependant aisément retrouver jusque dans un sujet de l'examen du baccalauréat le texte suivant :

« Selon la théorie que je soutiens, l'événement décisif est l'ouverture de la Rift Valley, qui divise l'Afrique en deux, il y a 8 millions d'années. L'ouest reste essentiellement forestier tandis que l'est évolue vers la savane. Selon moi, cette transformation écologique a été le facteur déterminant de l'homini- sation, parce que les populations "passées à l'est" ont dû s'adapter à des conditions radicalement nouvelles. La plupart

maintenir
la représentation
empirique
du travail
scientifique

l'appel fréquent
au finalisme

(3) RUMELHARD G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne, Peter Lang.

des espèces animales apparaissent ainsi par suite de l'isolement d'une population dans un milieu très différent du milieu d'origine... » Au cours d'un entretien avec un journaliste le professeur Yves Coppens utilise des expressions finalistes, mais peut-être est-ce indispensable pour donner de l'attrait à la vulgarisation, quitte à retrouver la pensée commune.

Commencer pédagogiquement par la connaissance commune peut correspondre à la volonté de commencer par ce que les élèves croient savoir par familiarité ou semblent admettre aisément sinon intuitivement. Le choc de boules de billard a donné la racine même de la doctrine de la causalité. L'image a l'apparence d'une leçon naïve alors que, en réalité, elle est fort complexe et implique des concepts difficiles. Mais on peut surtout se demander, avec Bachelard, si elle est réellement dépassable. Citant Cuvier, il nous rappelle que, « *une fois sortis des phénomènes de choc, nous n'avons plus d'idées nettes des rapports de cause et d'effet* » (4). Dès lors deux solutions se présentent : ramener de nombreuses explications causales à l'image suggérée par le choc, ou bien abandonner la notion de cause pour décrire les relations qui ne correspondent pas à cette image simple.

le manuel répète
la représentation
commune

Mais on n'abandonne pas une image aussi forte à si peu de frais ! Ainsi, en chimie, en mettant en présence du zinc et de l'acide chlorhydrique certains manuels scolaires disent, au choix, que l'acide attaque le zinc, ou que le zinc décompose l'acide. L'un est l'agent, l'autre le patient. L'un est actif, l'autre passif. Il y a une antériorité au moins dans l'initiative. L'image de la lutte est présente. Les protagonistes sont pensés en fonctions de "propriétés" supposées et non pas dans leurs relations. Le même vocabulaire se retrouve aisément en biochimie : action d'une hormone et d'un récepteur, d'un antigène et d'un anticorps. Cette fois l'explication nous maintient ou nous réduit à la représentation (5).

Que ce soit au niveau des observations, des méthodes expérimentales, des principes de causalité, des modèles, le pédagogue peut commencer par la pensée commune exprimée initialement par les élèves. Mais sans travail sur les représentations il risque de ne pas parvenir à dépasser la pensée commune, ou d'y revenir.

1.3. Nier les obstacles sous couvert de les étudier

Dans la mesure où les obstacles étudiés correspondent à des résistances profondes, il est dans leur nature d'être niés par les enseignants eux-mêmes, de manière volontaire ou inconsciente, même si, en apparence, ils les prennent en compte et les étudient.

(4) BACHELARD G. (1951). *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*. Paris, PUF, pp. 83-84.

(5) MÉHEUT M. (1996). Exposé au séminaire de didactique de l'INRP.

l'obstacle remplit
une fonction
dans une relation

Le terme d'obstacle désigne une fonction dans une relation d'apprentissage, et non pas une "chose" ou une propriété "en soi". Le terme de représentation peut désigner la même notion mais il a l'inconvénient d'insister sur ce qui se donne à voir "objectivement", de manière répétable si les conditions sont analogues. Il s'agit d'un dessin, d'une phrase, d'une expression, d'une action. Et bien évidemment, au nom de la positivité de l'observation on peut en rester là, ou bien progresser un peu plus, mais s'arrêter à l'une des étapes : repérer une erreur que l'on considère sans signification (insignifiante) ; ou bien lui donner une signification sans montrer sa fonction d'obstacle ; se contenter d'une interprétation limitée de son origine, sans proposer de procédé de modification ; ou bien tenter de modifier ce qui fait obstacle sans analyser la fonction, etc.

se limiter à ce que
dit objectivement
la représentation

Les études didactiques sur les conceptions des étudiants à propos de la lumière (6) font apparaître, parmi les représentations, le fait que certains dessinent un rayon qui part de l'œil vers l'objet. On peut objectiver cette observation en montrant son caractère répétable et une certaine permanence à travers les années d'étude, même si la proportion d'étudiants qui ont cette conception diminue avec l'âge. L'analyse positive risque de s'arrêter là. Que peut-on dire de plus sans basculer dans l'interprétation, donc dans l'incertain ? Première remarque qui peut conduire à affiner l'observation. Le verbe "tirer" a selon F. Dolto un sens masculin et un sens féminin. Le garçon tire en projetant (comme avec un fusil), la fille tire à soi. Le sens de la flèche portée sur le rayon lumineux diffère-t-il selon les garçons et les filles ? Absurde ? Mais la signification de cette direction du rayon lumineux ne serait-elle pas la modalité de relation au milieu ? Agir ou recevoir, ce qui ne signifie pas nécessairement une opposition entre actif et passif. Le rayon lumineux n'est pas, *a priori* et avant tout enseignement, la représentation d'un concept de la physique. Il représente donc autre chose qu'il faut interpréter.

Si l'on arrête l'analyse à "ce qui se donne à voir", le catalogue des erreurs, le sottisier n'est pas loin et son usage ironique non plus !

multiplier à l'infini
les grilles
de lecture

Autre manière de nier les obstacles, on peut multiplier "à l'infini" les "grilles de lecture" d'une représentation. Toutes sont possibles, donc aucune n'est certaine. Et si l'on ne peut pas désigner avec assurance le mode de fonctionnement, on ne peut pas agir. À moins aussi de préférer systématiquement les interprétations qui ne heurtent pas. Croire que la représentation qu'ont les élèves de la fourrure relève de quelque chose de maternel (la fourrure crée de la chaleur et

(6) FAWAZ A. et VIENNOT L. (1986). "Image optique et vision". *Bulletin de l'Union des Physiciens*, pp. 686, 1125-1146.
KAMINSKI W. (1991). *Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement*. Thèse Université Paris 7.

est plus efficace qu'une simple feuille métallisée qui est froide) est assez facile à admettre et dicte aisément une action didactique. Penser que certaines représentations des métamorphoses ont quelque chose à voir avec l'interdit de l'anthropophagie laisse perplexe et ne dit pas de manière évidente quoi faire en classe. Nous avons développé cette idée ailleurs (7).

Nous évoquons précédemment la possibilité de s'installer directement dans la rupture en traitant les représentations par l'indifférence. Reprenons l'exemple de l'étude du fonctionnement du cœur par W. Harvey au début du XVII^{ème} siècle. Pour supposer la circulation sanguine il a dû surmonter l'obstacle constitué par l'image de l'irrigation des cultures. On dit toujours d'ailleurs que le sang irrigue un organe ! L'analogie avec l'irrigation induit à penser que le sang, comme l'eau, se perd dans les organes. Il faut donc chercher une source permettant le renouvellement continu. Pour abandonner cette pseudo-explication il a suffi de mesurer le volume sanguin contenu dans un ventricule cardiaque et de faire un calcul de débit par jour en fonction du nombre de battements. On peut s'appuyer sur l'affirmation péremptoire "la science commence avec la mesure" pour apporter l'explication de la circulation sans aborder de front l'obstacle de l'irrigation et détruire cette analogie agricole. C'est oublier plusieurs aspects des obstacles. Le vocabulaire enregistre de manière durable l'obstacle lui donnant une perpétuelle actualité. L'image de l'irrigation et la fausse explication qu'elle véhicule seraient réactivées inconsciemment. Mais on peut au contraire admettre que le mot a perdu tout sens originel, même métaphorique. Il ne constitue donc plus un obstacle, ni sa trace. L'image de l'irrigation apparaît dans d'autres domaines de la physiologie, celui du système nerveux et de l'innervation par exemple. Le travail pour lever l'obstacle est alors à refaire pour concevoir des "circuits" nerveux. Dernière remarque, les obstacles sont bien souvent doubles. Il ne suffit pas de mesurer pour lever un obstacle car on est immédiatement pris entre deux difficultés : l'impossibilité de concevoir qu'une mesure de volume est ici indispensable constitue un obstacle, mais trop de précision risque aussi d'égarer. Mesurer n'est pas "en soi" l'assurance d'un progrès de connaissance. Mesurer n'autorise pas à ignorer l'obstacle de l'irrigation.

De manière inverse on peut proposer que tout devienne obstacle. Les chiffres sont des obstacles au calcul ! Les mots sont des obstacles pour exprimer sa pensée. Faisons l'éloge des communications non verbales, des actes, des gestes. Les connaissances acquises sont des obstacles à l'assimilation d'un savoir nouveau. Faisons l'éloge de l'ignorance.

le vocabulaire
garde la trace
des obstacles

(7) RUMELHARD G. (1995). "Permanence, métamorphose, transformation". *Biologie-Géologie* (APBG) 2, pp. 333-345.

1.4. Représentation ne signifie pas obstacle chez Piaget

représentation
ne signifie pas
toujours obstacle

Reste la délicate question de la prise en compte des obstacles chez Piaget. Plusieurs auteurs soutiennent que Piaget, comme Bachelard (1938) et bien avant lui, fait usage du concept d'obstacle à travers le terme de représentation. Dès 1927 il décrit des "représentations du monde chez l'enfant". Mais s'il s'agit de décrire des conceptions erronées on peut sans difficulté remonter à Descartes. Prenons l'exemple de la Genèse de l'idée de hasard chez l'enfant publié en 1951. Dans l'introduction il s'interroge sur l'existence d'une "intuition" des probabilités. Afin de caractériser une "mentalité préscientifique" qui pourrait être celle de l'enfant il interroge non pas tant les états psychopathologiques que la "mentalité primitive" décrite par L. Lévy-Bruhl (8). Pour ce dernier la notion de hasard est absente chez les populations qu'il nommait "primitives", car même dans les cas où l'ingéniosité technique semble intervenir à l'état pur comme dans la fabrication d'armes par exemple, elle est en fait neutralisée par la pensée magique. « *Les armes dont on se sert à la guerre sont fabriquées avec tout le soin dont les indigènes sont capables : elles témoignent souvent d'une grande ingéniosité qui les rend redoutables et meurtrières. Mais leur efficacité ne tient pas seulement, ni surtout, à leurs qualités visibles et matérielles. Elle dépend essentiellement de la vertu mystique qui leur aura été conférée par des médecins ou par des opérations magiques... ce que les Mélanésiens veulent et ce qu'ils obtiennent – du moins ils en sont persuadés – c'est une flèche qui aura, pour blesser, un pouvoir surnaturel (mana)...* » Autrement dit ce que nous appelons un effet physique est au yeux des Mélanésiens un effet magique.

la pensée "primitive"
recherche un sens

On peut objecter que parler de pensée magique ou de superstition ne donne pas le moyen de comprendre. Cette pensée n'est pas "pré-rationnelle" car elle souhaite trouver de l'ordre et du sens dans le monde, donc réduire l'incompréhensible. Sa manière de fonctionner est essentiellement globale. Elle embrasse le monde comme une totalité non décomposable. L'attitude scientifique sépare des plans, elle décompose c'est-à-dire analyse (au sens étymologique du mot) et vide la nature de tout sens préexistant. Par la suite, en biologie, elle tente de refaire la synthèse et de redonner un sens en évitant les pièges du finalisme.

Piaget citant Lévy-Bruhl, formule cette demande surprenante (9) : « *Nous aimerions être renseignés sur la manière dont se conduit un Arunta ou un Bororo lorsque, visant une cible, il se voit aux prises à la fois avec les lois cinématiques*

(8) LÉVY-BRUHL L. (1922). *La mentalité primitive*. Paris, PUF, pp. 383-392.

(9) PIAGET J. (1951). *La genèse de l'idée de hasard chez l'enfant*. Paris, PUF, pp. 7-12.

une pratique
technique
opératoire
n'élimine pas
la représentation

qui règlent le mouvement de ses flèches et avec la dispersion fortuite des corps autour du point visé. » Piaget postule donc que la réalité physique peut être distinguée de la réalité magique dans ce type de situation très épurée, dans laquelle n'interviennent, selon lui, que les lois cinématiques et probabilistes. Tout se passe comme si la pratique technique "pure" élimine d'elle-même la représentation magique, ou du moins contraint "en acte", sinon en paroles à agir en conformité avec les lois physiques et mathématiques.

D'une certaine façon, vis-à-vis des enfants, son attitude est la même. Si la situation physique ou mathématique est bien choisie, on peut non seulement oublier son "milieu social", mais également cette prodigieuse perméabilité à tout ce qui est mythes, légendes, contes de fées, cette facilité à se laisser envahir par les récits (10). En apparence, il existe pour Piaget un accès direct, uniquement sensori-moteur, éventuellement non verbal, à la connaissance scientifique analytique et opératoire.

Nous postulerons donc que l'étude des représentations à fonction d'obstacle ne prend son sens plein que si l'on se propose le passage des représentations rassurantes et signifiantes aux concepts scientifiques construits (et non pas seulement aux faits observés empiriquement), en recherchant à établir un savoir-vrai, au prix d'un détour, et en ne se contentant pas d'une réponse immédiatement efficace.

La thèse pédagogique qui propose de commencer l'enseignement par des situations concrètes et des pratiques de la vie courante de façon à donner de l'intérêt et du sens aux connaissances scientifiques renforce cette exigence de travailler le passage, à moins de rester dans une représentation commode, utile ou rassurante et un savoir pragmatique.

2. QUELQUES CONDITIONS DE POSSIBILITÉ DU TRAVAIL DES OBSTACLES

2.1. Décomposer en étapes

Les avancées conceptuelles ou méthodologiques, le recul des représentations, leur déplacement ou leur conversion se font par étapes qu'il est donc indispensable de pouvoir analyser.

- Le principe réductionniste appliqué à la biologie énonce en particulier que la physique et la chimie doivent étendre leurs lois actuelles, et leurs lois à venir, aux phénomènes organiques, et ceci sans restriction. Il implique donc aussi un recul du vitalisme. Notons rapidement quatre étapes.

(10) LACAN J. (1954). *Séminaire I*. Paris, Seuil, p. 60.

l'ascendant
progressif
des sciences
physico-chimiques

- Une première étape marquée par un principe de séparation entre le domaine de la physiologie humaine scientifique et celui de la médecine. Le travail du médecin commence quand l'explication physico-chimique s'arrête. Ce dernier prend en compte ce que la science ignore ou met entre parenthèses : l'individuel et le subjectif.

- Deuxième étape : reconnaître une influence des agents physico-chimiques sur la vie, mais comme un ensemble d'événements extérieurs au vivant.

- La troisième étape admet que la vie est manifestée dans des phénomènes physico-chimiques.

- L'étape ultime admet que les phénomènes vitaux sont fondés sur des phénomènes physico-chimiques.

On peut suivre ainsi le dépassement d'un obstacle certain, reconnaître l'ascendant progressif des sciences physico-chimiques sur la recherche en physiologie et sur les explications. Dans le domaine de la recherche ces sciences proposent des instruments de détection, de mesure, des appareils complexes et des modèles théoriques. La suite des mots : séparation, influence, manifestation, fondation, marque bien ce progrès conceptuel et ce recul d'un vitalisme qui prétend préserver la vie en l'isolant.

• Le rôle des mathématiques en biologie peut être appréhendé par étapes successives : simple langage commode pour décrire un phénomène ou communiquer un résultat ; calcul efficace car il permet de prévoir la dynamique d'une population par exemple ; procédé (statistique par exemple) qui permet d'organiser des plans expérimentaux, puis de décider de la validité de résultats de leur comparaison ; outil de décision pour analyser l'efficacité d'un traitement ; modèle qui explique réellement la nature du phénomène, la répartition aléatoire des gènes et leur recombinaison.

Historiquement ces étapes peuvent apparaître successivement chez des auteurs différents, ou simultanément chez Mendel par exemple. Les mathématiques ne sont pas un langage, un moyen de communication ou de prédiction, mais une expression essentielle de "la raison" qui tente d'expliquer. Voilà l'extension et la profondeur réelle de ces rôles.

Et l'on peut toujours à nouveau le nier. Ainsi Claude Allègre (11) se demande si les nouvelles particules découvertes par la physique « sont des êtres réels ou des êtres purement mathématiques. Va-t-on vers la physique virtuelle ? » Visiblement il ne conçoit pas "le pouvoir créateur des mathématiques" (12).

• Évolution vers le système immunitaire. De simple événement circonstanciel (vaccination spontanée) ou expérimental

les mathématiques :
langage, outil,
modèle

(11) ALLÈGRE C. (1996). "Vers la physique virtuelle". *Le Point* n° 1232.

(12) BOUTOT A. (1989). "Le pouvoir créateur des mathématiques". *La Recherche* 215, vol 20, pp. 1340-1348.

réaction
immunitaire,
science
immunologique,
système
immunitaire

prouver
par accumulation
ou par réfutation

le paradigme
de la lutte

tal, l'immunité devient une propriété de certains organismes. Elle prend ensuite le statut de fonction physiologique générale à côté et en relation avec les autres grandes fonctions. L'immunité est alors conçue comme un système, puis un système à deux fonctions antagonistes (protéger ou détruire), intégré aux autres systèmes et aux interactions psychosomatiques. Concept isolé, il devient champ conceptuel, intégré dans un réseau, et un programme de recherches à venir. Événement, propriété, fonction, système, voilà des étapes qui impliquent aussi le recul d'une représentation de l'organisme agressé et qui s'adapte au milieu.

- Les étapes conduisant à la conception et à la formulation d'un problème, les étapes conduisant à la validation d'un résultat scientifique pourraient également donner lieu au même type d'analyse : accumulation d'observations empiriques censées se suffire à elles-mêmes, preuve par accumulation de résultats expérimentaux qui "confirment" l'hypothèse, recherche d'autres hypothèses ou d'objections, preuve par contre-épreuve, par réfutation, etc.

2.2. Analyser l'extension et le polymorphisme d'un obstacle

- L'extension, la profondeur, les multiples facettes, les masques d'une représentation qui fait obstacle peuvent également s'analyser par étapes. C'est par exemple le cas des représentations en attaque/défense, d'une lutte entre antagonistes.

- Selon Bichat, en 1802 la vie c'est l'ensemble des fonctions qui résistent à la mort. On ne s'éloigne pas beaucoup de la représentation commune qui imagine une lutte entre la vie et la mort, et surtout qui personnifie ces deux entités.

- Claude Bernard combine deux propositions contrastées : la vie c'est la création, et, la vie c'est la mort. La mort garde une fonction négative, mais la vie n'est pas uniquement arc-boutée à résister, à s'opposer.

- On peut retrouver la même opposition entre le vivant et son milieu chez Lamarck. Il y a une relation d'extériorité et le vivant doit s'adapter sous l'influence (la contrainte) des fonctions du milieu. L'idée de lutte est présente, et plus précisément dans certaines relations alimentaires du type prédateur/proie, l'idée apparente d'attaque et de défense ou de ruse pour échapper. C'est Darwin qui introduira une autre conception des relations des êtres vivants entre eux et avec le milieu, mais le terme mal choisi de "sélection" et l'expression inexacte de "lutte pour la vie" entretiendront pour longtemps cette représentation commune et spectaculaire de la lutte.

- L'immunologie telle qu'elle a été popularisée par les premiers vaccins offre également l'idée d'un antagonisme (anticorps) entre un agresseur extérieur et des défenseurs intérieurs. Il faudrait ici un long développement pour expli-

quer la conception moderne qui nous éloigne totalement de cette image. Dans les trois cas évoqués les notions d'intérieur et d'extérieur doivent être repensées.

- On pourrait encore retrouver cette interférence de l'image de la lutte avec une explication biologique au sein du concept de réflexe myotatique sur lequel vient se superposer l'image des muscles antagonistes.

- Dans le domaine de la méthode scientifique, le choix entre deux théories scientifiques est supposé se faire sur le mode de la lutte à mort : l'une des deux doit avoir le dessus et l'autre être réfutée définitivement, sans laisser aucune trace. La querelle entre Pasteur et Pouchet à propos de la génération spontanée en serait l'archétype. Mais on peut montrer que les situations sont souvent plus complexes. La discussion relève plus de la négociation que de l'exclusion. De plus il est impossible de concevoir, par exemple en médecine au XIX^{ème} siècle, la production d'un savoir comme le savoir bactériologique, qui ne devrait rien à la contagion des théories médicales qu'il a contribué à reléguer parmi les idéologies.

D'autres exemples viennent aisément à l'esprit. Il faut s'attendre à une très grande extension de cette représentation d'une relation d'extériorité, d'antagonisme et de conflit car elle est soutenue par de réels conflits psychologiques, sociologiques, politiques, ou des conflits simulés au niveau du sport et du spectacle. Peut-on ainsi parler, au niveau pédagogique, de "conflit cognitif" dans l'apprentissage ? Ce concept psycho-pédagogique ne relève-t-il pas de la même représentation ?

• Analyser l'extension progressive d'une découverte qui constitue un progrès est une autre façon d'analyser le recul par étapes de représentations. Le problème de l'hérédité est "pointé" de façon très ancienne, mais mal formulé car mêlé à des questions d'héritage, de justification de domination ou de subordination de classes sociales, de sexe, de lignées "pures". Le travail de Mendel perçu actuellement comme "fondateur", peut aussi être compris par les élèves comme anecdotique ou insignifiant. Au mieux il a établi une propriété exacte mais particulière à certains végétaux. On peut faire admettre qu'il ouvre une discipline nouvelle et un champ de recherches coordonnées pour de nombreuses années, riche en découvertes imprévues. La question génétique est désormais, dans le prolongement des travaux initiaux, l'un des grands piliers de tout problème biologique à côté et en relation étroite avec les questions de structure, de fonction, de milieu et de développement historique.

• La profondeur des liens qui relient certaines représentations biologiques avec des angoisses humaines ou des idéologies oscille entre l'acceptation évidente et le refus interrogatif. Dire que l'angoisse de la mort affleure à propos de certains concepts de biologie médicale semble une banalité, ce qui ne veut pas dire qu'elle est nécessairement prise

négocié
un compromis
entre deux théories

la génétique :
événement
insignifiant,
discipline,
champ
de recherches

en compte pédagogiquement. Il est demandé explicitement dans le programme de génétique de montrer que les théories racistes ne peuvent s'appuyer sur les concepts de cette discipline. Par contre l'idéologie politique du progrès social par le progrès scientifique est loin d'avoir été expurgée de l'enseignement. Et si l'on tente de soutenir que certaines représentations du savoir biologique ont "quelque chose à voir" avec les fantasmes sexuels, l'interdit de l'inceste ou l'interdit de l'anthropophagie, beaucoup d'enseignants restent "interdits", ou simplement perplexes.

2.3. Les révolutions conceptuelles inaperçues

Nous ferons une mention spéciale pour les distinctions conceptuelles qui ne prennent de sens qu'une fois l'obstacle analysé, compris et admis. Il faut ici, bien souvent, faire un travail considérable pour faire comprendre à quel point la distinction d'apparence insignifiante constitue une révolution de pensée par rapport à un obstacle important et inaperçu.

équilibre ne signifie
pas régulation

- Dire par exemple que les concepts d'équilibre et de régulation doivent être nettement distingués se heurte au fait que l'on parle de régulation du pH sanguin en confondant les deux types de mécanismes qui interviennent. L'intervention des systèmes tampon par déplacement de l'équilibre des carbonates et bicarbonates aboutit à prévenir un changement de pH sanguin. Par contre les modifications du rythme respiratoire et de l'élimination rénale impliquent l'existence d'un écart, sa détection et la mise en route d'un (ou plusieurs) mécanismes compensateurs ayant pour "but" de revenir à l'état initial. Le "but" est ici une "consigne" inscrite dans la structure de l'organisme.

De même, en géologie, il est abusif de parler de "régulation" du taux de dioxyde de carbone atmosphérique, même en supposant qu'il est, à l'échelle des temps géologiques, en équilibre avec les carbonates des milieux aquatiques et avec les masses calcaires qui constituent certaines roches (13). Régulation implique la détection d'un écart et la mise en place d'un mécanisme correcteur. La réversibilité n'est pas assurée.

- Pour détecter l'existence d'une action hormonale on décrit, quand c'est possible, une expérience de greffe de glande après son ablation. Les greffes et transplantation d'organes étant devenues banales au niveau médical, les deux termes, employés l'un pour l'autre même si les sens en sont différents, ne semblent pas poser de problème de compréhension ni soulever d'obstacle. Ici aussi il faut un travail pour

(13) GOHAU G. (1994). "En contrepoint de la régulation : les équilibres en physique et chimie". In *La Régulation en biologie. Approche didactique*. Paris, INRP, pp. 67-74.

LARCHER C. (1994). "Point de vue à propos des équilibres chimiques". *Aster* 18, pp. 57-62.

la greffe trouve
un obstacle dans
la représentation
des machines

comprendre à quel point l'attitude médicale et l'attitude scientifique sont différentes, et à quel point cette dernière soulève de résistances. Greffer pour soigner consiste à rétablir autant que faire se peut l'état initial, c'est-à-dire toutes les connexions d'origine à la place d'origine. Greffer pour démontrer consiste à ne rétablir que certaines connexions pour montrer qu'elles suffisent à rétablir l'une des fonctions supprimée et que l'on étudie. Ainsi on peut déplacer l'organe à greffer et ne pas le remettre à sa place initiale. Créer un animal dans un but démonstratif, et, de plus, créer un animal qui n'existe pas et ne pourra pas vivre hors du laboratoire est difficile à admettre. Et cela se heurte à une représentation de l'organisme qui prend la machine comme analogie. Un organe agit à sa place, par ses connexions, et non pas par ses relations fonctionnelles. Le même mot de greffé masque la profonde différence des significations et des intentions.

3. EST-IL POSSIBLE DE DONNER DES CONSIGNES DE TRAVAIL AUX ÉLÈVES ?

Le vocabulaire qui tente de dire comment s'y prendre pour travailler les représentations à fonction d'obstacle utilise des métaphores de type sportif (contourner, surmonter, passer à travers), plus rarement celui de l'effort et de la souffrance, encore plus rarement celui de l'épreuve affective, du renoncement et du deuil, pratiquement jamais celui de la lutte idéologique. Ces métaphores sont inopérantes par elles-mêmes.

Il est bien délicat de donner ici une liste de consignes de travail dont l'effet puisse être assuré au regard d'un obstacle donné. Nous analyserons deux directions de travail.

3.1. Travailler le vocabulaire

la thèse
réductionniste
est aussi
linguistique

En science la thèse réductionniste est aussi linguistique. Le savant, et donc l'enseignant, utilise (ou crée) un langage clair, cohérent, sans équivoque. Et pourtant de nombreux termes en biologie disent le contraire du concept qu'ils désignent, tel "reproduction", ou maintiennent une ambiguïté, tel "développement, évolution, métamorphose", et beaucoup d'autres. L'enseignant n'a pas ici la possibilité de changer de lui-même des termes d'emploi aussi unanime ! On peut utiliser les consignes suivantes : ajouter une phrase qui nie son sens immédiat, ou seulement un adjectif qui le disqualifie systématiquement ; être attentif à donner des définitions les plus univoques possibles, mais peut-on tout définir ? et un concept peut-il s'enfermer dans quelques phrases ? s'interdire et interdire aux élèves certains termes, mais les manuels ne font pas de même, ni les ouvrages de vulgarisation. La recherche de mots "neutres" risque d'être naïve ou

illusoire. Et bien évidemment, les obstacles étant doubles, il faut aussi établir la thèse inverse qui veut que, dans certains cas, la science progresse grâce à une certaine polysémie. Mais il n'y a pas de critère énonçable *a priori* pour dire si c'est la monosémie ou la polysémie qui est opérante selon le cas étudié.

3.2. Les subversions infinitésimales

quelques mots
pour modifier
profondément
la fonction
d'une définition

Parfois quelques mots suffisent pour changer totalement une signification. Nous avons analysé quelques "révolutions inaperçues". Précisons encore. Si on définit le mot mutation de la façon suivante : "une mutation c'est une modification observable chez certains animaux ou végétaux qui est brusque, c'est-à-dire qui intervient par sauts, qui est peu fréquente, immédiatement héréditaire, c'est-à-dire transmise à la descendance", ce n'est pas faux. Mais on oublie que le mot est un concept c'est-à-dire un outil qui vise ici à créer une distinction ("parmi les modifications observables et dont certaines sont dues aux facteurs du milieu, nous isolerons un certain type de modifications qui..."). On oublie également que ce concept a un champ de validité ("ce qui est phénotypiquement observable") et qu'il est donc ouvert à des rectifications qui risquent de l'annuler en le complétant, ou le contredire. Au niveau des nucléotides certaines modifications sont silencieuses, ou létales, donc non visibles phénotypiquement. Certaines modifications portent sur les cellules somatiques et ne sont pas héréditaires au niveau de la population.

On peut, dans certains cas, donner une simple consigne opératoire. Par exemple, pour détecter certaines formes d'anthropomorphisme on peut donner à l'élève la consigne suivante : "tu raisonnes comme si tu étais toi-même dans la situation de l'animal, de l'organe, de la molécule, et tu leur prêtes tes idées et tes intentions". Mais on peut cependant douter du fait qu'une telle consigne, même répétée suffise. Le polymorphisme de l'obstacle implique une pluralité d'actions à inventer dans chaque situation (14).

La plupart du temps la consigne que l'on peut donner risque d'être inopérante par elle-même. Il faut la traduire dans la situation. Soit la consigne suivante : "pour poser un problème il faut se rendre étrangers les objets et les situations familières". Oui mais comment ? De la même façon les catégorisations de représentations peuvent servir d'aide-mémoire pour l'enseignant : nominalisme, obstacle verbal, unification abusive, pandéterminisme, utilité, etc, mais rarement de consigne de repérage en classe.

(14) RUMELHARD G. (1996). "Représentation et travail résistant". *Biologie-Géologie (APBG)* 4, pp. 753-766.

4. LA FAMILIARITÉ FAIT CROIRE QUE CERTAINS OBSTACLES SONT DÉPASSÉS

les obstacles
deviennent
invisibles

Les obstacles deviennent invisibles à force d'être rendus familiers par des objets, des instruments, des gestes, des institutions. Le retour aux sources permet de les faire apparaître avec toute leur force au moment de leur dépassement. L'appel à l'histoire des sciences ne vise pas à un quelconque rapprochement entre l'élève et le savant du passé, selon une réactualisation de la théorie réfutée de la récapitulation. Il s'agit au contraire de montrer que le mouvement même du développement scientifique inclut un effacement progressif des obstacles et une remise en continuité des ruptures. Voici une nouvelle condition pour travailler les obstacles : s'apercevoir qu'ils ne sont pas dépassés, mais effacés.

Au XVII^{ème} siècle les travaux des physiciens font apparaître de manière condensée et exemplaire tous les obstacles à dépasser pour constituer une science – mieux que les travaux de Harvey en physiologie, ceux de Galilée sont représentatifs. Si les historiens des sciences le considèrent comme l'inventeur de la science moderne, il n'a bien évidemment pas tout inventé dans un vide de connaissances. Il invente une nouvelle lunette astronomique, mais de nombreuses observations ont été faites avant lui, ainsi que de nombreux calculs. Paul Feyerabend a pu montrer qu'il avait tenté de triompher grâce à la ruse, et Mario Bagnioli a pu décrire les splendeurs et misères d'un Galilée parfait courtisan (15), mais l'essentiel ne se situe pas là. Il réside dans le fait de faire converger de manière tout à fait nouvelle trois disciplines : les mathématiques, l'astronomie et la physique. Il unifie la mécanique céleste et la mécanique terrestre.

démarche signifie
enchaînement
coordonné
et cheminement

Ce que l'on nomme, d'une manière devenue tellement habituelle que l'on en oublie la signification, une "démarche scientifique", implique un enchaînement coordonné d'actes et de pratiques de recherche, autrement dit un cheminement, ce que souligne l'étymologie du mot méthode. L'essentiel ne réside donc pas tant dans la compréhension de telle ou telle étape prise isolément (manipulation des instruments et appareils, mesures, calculs, observations,...) mais dans l'articulation, non déterminée par avance, mais nullement fortuite *a posteriori*, entre les différents actes du travail.

(15) FEYERABEND P. (1979). *Contre la méthode*. Paris, Seuil.
BAGLIOLI M. (1993). *Galileo Courtier*. The University of Chicago Press.

4.1. Huit points fondamentaux des travaux de Galilée

Les travaux sur Galilée sont nombreux et très documentés. Il n'est pas possible de les présenter ici et nous les supposons connus, nous limitant donc à souligner huit points fondamentaux (16).

les mathématiques
sont une clef
pour connaître

- Contre Aristote, Galilée pense que les mathématiques peuvent être une clef pour la connaissance scientifique réelle de la nature, et il invente le premier invariant scientifique d'expression mathématique que les élèves connaissent actuellement comme "loi de la chute des corps".
- Son invention technique, le télescope, devient non seulement un outil d'observation, mais un instrument de connaissance – au sens fort du terme – c'est-à-dire un outil à destination théorique (et non pas empirique) qui permet des observations jouant le rôle de preuve confirmant ou réfutant les prévisions théoriques.
- Une étude abstraite des conditions de possibilité du mouvement lui permet d'énoncer des principes (ou des concepts) : "le mouvement est un état de chose qui se conserve indéfiniment". Ce principe permet une première formulation du concept de conservation de la quantité de mouvement, et une première formulation du concept d'inertie (qui seront affinés par la suite). Il énonce également un principe de relativité des observations selon le repère adopté.
- Ceci le conduit à transformer une conception de la causalité-propriété en une causalité-relation. Contre Aristote qui recherche l'origine du mouvement et pense que le haut et le bas sont des références absolues, Galilée souligne la relativité des mouvements et se limite à rechercher "les causes de variations" autrement dit les paramètres qui interviennent. Le travail expérimental et mathématique permet d'établir des "lois". Le mathématicien ambitionne d'informer étroitement l'expérience, et il dialogue avec l'expérimentateur qui est, lui, pourvu d'instruments précis.
- Pour Galilée l'essentiel du travail scientifique n'est pas seulement de fournir des explications sur la nature des mouvements, ou des hypothèses "purement" mathéma-

-
- (16) KOYRÉ A. (1940). *Études galiléennes*. Paris, Hermann.
 KOYRÉ A. (1973). *Études d'histoire de la pensée scientifique*. Paris, Gallimard.
 YAKIRA E. (1994). *La causalité de Galilée à Kant*. Paris, PUF.
 BALIBARD F. (1984). *Galilée, Newton lus par Einstein*. Paris, PUF.
 ACLOQUE P. (1982). "Histoire des expériences pour la mise en évidence du mouvement de la terre". *Cahiers d'Histoire et de philosophie des sciences*.
 CANGUILHEM G. (1968). "Galilée : la signification de l'œuvre, et la leçon de l'homme". In *Études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris, Vrin, pp. 37-50.

tiques, ou des formules permettant des calculs à utilité pratique (trajectoire des projectiles). Il est de fournir des preuves de la vérité et de la réalité de ce qu'il avance.

- Mais il a également conscience que les preuves qu'il ne peut apporter à son époque résident dans un avenir de la science, dans le développement de la science nouvelle. Cette nouvelle science de la nature est progressive et en ce sens, la science de Newton accomplit c'est-à-dire confirme et justifie ce qu'avait commencé et préparé Galilée.

- La révolution introduite par Copernic en 1543 a pu être assez aisément acceptée comme simple hypothèse mathématique commode, sans soulever d'opposition religieuse. Galilée s'est par contre fixé pour mission d'établir que l'héliocentrisme est vrai d'une vérité physique. Ainsi la mécanique terrestre doit fournir un modèle de la mécanique céleste. Et l'on sait que Galilée n'a pas pu réaliser d'expérience convaincante, en particulier la déviation vers l'ouest d'un corps tombant en chute libre.

- Ce faisant il faisait éclater toute la culture et toute la mentalité que le Cosmos figurait : un monde clos, centré, des références absolues, des causes formelles, des propriétés intrinsèques, des essences.

Voici articulés les éléments de la science moderne, les éléments qui ont ouvert un enchaînement des recherches, qui ont ouvert une tâche infinie de mesures et de coordination d'expériences. Infinie au sens de non encore finie, dans la mesure où, par exemple, la mise au point de l'avion Concorde a permis au commandant Turcat de nouvelles observations sur les mouvements de la Terre.

4.2. Huit obstacles devenus invisibles, mais qui ne sont pas dépassés

Reprenons maintenant chacun de ces huit points pour situer et articuler les obstacles actuels.

- Qui pourrait, actuellement, penser que les mathématiques ne jouent pas un rôle déterminant non pas seulement pour décrire les résultats, mais dans la constitution même des connaissances en physique, chimie, biologie, géologie ? Les lois exprimées sous forme de formules mathématiques sont omniprésentes en physique. Les statistiques et les formules sont nombreuses en écologie, physiologie, génétique et dynamique des populations.

Comment comprendre que Galilée a ouvert une nouvelle voie ? Comment pensait-on avant lui ? Pour s'en faire une idée il faut se faire naïf, ou observer de jeunes élèves, ou enseigner à des adultes qui ne possèdent pas le savoir mathématique. Mais les adultes sont familiarisés au moins avec le fait que les études statistiques permettent de connaître les opinions et de prévoir certaines évolutions. Il faut donc se faire savant d'un savoir aboli et dépassé, mais

l'héliocentrisme est vrai d'une vérité physique

l'ouverture d'une tâche infinie de recherches

se faire savant d'un savoir aboli et dépassé

accepté collectivement à l'époque de Galilée pour apercevoir où se situe l'obstacle. Cet obstacle aurait-il finalement disparu à cause de cette familiarisation vécue dans la vie sociale ? Une mathématisation peut être insuffisante, elle peut également être excessive ou trop réductrice. On peut chercher en biologie l'expression de résistances qui ne sont pas nécessairement la manifestation d'une pensée archaïque. La physiologie humaine et la médecine ont perpétuellement rappelé la singularité de chaque cas, tandis que l'approche scientifique tend à les mettre, au moins provisoirement, entre parenthèses au profit de l'étude de populations et de "moyennes". Quant au fait que la pensée soit "calculable", la confrontation entre un joueur d'échec et un ordinateur a réactivé récemment les termes du débat.

Il y a donc ici un ensemble d'obstacles concernant les rapports entre mathématiques et sciences, dont on peut penser qu'ils sont inaperçus ou négligés sous prétexte de familiarisation avec la culture contemporaine.

- Qui actuellement pourrait penser que la science ne progresse pas grâce à l'utilisation d'instruments d'observation, de détection et de mesure ? Il est même fréquent de penser que c'est la seule source de progrès et qu'il en a toujours été ainsi. Pour des parents attentifs qui pèsent régulièrement leur enfant afin de suivre sa croissance en la comparant à des tableaux ou des courbes décrivant la "normale" et ses "écarts", il faut un travail de dépaysement pour admettre que, au Moyen Âge, la balance n'est qu'un instrument d'orfèvre, de banquier ou de commerçant. À cette époque personne n'a l'idée que peser puisse préparer à connaître. La vie des hommes n'est pas matière à mesure ou à calculs. Les instruments tels que les loupes, les lentilles, les horloges servent à la vie pratique mais pas au travail scientifique.

Ici encore une évidence, liée à la familiarité et soutenue par les nombreux appareils utilisés en particulier dans le domaine médical, risque de faire négliger un concept à construire et quelques obstacles à surmonter. La loi de la chute des corps est "vérifiée" avec une précision très grande dans n'importe quel lycée grâce au banc à coussin d'air, aux capteurs électroniques et à l'enregistrement des données par ordinateur. Cette précision peut faire apparaître par elle-même, sans avoir à la conceptualiser, l'influence de la poussée d'Archimède si la mesure est faite dans l'air et non pas dans le vide.

faire une place
aux concepts

- Les concepts d'inertie et de quantité de mouvement, par contre, posent encore de nombreux problèmes de compréhension lors de l'enseignement. L'effort initial des travaux de didactique de la physique s'est précisément porté sur ces concepts (17). Ce premier succès historique majeur de la

(17) VIENNOT L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris, Hermann.

les concepts font
exister des objets
techniques

mécanique trouve un obstacle dans le fait que, pour un être vivant, l'inertie c'est l'inactivité et l'indifférence. Et cette inactivité est immédiatement conçue comme le repos ou la mort. D'une certaine façon le concept de tonus musculaire rencontrera le même obstacle. Comment concevoir une activité en l'absence de mouvement apparent. Vivre c'est être actif, choisir, préférer ou repousser, être en mouvement. L'inertie n'est pas le repos, ni même la résistance à la mise en mouvement. Pour concevoir le concept physique d'inertie il faut soustraire le mouvement de la matière au pouvoir d'intervention des êtres vivants.

On pourrait objecter qu'il est possible de cheminer d'une observation au concept. Les concepts font exister des objets, des appareils et donc des observations qui ne l'auraient pas été sans eux. Le pendule de Foucault, le gyroscope, la centrale à inertie des fusées "rendent visibles" les concepts concernés. En supposant la Terre enveloppée d'une épaisse couche de nuages permanents empêchant l'observation du Soleil, de la Lune et des étoiles, combien d'élèves pourraient cependant concevoir les mouvements de translation et de rotation de la Terre par l'observation des objets cités ? Pourrait-on le concevoir en mesurant avec précision, comme c'est actuellement possible, la déviation de la chute d'un corps sur une très grande hauteur ?

De plus ce concept d'inertie n'est pas sorti entièrement et définitivement achevé du cerveau de Galilée. Descartes et Newton ont grandement contribué à son élaboration. Le chemin est long jusqu'à la distinction de la masse inertielle et de la masse gravitationnelle, jusqu'au concept de référentiel inertiel, et aux travaux d'Einstein.

Dernière remarque pédagogique, la maîtrise du concept d'inertie n'est pas indispensable à la résolution de la plupart des problèmes de physique scolaire tels qu'on les propose en général. De la vie pratique non plus. Il ne reste alors qu'une découverte expérimentale et empirique de la chute des corps permettant de "vérifier" une formule mathématique qui se présente comme un donné de l'expérience. L'enseignement "refuse" l'obstacle, comme certains chevaux !

- La recherche des causes de la chute des corps au sens finaliste et ontologique, c'est-à-dire la recherche de la "nature" de cette chute et "son but" sont actuellement considérés comme en dehors du domaine de la physique. Mais l'attitude pédagogique est ici bien souvent dogmatique, c'est-à-dire que toute proposition d'élève allant dans ce sens sera "interdite" comme métaphysique, plutôt que déconstruite.

La science recherche des lois ou des modèles à forme mathématique, et en biologie des mécanismes. En ce sens expérimenter consiste à faire varier des paramètres et à mesurer avec la plus grande précision possible les résultats. La recherche biologique se présente souvent différemment. Les domaines formalisables sont peu nombreux, et les orga-

nismes entiers ne sont pas entièrement analysables par décomposition en paramètres. Les questions de l'origine et du but doivent être débarrassées de leurs aspects mythiques, mais ne peuvent être éliminées. Elles sont donc à déconstruire et reconstruire.

le savoir scientifique
est un savoir-vrai

- Le savoir scientifique est un savoir-vrai. Le scientifique prend le soin de "prouver" ce qu'il dit. Sinon il se tait ou dit simplement "on ne sait pas". Dans une société où dissimuler et falsifier sont fréquents, cette représentation du scientifique comme symbole d'honnêteté et de désintéressement est largement utilisée au niveau publicitaire et politique. Rappelons que, inversement, toutes les tentatives pour constituer une science inféodée à la politique ont échoué (affaire Lyssenko, sociobiologie, évolutionnisme,...). Mais la familiarité de cette image du savant n'entraîne pas immédiatement le fait qu'un élève soit en mesure de dire ce que signifie "prouver", ni qu'il puisse énoncer des critères de scientificité. La référence à des "expériences" faites au "laboratoire" semble se suffire à elle-même.

Les récents procès vis-à-vis des falsifications alimentaires ou médicales ont souligné cette idée de "vérité scientifique" imparable. Mais ces notions ne sont prises en compte qu'à travers leur utilité sociale. Le savoir-vrai reste en toile de fond et c'est bien le caractère utile du savoir qui est mis au premier plan. Le travail du scientifique est la recherche d'une vérité utile, voilà la représentation dominante. L'utilité sociale du savoir est bien souvent source de motivation pédagogique. C'est toujours une impasse théorique.

un développement
continu
de la science

- L'idée d'un progrès des connaissances est fortement ancrée depuis le milieu du XIX^{ème} siècle. La prophétie des découvertes à venir est largement utilisée au niveau médical en particulier. Elle est soutenue par l'invention d'instruments nouveaux plus précis, plus rapides, plus efficaces pour observer, détecter, mesurer les éléments d'une pathologie. L'idée inverse d'une détérioration des conditions de vie à proportion du progrès scientifique touche progressivement la chimie et la physique nucléaire. Elle n'atteint que peu le domaine médical. L'idée d'un progrès social est, par contre, de plus en plus critiquée. Ce concept d'un développement de la science, à travers des découvertes qui se succèdent et surtout s'enchaînent de manière coordonnée, est donc à construire car il risque de plus en plus d'être nié dans sa spécificité en subissant l'effet en retour des applications sociales néfastes.

le concept
de modèle
est double

- La notion de modèle reste profondément ambiguë comme l'ont montré les récentes recherches didactiques sur la modélisation. La distinction claire entre modèle pour expliquer, modèle à copier, modèle pour décider, analogies heuristiques, simulation, imitation est à construire.

- Dès 1543 la cosmologie devient positive en renonçant au Cosmos, c'est-à-dire à une Terre maternelle, un monde fini et clos, une mythologie du cercle protecteur, roc de stabilité

et de sécurité, repère et refuge après tous les écarts. Nicolas Copernic renverse les fondements chimériques de l'astrologie, et aucun enseignant ne pense actuellement indispensable d'évoquer l'astrologie, fut-ce pour démontrer son inanité. Il reste que des adultes y croient, ou font semblant d'y croire. Admettent-ils réellement que le statut de vérité et la fonction sociale de ce type de croyance n'est pas de même nature que celle des explications scientifiques ?

Renoncer à l'anthropocentrisme serait moins difficile à l'ère des satellites artificiels ? Cela reste à argumenter. Mais en biologie c'est à l'anthropomorphisme qu'il faut renoncer et la difficulté est beaucoup plus ancrée. Si le Cosmos n'est plus un refuge, la terre reste chaude, vivante, nourricière et protectrice. L'anthropomorphisme imprègne même la géologie, et donc, *a fortiori* les molécules, les végétaux, les animaux et l'homme selon un gradient croissant.

On voit ainsi se dessiner un réseau de liaisons non nécessaires entre des obstacles qui se soutiennent éventuellement l'un l'autre. Des mathématiques réduites à l'état d'outil de description ou de communication, réduites à une pure forme qui reçoit, soutiennent la découverte empirique d'une loi de chute des corps établie grâce à des instruments de mesure précis et qui n'implique aucun concept. Tout ceci n'a rien à voir avec le Cosmos et un changement de représentation, etc. À chaque fois les actes du travail scientifique sont isolés les uns des autres.

ne pas séparer
les étapes
d'une démarche

CONCLUSION

Pour conclure on peut proposer de revenir sur nos pas, ce qui est le propre de l'enseignement. Parcourir un chemin, mais aussi savoir lequel on a parcouru. Nous avons évoqué des obstacles au concept didactique d'obstacle, des obstacles aux divers actes scientifiques qui forment un réseau plus ou moins lâche, des obstacles à l'enchaînement coordonné de ces actes. Peut-on hiérarchiser ces obstacles ou désigner un point de plus grande résistance ? Un mot à lui seul condense toutes les ambiguïtés, celui de "savoir". Utilisé comme substantif il implique un processus de transmission d'informations, il implique une représentation d'un savoir-chose, objet, trésor que l'on possède, bagage découplable en morceaux indépendants les uns des autres, collection disparate. Utilisé comme verbe il désigne un ensemble d'actions visant à connaître. Il implique qu'il y a quelque chose à comprendre. Il faut chercher des raisons, des lois, des mécanismes et des processus de validation de ce que l'on conçoit. Des couples de mots peuvent préciser cette ambivalence : objet ou objectivation, modèle ou modélisation, information ou formation. Et bien évidemment, comme les obstacles sont doubles, la tentation inverse d'identifier savoir à méthode pour découvrir, inventer et prouver existe.

le mot savoir :
substantif
ou verbe

Enseigner une méthodologie suffirait alors. À travers cette petite différence (le même mot considéré comme substantif ou comme verbe d'action) c'est l'objectif même d'un enseignement scientifique qui est en jeu. Subversion infinitésimale et donc bien souvent inaperçue, point nodal du travail sur le réseau lâche des obstacles au cours de l'enseignement-apprentissage.

Guy RUMELHARD,
Lycée Condorcet, Paris
Équipe de didactique des sciences
expérimentales, INRP.

CONSTRUCTION DES PROBLÈMES ET FRANCHISSEMENTS D'OBSTACLES

Michel Fabre
Christian Orange

Le traitement didactique des obstacles s'effectue le plus souvent dans des situations de résolution de problèmes. Pour des raisons qui tiennent à la fois aux caractéristiques épistémologiques des savoirs scientifiques et aux conditions psychologiques du changement conceptuel, on tente ici de relier franchissement d'obstacle et construction de problèmes par les élèves. Le concept de construction d'espace-problème, issu de la psychologie cognitive, permet de formaliser les débats dans la classe comme le montre une étude de cas. L'étude comparée de différents dispositifs mis en œuvre dans les classes permet également d'esquisser une typologie des ruptures et invite à une diversification des stratégies didactiques de changement conceptuel.

résolution ou
construction des
problèmes ?

L'importance des conceptions et des obstacles dans les apprentissages conduit la didactique des sciences à s'intéresser aux dispositifs d'aide aux changements conceptuels. Actuellement, on maîtrise le plus souvent les moyens de faire douter un élève de la valeur de ses conceptions (fissuration). Mais, malgré quelques tentatives de théorisation des changements conceptuels (1), les conditions permettant un véritable franchissement d'obstacle ainsi que l'adhésion à une autre conception restent encore obscures (Astolfi J.-P., Peterfalvi B., 1993 ; Johsua S., Dupin J.-J., 1993, p. 133). Cette difficulté nous semble liée à la centration habituelle des analyses didactiques sur la résolution de problèmes. Or, de notre point de vue et comme nous l'avons déjà proposé (Fabre M., 1993), c'est avant tout la construction et la reconstruction des problèmes par l'apprenant qui doivent être étudiées par les didacticiens et travaillées en classe.

Rappelons brièvement notre thèse. Les élèves, armés de leurs connaissances, peuvent être confrontés à des événements qui font problème : phénomènes dont l'explication n'est pas immédiate, conception d'un pair... Cela peut se faire spontanément dans ou hors de la classe, ou être provoqué, par exemple au cours d'une situation-problème. Entre ce problème qui apparaît à l'élève et le problème résolu, il y a tout un processus, fondamental, qui est généralement peu étudié en didactique, et qui consiste en une construction ou

(1) On pense, en particulier, aux travaux de Posner et Strike, qui étudient les changements conceptuels en dehors de toute référence aux obstacles bachelardiens (Posner *et al.*, 1982).

une reconstruction (2) du problème, ou problématisation. Ce processus transforme un problème perçu en un problème construit ou, plus généralement, en un ensemble articulé de problèmes construits (problématique).

Cet article voudrait montrer ce qu'apporte l'étude des processus de problématisation à la compréhension des changements conceptuels. Dans un premier temps, nous traiterons des liens qui existent, de par la nature des savoirs visés, entre ruptures et obstacles d'une part et construction de problèmes d'autre part. Puis, lors d'une étude de cas, nous précisons certaines caractéristiques du processus de problématisation, dans ses aspects didactiques. Enfin nous tenterons une typologie des ruptures et des obstacles associés, en nous appuyant sur la variété des processus didactiques de construction des problèmes

1. SAVOIRS SCIENTIFIQUES, PROBLÈMES ET OBSTACLES

Que se passe-t-il lorsqu'un élève, ou plus généralement un individu, change de conception ou franchit un obstacle ? L'interprétation de cette question dépend étroitement de l'idée que l'on se fait des connaissances. Nous allons présenter ce qu'est pour nous un savoir scientifique et ce que cela implique quant à l'origine possible des obstacles et aux conditions didactiques de leur franchissement.

les
caractéristiques
d'un savoir
scientifique

Nous retenons trois caractéristiques principales des savoirs scientifiques. Elles ne sont pas indépendantes, mais éclairent des aspects différents :

- les savoirs scientifiques sont des compétences,
- les savoirs scientifiques sont raisonnés,
- les savoirs scientifiques sont partagés et soumis à la critique.

1.1. Les savoirs scientifiques sont des compétences pour maîtriser des problèmes

expliquer
et prévoir

Un savoir scientifique n'est pas la simple description d'une réalité : il permet d'expliquer, et, de façon subsidiaire, de prévoir (3) ; donc de maîtriser des problèmes. Cette caracté-

-
- (2) Face à un problème rencontré, l'élève va le construire de manière privée pour fournir une première réponse. Les dispositifs didactiques de type "situation-problème" peuvent être vus comme des moyens de contraindre l'élève à reconstruire le problème en précisant des contraintes et/ou des possibles non spontanément repérés par l'élève.
- (3) Nous partageons complètement le point de vue de Toulmin selon lequel le but de la science est avant tout d'expliquer : « *La prévision est donc un savoir-faire, une technique, une application de la science plutôt que la science elle-même.* » (Toulmin St., 1973, p. 40).

ristique, les savoirs scientifiques la partagent avec les conceptions des élèves. C'est en cela qu'il y a concurrence. L'élève doit donc connaître contre des connaissances antérieures ; d'où l'importance didactique du concept d'obstacle épistémologique. On ne peut accéder à la culture scientifique qu'en changeant de culture, en renversant les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne (Bachelard G., 1938). Par exemple, les obstacles que Canguilhem qualifie d'intérêt technique, liés aux rapports sociaux habituels avec les êtres vivants, censurent toute explication analytique de la vie (Canguilhem G., 1975). Plus généralement, l'efficacité des conceptions est une composante forte des obstacles.

Il en résulte, comme cela est maintenant bien établi en didactique des sciences, que le savoir auquel on fait accéder les élèves doit pouvoir concurrencer, dans la maîtrise des problèmes, leurs conceptions initiales. De ce point de vue, un enseignement se limitant à une description de la réalité semble épistémologiquement peu valable : un savoir véritablement scientifique doit s'avérer fonctionnel. Ceci montre également la nécessité de ne pas réduire les activités scolaires au travail sur les ruptures mais de permettre aux élèves d'utiliser leurs nouvelles connaissances et d'en étendre la portée par la confrontation à divers problèmes dits normaux (4). Le dépassement des obstacles n'est qu'à ce prix !

pertinence
des savoirs
scolaires ?

1.2. Les savoirs scientifiques sont des savoirs raisonnés

Cela peut sembler une évidence en ce qui concerne les savoirs des scientifiques, mais voyons ce que cela signifie dans la classe. Prenons l'exemple de la nutrition, telle qu'elle peut être étudiée au cycle 3 de l'école primaire : il s'agit de faire comprendre aux élèves l'intervention des aliments dans le fonctionnement de leur corps. Dans certaines conceptions initiales, les aliments s'accumulent dans une poche qui grossit progressivement au cours de la vie, ce qui explique la croissance. D'autres élèves pensent à des tuyaux "nourriciers", présents dans tout le corps, mais indépendants du système sanguin.

Ces conceptions mélangent en fait trois types de connaissances : des opinions entendues et reprises, comme les relations entre nourriture et croissance ; des convictions acquises empiriquement, mais non questionnées, comme le lien entre les aliments ingérés et le ventre ; des inventions

(4) Pour Kuhn (1983), un problème normal est un problème traité à l'intérieur d'un paradigme déjà constitué. Nous avons proposé d'étendre ce concept à la didactique (Orange C., Orange D., 1993) en distinguant les problèmes de rupture, qui permettent aux élèves et à la classe d'accéder à un paradigme, et les problèmes normaux, qu'il faut régler à l'intérieur d'un paradigme déjà construit et identifié.

savoir factuel
ou problématique ?

pour articuler de manière explicative les différents points. Que signifie dépasser ces conceptions et accéder à un savoir scientifique ? L'enjeu n'est pas seulement de changer d'idée : par exemple d'abandonner l'opinion selon laquelle la nourriture s'entasse dans le ventre et fait ainsi grossir, pour adhérer à la formulation selon laquelle les aliments, après avoir été transformés, sont distribués à tout le corps par le sang. Ce qui est important, ce n'est pas d'accéder directement à un savoir factuel "vrai" mais plutôt de construire ou reconstruire la problématique dont ce savoir fournit une solution possible. Dans l'exemple choisi, l'essentiel est bien que les élèves élaborent une problématique de distribution, c'est-à-dire qu'ils saisissent la nécessité de distribuer quelque chose provenant des aliments à toutes les parties du corps et qu'ils imaginent différentes possibilités pour cette distribution – diffusion, tuyaux nourriciers, vaisseaux sanguins... – même si, dans le corps humain, une seule d'entre elles est réalisée, comme vont l'indiquer secondairement les confrontations empiriques.

d'une connaissance
d'opinion à
une connaissance
apodictique

Faire des sciences c'est donc abandonner une connaissance d'opinion, une connaissance mal questionnée, assertorique, c'est-à-dire réduite à un simple constat, pour une connaissance qui, une fois problématisée, sera fondée en raison, deviendra apodictique. C'est le cas lors de la rupture fondamentale que met en avant Bachelard entre connaissance commune et savoir scientifique (5) ; mais cela peut être étendu à toute rupture, même entre deux théories scientifiques, car sans vigilance, l'apodictique retombe vite dans l'assertorique (6). À ces ruptures s'opposent des obstacles du type "expérience première" ou "connaissance générale" (Bachelard G., 1938).

C'est ainsi un espace de nécessités et de possibles (la représentation du problème, ou espace-problème) qu'il faut tenter de faire construire aux élèves, sans se limiter à ce tour de passe-passe qui consisterait simplement à leur faire changer d'opinion. Les ruptures et le franchissement des obstacles correspondants sont donc avant tout liés, non à la résolution du problème, à la découverte d'une solution, mais à la construction par les élèves du problème ou d'une problématique dans un cadre théorique défini (7). Nous donnons dans la deuxième partie de cet article l'analyse d'un tel travail de classe.

-
- (5) « *La science ... s'oppose absolument à l'opinion... L'opinion pense mal, elle ne pense pas : elle traduit des besoins en connaissances.* » (Bachelard G., 1938, p. 14).
- (6) « *Par une curieuse accoutumance, l'apodictique vieilli prend le goût d'assertorique, le fait de raison demeure sans l'appareil de raisons.* » (Bachelard G., 1938, p. 247 ; Fabre M., 1995, chap. VI et VII).
- (7) Cadre théorique défini par l'enseignant lorsqu'il fixe ses objectifs. Les élèves construisent le problème mais le maître reste le garant d'un cadre théorique scientifiquement pertinent.

1.3. Les savoirs scientifiques sont des savoirs partagés, soumis à la critique

Un savoir scientifique n'est pas une simple connaissance privée, aussi pertinente soit-elle (mais qui pourrait alors en juger ?). Il doit être soumis à la discussion publique et pouvoir être remis en question. Karl Popper explique ainsi l'invention de la science : *« les philosophes grecs ont inventé une nouvelle tradition qui consistait à adopter une attitude critique par rapport aux mythes et à les discuter ; il s'agissait non seulement de raconter un mythe, mais aussi de le faire discuter par l'auditoire »* (Popper K., 1985, pp. 192-194).

Cette attitude critique, constitutive de la science, prend deux formes complémentaires, mais très liées.

Tout d'abord, il y a la communauté scientifique. En science, un résultat n'a en effet de sens qu'une fois communiqué, repris, admis, reconstruit par les autres membres de la communauté scientifique. Autrement dit, un savoir ne sera vraiment scientifique que s'il est partagé, discuté et s'il peut servir de base à d'autres développements communicables. Pour la science à l'école il faut donc penser, de façon primordiale, débats scientifiques et argumentations.

Mais aussi, et selon Popper c'est une conséquence du premier point, intervient la mise à l'épreuve des modèles et des théories par la confrontation au réel : observations, expérimentations ou recours à des faits reconnus ; il s'agit alors de comparer des prévisions théoriques à des phénomènes spontanés ou provoqués. Tout cela se résume par ce que dit le biologiste F. Jacob de la pensée scientifique : *« À chaque étape il lui faut s'exposer à la critique et à l'expérience. »* (Jacob F., 1980, p. 30).

On voit mal alors comment un savoir scolaire qui ne serait pas l'objet de discussions au sein de la classe et de confrontations aux connaissances empiriques des élèves, même si elles ne sont pas proprement expérimentales, pourrait prétendre à un véritable statut scientifique. Cela implique que, malgré les limites justement affirmées des conflits cognitifs brefs, le débat scientifique dans la classe est fondamental (8). L'accession de chaque élève de la classe à un savoir scientifique ne peut se faire qu'au travers de la construction d'une problématique commune qui fonde en "raison partagée" un paradigme de classe (9). Ce paradigme pourra alors servir de cadre pour la construction et la résolution de nouveaux problèmes qui le feront évoluer progressivement (problèmes normaux).

-
- (8) Il s'agit là d'une justification épistémologique du débat dans la classe, alors que l'argumentation en faveur des conflits socio-cognitifs est de nature psychologique. Il est intéressant de remarquer que ces deux points de vue peuvent se compléter.
- (9) On peut appeler paradigme de classe un ensemble de connaissances sur un domaine donné, consciemment partagé par la classe et qui sert de référence pour maîtriser de nouveaux problèmes (problèmes normaux).

Ainsi la soumission à la critique des savoirs scientifiques renvoie à leurs deux caractéristiques précédemment présentées : leur opérationnalité pour maîtriser des problèmes et leur fondement par la constitution d'un espace-problème.

1.4. Conclusions

Les caractéristiques du savoir scientifique que nous retenons nous amènent donc à relier fortement les ruptures et les franchissements d'obstacle à la construction de problèmes par les élèves, au sein de la communauté scientifique que représente la classe. Nous allons maintenant préciser ce travail de problématisation et son lien avec le changement conceptuel à partir d'un exemple.

2. PROBLÉMATISATION ET CONSTRUCTION DE L'ESPACE-PROBLÈME

2.1. La problématisation

Qu'est-ce que problématiser ? Comment décrire le processus de problématisation ? Soit la question : "Comment les aliments font-ils pour faire grandir ?". Quelles sont les connaissances que l'on attend des élèves de CM sur le sujet ? On lit dans un (vieux) manuel de CM :

« Les aliments sont broyés par les dents, ils descendent dans l'estomac où ils sont malaxés et réduits en bouillie. Puis, cette bouillie passe dans l'intestin dont la paroi est tapissée de vaisseaux sanguins. Les aliments passent donc dans le sang qui les transporte à toutes les parties du corps pour les nourrir. Les déchets sont éliminés. »

trois types
d'enseignement

On peut sur cet exemple tenter une typologie de l'enseignement-apprentissage selon que va prédominer la compréhension, la résolution de problème ou la problématisation.

- **La compréhension**

On part ici du résumé que l'élève doit comprendre. Dans ce cas, les propositions du texte semblent valoir pour elles-mêmes et indépendamment de tout contexte de recherche. Mais en réalité, elles ne sont intelligibles que par rapport aux problèmes qu'elles solutionnent tout en les refoulant (Meyer M., 1986). Comprendre une proposition ou une série de propositions, c'est donc retrouver les questions oubliées auxquelles ces propositions répondent. Autrement dit, la compréhension relève déjà de la problématisation, mais d'une problématisation privée, ignorée par l'enseignant.

- **La résolution de problème**

Le problème étant formulé par le maître ou le manuel, l'élève devra le résoudre, la solution produite coïncidant

avec la connaissance à apprendre. Ici, la réponse est bien produite par l'élève, mais celui-ci n'a aucune marge de manœuvre dans la construction du problème qui reste finalement la prérogative du maître ou du manuel.

• **la problématisation**

Ici le problème ne se présente pas tout fait ; il est simplement posé sous forme d'une question générale ou d'une situation. Les élèves doivent le construire progressivement à partir d'un cahier des charges et par un système de contamination de contraintes, de telle sorte que sa détermination complète coïncide effectivement avec ses solutions possibles. Pour l'enseignant, l'objectif est que les élèves construisent une problématique pertinente par rapport à la question traitée, problématique seule susceptible de donner sens aux solutions trouvées et donc aux connaissances scientifiques construites. C'est dans ce dernier cadre que nous nous situons.

2.2. L'idée d'espace-problème

Pour décrire ce processus de construction du problème, nous partirons de l'idée d'espace-problème (10) de Newell et Simon, repris par la psychologie cognitive (Richard J.-F., 1990, p. 120). Résoudre un problème, c'est ici cheminer dans un espace où sont figurés les états successifs de la situation (les nœuds) sous l'effet des actions du sujet (les arcs). L'un des nœuds représente la situation de départ, l'autre la situation d'arrivée. Cet espace-problème constitue ainsi un modèle formel pour la description des processus réels de résolution. Le traitement d'un problème suppose cependant la définition concrète de cet espace, laquelle aboutit à la représentation du problème avec ses trois composantes : interprétation de la situation initiale, de la situation-but, des actions licites.

• La psychologie cognitive distingue la représentation du problème par l'expert des représentations plus ou moins adéquates que s'en font les novices. Ces deux représentations ne correspondent pas forcément dans la mesure où le novice peut définir un espace plus restreint ou au contraire plus large que celui de la tâche (Richard J.-F., 1990 p. 123). Il nous semble utile de distinguer plusieurs représentations "savantes" selon les différents experts qui interviennent : le biologiste (a), le didacticien (b), l'enseignant (c) ; et plusieurs représentations de novices : celle du groupe classe (d), ou celle d'un élève en particulier (e). Ces espaces coïncident rarement tout à fait ! Les problèmes posés par ces intersec-

différentes
représentations
d'un problème

(10) Dans nos travaux antérieurs, nous l'avons caractérisé comme une problématique s'effectuant dans une modalité particulière : celle du problème. (Fabre M., 1993).

problèmes
sémantiquement
riches

tions et ces disjonctions sont d'ailleurs intéressants du point de vue didactique (11).

- La deuxième distinction importante concerne la typologie des problèmes. Jean-François Richard montre qu'un problème apparemment aussi bien défini que celui de la tour de Hanoï peut être ambigu pour le novice (12). Mais l'indétermination augmente lorsqu'on étudie des problèmes "sémantiquement riches" comme les problèmes scientifiques ou techniques. Dans ce type de problèmes, l'activité cognitive de l'élève se rapproche d'avantage d'une activité de conception ou de projet (par exemple écrire un article), ou encore d'une activité d'induction de structure (faire un diagnostic), que d'une activité de résolution de problème à transformation d'états, type tour de Hanoï.

- La troisième distinction concerne les processus de compréhension et de résolution. Pour la psychologie cognitive, la compréhension consiste dans la (re)construction du problème, alors que la résolution concerne la découverte d'un chemin reliant l'état initial à l'état final. L'une relève de la lecture de la carte, l'autre d'une orientation dans le territoire (Richard J.-F., 1990, p. 28, p. 158). Mais comment penser le processus cognitif d'élaboration de la carte ou de construction de l'espace-problème ?

construction
de l'espace-
problème

Nous proposons donc de reconsidérer les propositions de Newell et Simon en prenant en compte l'idée que l'espace-problème doit être construit et non pas simplement parcouru. En sciences on peut relativement facilement distinguer les processus de construction des processus de résolution. La construction de l'espace-problème part de la prise de conscience qu'une question se pose et aboutit à l'organisation des éléments du problème. Cet espace est, en même temps ou après coup, le lieu d'une démarche de résolution s'étendant de la formulation d'hypothèses à leur vérification ou falsification. Construction et résolution sont donc deux processus logiquement mais non chronologique-

-
- (11) Entre (a) et (b) quelle est la signification scientifique de la transposition didactique ? Entre (c) et (b) l'espace-problème vu par l'enseignant coïncide-t-il avec celui du didacticien ? Entre (c) et (d), l'enseignant a-t-il une vue objective du débat scientifique ? Entre (d) ou (e) et (b) : le débat scientifique a-t-il permis à l'ensemble de la classe ou à tel élève de construire les problèmes attendus par le didacticien ? Entre (d) et (e) comment situer la problématisation "privée" d'un élève par rapport au débat scientifique de la classe ?
- (12) Dans le problème dit de la tour de Hanoï, une planchette est munie de trois tiges. Sur la première sont enfilés trois disques de tailles différentes (le plus grand en dessous, le plus petit au dessus). Le jeu consiste à passer de cet état initial à un état final où les disques sont rangés sur l'une des deux autres tiges. Les règles sont les suivantes :
- on ne peut déplacer qu'un disque à la fois ;
 - on ne peut déplacer que le disque du dessus ;
 - on ne peut pas mettre un disque sur un plus petit.
- C'est l'ensemble de ces contraintes et des possibles qu'elles ouvrent qui définissent l'espace-problème (Richard J.-F., 1990).

ment distincts : dans un processus réel de problématisation, ces deux activités sont le plus souvent enchevêtrées. Comme le dit Michel Meyer (1979), il y a un art des problèmes relevant d'une logique du sens et un art des solutions relevant d'une logique de la vérité. Parler de logique du sens signifie ici que les questions pertinentes pour ce niveau ne sont pas celles du vrai et du faux, mais qu'il s'agit plutôt de localiser les points singuliers, intéressants, remarquables, bref ceux qui sont susceptibles de faire progresser l'enquête, et de délaissier les autres.

2.3. Une étude de cas

L'essai de modélisation présenté ici concerne un débat scientifique dans une classe de CE2 qui s'interroge sur la nutrition : "Comment les aliments font-ils pour faire grandir ?". Le but de l'enseignant est de faire construire à la classe une problématique de distribution (représentation de novice), laquelle pourrait être comparée à la représentation du didacticien. Nous isolons ici ce qui a trait à la construction des problèmes au cours du débat scientifique dans la classe, en laissant de côté la recherche de solution.

décrire un débat
scientifique

Tout débat, toute argumentation peuvent être étudiés comme une schématisation (Grize, 1990). Nous nous intéressons ici à la dimension épistémique de cette schématisation : quels sont les sous-problèmes et les réponses partielles évoquées, relativement au sujet traité (la distribution des aliments) ? Nous visons ici un résumé global du débat (13). Les propositions du résumé sont de type question/réponse. On peut les regrouper selon le problème (implicite ou explicite) qui les concerne : ce dont il est question.

L'ensemble des propositions du débat constitue la représentation du problème à laquelle aboutit la classe (et non encore sa solution !). Cette représentation se lit sur deux dimensions : verticale (l'enchaînement des questions et des réponses, qui fait que la problématique suit son cours et avance) et horizontale (la différenciation des questions et des réponses qui réalise un élargissement de la problématique). L'enchaînement concerne les inférences qui sont de plusieurs types : (Q-R) inférence apocritique (on répond à la question) ; (R-Q) inférence problématologique : la réponse relance de nouvelles questions, sans être forcément remise en cause ; (R-Qo) objection, la réponse est remise en cause. La différenciation concerne les embranchements du débat. Par exemple des alternatives (**OU** exclusif) telles que des questions (Q/Q) ou des réponses concurrentes (R/R). Des ramifications (**ET**) de questions en sous questions (Q:Q) ou de réponses (R:R) ou encore d'objections (O:O).

(13) Naturellement, on pourrait donner des descriptions plus fines de tel ou tel point du débat.

Lors de la construction, l'espace-problème se dissocie également en sous-espaces, étiquetés chacun par un problème fondamental. Chaque sous-espace peut renfermer du "hors question" (14) et comporter également des nœuds argumentatifs.

On a donc ci-contre une représentation possible de la macrostructure du débat. C'est un schéma qui n'est ni strictement chronologique ni strictement logique. Il peut s'analyser comme suit.

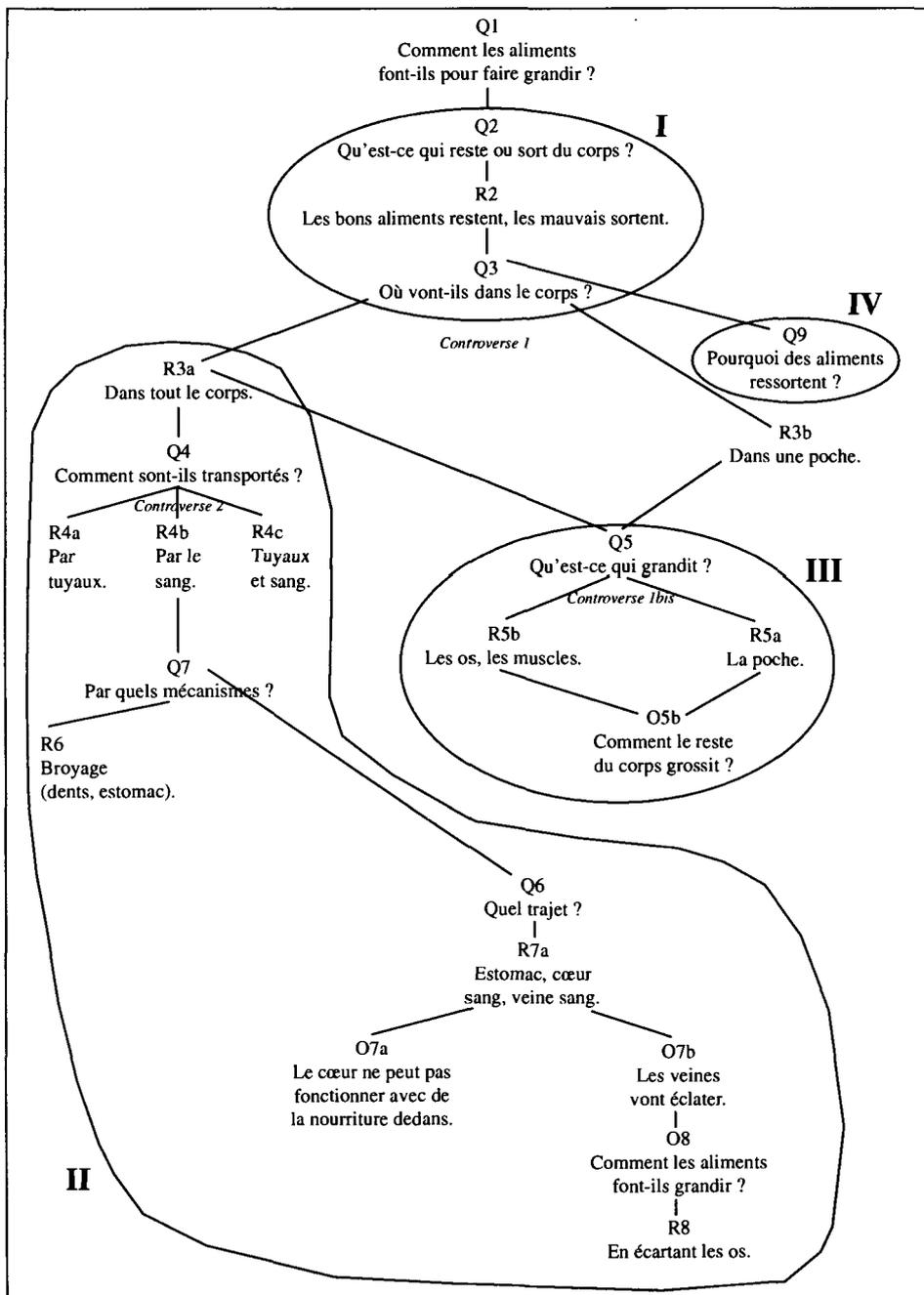
- Un développement (Q1....Q3)
- Un embranchement (A) R3a / R3b. C'est la controverse fondamentale (*Controverse 1*) de cette séquence entre : "Les aliments restent dans la poche." / "Il vont dans tout le corps."
- Développement de R3b "Ils vont dans la poche." Les réponses (R3a et R3b) donnent lieu à une inférence problématique (Q5 : "Qu'est-ce qui grandit ?") laquelle entraîne des réponses alternatives (R5b et R5a), suivies d'une objection. (*Controverse 1 Bis*)
- Développement de R3a. L'inférence problématique Q4 donne lieu à un embranchement à 3 réponses (R4a, R4b, R4c) (*Controverse 2*), lesquelles entraînent une ramification d'inférences problématiques (Q6, Q7) concernant les sous-problèmes mécaniques. D'où le nœud (R7a, O7a, O7b) concernant le passage des aliments dans le sang.
- On peut isoler quatre sous-espaces. Sous-espace (I) problème des entrées/sorties qui constitue du hors question que l'on peut formuler ainsi : "Il existe des bons et des mauvais aliments ; les mauvais aliments ressortent du corps ; les bons aliments restent dans le corps ; les aliments vont dans des boyaux." Sous-espace (II) problème de distribution des aliments dans tout le corps. Sous-espace (III) "Qu'est-ce qui grandit ?" Sous-espace (IV) questions périphériques. C'est le sous-espace (II) qui est naturellement le plus différencié et qui minimise (III).
- Sans chercher à schématiser exhaustivement l'espace-problème de l'enseignant, on peut remarquer que c'est le maître qui explicite les principaux sous-problèmes à partir des réponses fournies par les élèves (Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q7). Son action vise la compréhension des réponses par les autres élèves (si comprendre c'est remonter aux problèmes !). Le maître localise également les deux controverses en surévaluant la controverse n°1, sans doute pour conforter la classe dans une problématique de distribution.

2.4. Conclusions

De notre point de vue, l'élève ne peut donner sens aux connaissances scientifiques sur la question de la nutrition que s'il les produit (avec l'aide du maître et de ses pairs)

(14) Le "hors question" correspond à ce qui n'est pas remis en question dans le débat.

**Macro structure du débat
dans une classe de CE
(classe d'Isabelle Ménard)**



comme solutions d'une problématique de distribution. Construire un problème, pour l'élève, c'est donc participer à l'élaboration d'une carte mentale faite de questions/réponses ; comprendre ce qui, dans cette carte, relève de connexions nécessaires et ce qui, au contraire, ouvre des possibles entre lesquels il faut trancher. Pour l'enseignant, faire construire aux élèves une problématique de distribution relève de trois grandes fonctions. Fonction d'explicitation : l'enseignant aide les élèves à formuler leurs réponses, à questionner les réponses des autres élèves, fait apparaître l'unité de la problématique en travaillant le lien problème/solution. Fonction de prise de conscience : l'enseignant aide les élèves à repérer les grandes phases de la discussion, à identifier les nœuds du débat, les principales controverses, à constater enfin la progression ou le piétinement de ce débat. Enfin, fonction de "guidage" : l'enseignant opère comme un directeur de recherche qui signale les pistes intéressantes et qui – au besoin – déplace le questionnement des élèves en leur faisant admettre (grâce à des éléments "critiques" : documents, observations, expériences...) des nécessités, nouvelles pour eux, et leurs possibles correspondants.

Prendre au sérieux l'idée de problématisation, c'est s'obliger à décrire le processus par lequel s'instaure dans la classe un débat scientifique. Ce débat ne peut être formalisé que si l'on accepte de différencier la construction de l'espace-problème de son utilisation à des fins de résolution. Nous avons montré sur un exemple qu'il pouvait se décrire par un formalisme simple. Même sommaire, une telle description permet la localisation des différentes problématiques du débat et des controverses qui l'agitent. Elle donne ainsi des indications (15) sur l'espace-problème construit par les élèves.

3. VERS UNE TYPOLOGIE DES RUPTURES

différents processus
de problématisation

Dans l'exemple ci-dessus, la construction du problème par les élèves et donc leur représentation de l'espace-problème s'élaborent essentiellement dans un débat collectif guidé par le maître et s'appuyant sur des productions de groupes. Il ne s'agit pas d'une règle générale. D'autres études de cas, que nous ne pouvons pas détailler ici (voir : Orange C., Fabre M., 1996), montrent que les processus de problématisation peuvent prendre des formes assez différentes, le débat collectif ne suffisant pas à construire ou reconstruire le problème dans le "paradigme-objectif" (16). Bien entendu, derrière cette diversité apparente peut se cacher une unité

-
- (15) Aller plus loin nécessiterait une représentation de l'espace-problème indépendante des contingences du débat (c'est-à-dire une "carte" de cet espace-problème et non seulement un itinéraire d'exploration) ; nous y travaillons actuellement.
- (16) C'est-à-dire le paradigme auquel le maître tente de conduire la classe.

de fonctions didactiques. Mais il semble aujourd'hui nécessaire d'interroger la nature des ruptures et des obstacles en jeu dans ces différents dispositifs : le besoin de dessiner une typologie des ruptures apparaît de plus en plus clairement. L'étude des différents processus didactiques de construction des problèmes permet de placer les premiers repères d'une telle typologie.

3.1. Trois prototypes de dispositifs-problèmes en biologie-géologie

Nous décrivons rapidement trois dispositifs qui nous serviront de prototype, pour la phase qui va des premières productions explicatives des élèves à la reconstruction du problème dans le "paradigme-objectif". Ces descriptions relèvent d'une analyse *a posteriori* dans notre cadre conceptuel général en fonction de l'étude épistémologique des domaines concernés. Elles n'analysent pas les ruptures et les obstacles en jeu : ceci sera fait dans la section suivante.

• Cas n°1

Le premier de ces dispositifs est celui présenté ci-dessus (classe de CE2 sur la nutrition humaine). Nous en retenons, pour cette étude comparative, les éléments suivants.

problématisation
par débat

- Les élèves (groupes) ont produit des explications de fonctionnement différentes, dont certaines proches de celles visées par le maître ; mais aucune n'est complètement problématisée : il s'agit essentiellement d'opinions. Pour les uns, les aliments restent dans une poche, pour d'autres ils sont distribués par des tuyaux contenant uniquement de la nourriture (tuyaux nourriciers). Pour d'autres encore ils sont distribués par le sang.

- L'objectif retenu est de faire passer les élèves d'une conception sans distribution ou encore à distribution par tuyaux nourriciers, à une conception à distribution par voie sanguine ; on vise également une compréhension des raisons de la distribution (nécessités) et des possibles acceptables.

- Lors du débat, guidé par le maître, les élèves arrivent à comparer leurs productions, à argumenter, à mettre en doute des éléments de leurs explications ; les arguments échangés sont mécanistes.

- À l'issue du débat, la classe a construit une représentation du problème selon le nécessaire et les possibles (voir partie 2 de l'article).

• Cas n°2

Nous prenons comme second exemple un dispositif-problème sur le volcanisme des zones de subduction, mis en place en Première S (Orange D. et C., 1993 ; Orange C. et D., 1993). La question de départ est la suivante : "À partir de quoi et comment se forme le magma qui alimente les volcans des zones de subduction ?"

problématisation
par débat
et élément critique

- Les élèves ont initialement produit des explications de fonctionnement différentes ; aucune n'est proche de celle visée par le maître car elles expliquent toutes la fusion du magma par la seule température.

- L'objectif est de faire passer les élèves d'une explication s'appuyant uniquement sur la température, à une explication faisant intervenir plusieurs facteurs (température, pression totale, pression d'eau).

- Lors du débat, la classe se met d'accord, par argumentation, sur une explication commune qui ne correspond pas au savoir visé par le professeur : c'est l'échauffement par le frottement des deux plaques qui serait responsable de la fusion. L'enseignant doit alors apporter un élément critique pour déstabiliser cette conception commune. Ce sont des documents (isothermes et diagrammes de fusion) qui permettent aux élèves de mettre leur modèle à l'épreuve et de prendre conscience de sa non pertinence (le problème doit être reconstruit).

- Le professeur doit enfin apporter une aide pour la reconstruction du problème (texte de Claude Allègre (17)), les élèves n'étant pas capables par eux-mêmes d'inventer d'autres possibles et de penser les nécessités correspondantes.

• Cas n°3

Le dernier exemple est celui d'un travail sur la nutrition végétale en classe de Seconde : on demande aux élèves d'expliquer ce que doit prendre un plant de Maïs dans le milieu extérieur et ce qu'il doit en faire pour passer de l'état de plantule à l'état adulte (Orange C., 1994 ; Orange C., Fabre M., 1996 ; Orange C., 1997).

- Les élèves ont produit des explications initiales différentes. Certaines sont assez proches de celles recherchées par le maître, mais la majorité a une conception vitaliste naïve ou substantialiste : le maïs pousse, donc prend de la masse s'il se sent bien et/ou s'il est approvisionné en une substance "magique" qui le fait grandir (18).

problématisation
par discussion
et proposition
du maître

(17) Ce texte précise, en faisant référence à des expériences faites en laboratoire, les paramètres jouant sur la fusion des roches. (Allègre, 1987, p. 103).

(18) Il s'agit d'explications qui s'appuient essentiellement sur le fait que le végétal pousse "par nature" (vitalisme naïf) ou par action de quelque chose (substance, énergie...) qui a comme propriété d'aider cette croissance (substantialisme). Voici quelques exemples :
« Les sels minéraux et l'eau ça va dans la sève... La sève circule dans les nervures... Elle entretient, elle maintient la plantule en vie. »
Les engrais « c'est pour plusieurs choses ; c'est pour rendre le Maïs beau, comme il faut, et le protéger contre ce qui détruit le Maïs ».
« Les sels minéraux, c'est des vitamines, c'est pour donner de l'énergie. »

- Objectif : il s'agit de faire passer la majorité des élèves d'une conception vitaliste ou "magique" de la nutrition et de la croissance des végétaux à une conception en termes de flux de matière et de transformations chimiques.

- Lors du débat, la classe discute ; certains font évoluer leur point de vue, mais il n'y a pas argumentation et confrontation sur les points fondamentaux pour le problème à construire, ni caractérisation précise des points de vue différents, ni accord sur une explication commune.

- Le maître apporte des indications et des contraintes complémentaires (bilan quantitatif de matière, compositions élémentaires) pour conduire les élèves à un type d'explication ; mais il ne lui est pas possible de mettre véritablement en difficulté les explications des élèves ; il peut juste les guider vers une autre forme d'explication.

Ce ne sont que des exemples ! Ils correspondent cependant à des scénarios rendant compte de la plupart des cas étudiés et leurs principales différences ne peuvent être considérées comme une conséquence de choix arbitraires du maître, comme des possibles interchangeable. Plusieurs raisons à cela.

- Les analyses menées *a posteriori* ne donnent aucune solution pour ramener tous ces cas à un même scénario ; en particulier il ne semble pas possible, dans les cas 2 et 3, de faire construire la problématique visée par le seul débat à partir des productions initiales des élèves.

- Un certain nombre de régularités apparaissent. Les cas comme celui étudié plus haut (cas n°1, limité à un débat scientifique) sont particulièrement fréquents à l'école élémentaire et rares au lycée ; c'est l'inverse pour les deux autres cas.

- Les contraintes qui ont conduit le professeur à adopter tel ou tel dispositif semblent bien résider dans les rapports entre les connaissances initiales des élèves et les savoirs visés.

trois processus
de problématisation,
trois types
de ruptures ?

Nous proposons l'explication suivante : dans ces trois exemples, les ruptures que les élèves doivent effectuer sont de nature différente, ce qui explique le déroulement différent de la reconstruction du problème.

3.2. Trois types de ruptures ?

Nous allons tenter de définir, à partir de ces exemples, trois types de ruptures, en montrant les liens entre caractéristiques épistémologiques et processus didactiques. Nous considérons, pour simplifier, qu'une explication correspond à un raisonnement s'appuyant sur des intelligibles fondamentaux, c'est-à-dire des éléments qui vont de soi, à un moment donné pour un individu donné (éléments auto-explicatifs ; voir Toulmin St., 1973).

• **La rupture métaphysique**

changer
d'intelligibles
fondamentaux

Elle est illustrée par l'exemple n° 3 (nutrition des végétaux en Seconde). Les élèves doivent passer d'une explication de la croissance des végétaux par "qualités naturelles", quasi magique, à une explication mécaniste, au sens large (flux). La rupture à faire correspond à un véritable changement d'*épistémè* (Foucault M., 1966), de paradigme explicatif (Toulmin St., 1973) ou de cadre épistémique (Piaget J., Garcia R., 1983). Ce sont les intelligibles fondamentaux des élèves qu'il faut modifier.

Dans ce cas, les deux cadres explicatifs (celui de départ et celui visé) sont incommensurables, pour reprendre un expression de Th. Kuhn (1983, voir en particulier p. 204 ; voir aussi Toulmin St., 1973, p. 65) ; c'est-à-dire qu'il n'est pas possible aux tenants de l'un et de l'autre cadre, de mettre en concurrence leurs points de vue divergents dans un débat argumenté. On ne peut donc pas montrer simplement la supériorité de l'une des explications, ni par un appel à la raison, ni par un recours à des résultats empiriques : les conceptions des élèves sont aptes à répondre à toutes les objections. La plupart du temps cela se traduit, si on n'y prend garde, par un dialogue de sourd entre enseignant et élèves, chacun pensant comprendre ce que l'autre veut dire et l'interprétant à sa façon.

La représentation du problème à construire est totalement étrangère à la représentation spontanée des élèves. Au bout du compte, c'est un changement métaphysique sur ce que veut dire "expliquer" que les élèves doivent opérer : un changement des grandes règles du jeu scientifique. Les obstacles sont donc dans les conceptions qu'ont les élèves du monde et de ce qu'est une bonne explication.

Pour le maître, il ne s'agit pas de convaincre par des arguments ou des faits, mais, plus modestement, d'inviter à essayer autre chose. C'est à induire de tels essais que servent les informations complémentaires qu'il apporte. La rupture ne peut pas être immédiate. Elle se fera, éventuellement, par l'usage répété du nouveau cadre explicatif (19).

• **La rupture développementale
ou de raisonnement**

changer de forme
de raisonnement

Dans l'exemple n° 2 (volcanisme des zones de subduction en Première S), les élèves sont dès le départ sur des explications mécanistes. L'explication que l'on veut leur voir adopter ne relève pas d'une autre *épistémè*, d'une autre grande idée de ce que veut dire expliquer ou, si l'on préfère, d'intelligibles fondamentaux différents. Mais ils doivent com-

(19) On doit admettre qu'il s'agit bien ici "d'imposer" une certaine culture scientifique sans autre raison que de conduire l'élève à la culture scientifique actuelle. Aller plus loin nécessiterait de travailler avec la classe sur l'histoire des idées.

prendre et accepter un autre raisonnement, plus complexe (plusieurs variables) et moins commun que leur raisonnement spontané (fusion/température). Ils ont pour cela à construire de nouvelles structures mentales ; l'enjeu est développemental.

Du point de vue de la représentation du problème à construire, il s'agit d'étendre l'espace-problème initial en reconstruisant sa structure et en modifiant certaines contraintes. Les obstacles sont dans les formes de raisonnement spontanées et dans le fait que ces raisonnements sont employés quotidiennement et efficacement par les élèves.

Les ruptures développementales se traduisent didactiquement par deux caractéristiques. On peut faire prendre conscience aux élèves des limites de leur conception ; cela tient à ce que, l'*épistémè* restant la même, ou, si l'on préfère, les deux paradigmes étant commensurables, les élèves sont à peu près d'accord dès le départ avec l'enseignant sur ce qu'est une explication acceptable. Mais ils ne peuvent trouver par eux-mêmes et rapidement la forme de raisonnement à laquelle on veut les conduire car le saut théorique est important : il faut les aider en leur proposant des pistes, une fois que la nécessité de changer d'explication leur apparaît.

• La rupture "simple"

Dans le premier exemple (nutrition humaine au CE), explication de départ et explication visée sont, comme dans la catégorie précédente, du même type, mécaniste (20). Mais ici les raisonnements en concurrence sont, l'un et l'autre, simples, linéaires (raisonnements mécanistes simples). Il s'agit pour les élèves d'élargir le champ des possibles et de conscientiser les nécessités constitutives du problème. La rupture à faire est donc essentiellement entre opinions et savoir scientifique problématisé ; ce n'est pas rien, puisqu'il s'agit là d'une rupture fondamentale selon Bachelard ! (21) Des obstacles existent qui sont liés aux objets étudiés, à leur charge affective, technique ou symbolique, et aux conceptions épistémologiques des élèves (qu'est-ce qu'un savoir en science ?).

identifier les
nécessités et
élargir le champ
des possibles

(20) La principale raison pour affirmer que les élèves sont tous, dès le départ, dans des explications mécanistes tient dans les arguments qui sont échangés lors du débat : ils sont de nature mécaniste (changement de taille, trajet d'aliments, modification physique de ces aliments), ce qui n'est aucunement le cas lors d'un travail sur une "rupture métaphysique".

(21) Dans les autres types de ruptures, il s'agit généralement aussi d'une rupture "fondamentale" entre opinion et savoir scientifique. Mais elles présentent, en plus, une autre forme de difficultés (conversion ou mode de raisonnement). C'est en ce sens qu'on utilise ici le terme de "rupture simple", faute de ne pas en avoir trouvé de plus pertinent. Mais cette rupture "simple" n'est pas, à cause des obstacles associés, nécessairement facile à effectuer.

Dans le cas de ces ruptures "simples", on peut s'attendre à trouver, dans les différentes conceptions des élèves de la classe, une certaine variété d'explications et d'arguments qui vont enrichir le débat dans le sens souhaité par le maître car ils sont sur le même plan que ce qu'il vise. Ceci explique que la problématisation puisse se faire en grande partie dans un débat, organisé et régulé par l'enseignant. La fréquence de ce type de fonctionnement à l'école primaire pourrait s'expliquer par une contrainte moins forte qu'au collège et au lycée sur les savoirs à atteindre.

3.4. Conclusions

Cette première tentative de typologie des ruptures a pour unique intention de faire avancer la discussion dans ce qui nous paraît de plus en plus une nécessité : clarifier les différents changements conceptuels que les élèves doivent mener et leurs liens avec la reconstruction de problème. Il est vraisemblable que les types proposés, qui ne sont pas nécessairement exhaustifs, sont davantage des pôles que des catégories, une rupture réelle donnée pouvant être une combinaison de ces différents types. Il faudrait, pour aller plus loin, dresser par domaine un panorama des ruptures à effectuer tout au long de la scolarité ; voir aussi comment articuler le travail sur ces ruptures et sur les obstacles correspondants.

On ne doit pas déduire hâtivement de cette typologie qu'elle représente une échelle de difficulté des ruptures. Dans la mesure où le maître peut proposer aux élèves des aides leur évitant des inventions qui, historiquement, ont pris un temps important et de nombreux détours, il n'est pas sûr que la difficulté d'une rupture ou l'importance des obstacles associés puisse uniquement se ramener à ces critères épistémologiques. Entre en compte tout un ensemble de charges symboliques sur les objets et les phénomènes étudiés, qui peut s'avérer plus important dans une rupture dite simple, que dans une rupture développementale, par exemple.

Quant aux ruptures métaphysiques, on peut se demander si elles relèvent d'un traitement didactique de type situation-problème, cherchant à provoquer la remise en cause des représentations (voir Astolfi J.-P., 1994 et Astolfi J.-P., Peterfalvi B., 1993) : la fissuration n'est pas directement possible et la conversion relève autant d'une prise d'habitude intellectuelle que d'une prise de conscience.

Enfin rappelons que, selon nous, les apprentissages scientifiques ne se limitent pas aux ruptures ; il est nécessaire de développer les apprentissages normaux (Orange C. et D., 1993), à l'intérieur du paradigme de la classe, lorsque celui-ci est constitué.

CONCLUSIONS

- **De la résolution de problèmes à la problématisation**

La prise en compte du changement conceptuel en didactique des sciences nous paraît – pour des raisons qui relèvent à la fois des caractéristiques épistémologiques des savoirs scientifiques et des conditions psychologiques du franchissement d'obstacles – exiger des dispositifs d'aide à la problématisation et non pas seulement de résolution des problèmes. Pour nous, l'élève ne peut donner sens aux connaissances scientifiques qu'en les appréhendant comme solutions possibles de problématiques élaborées en classe.

- **Le concept de construction d'espace-problème**

Le concept de construction d'espace-problème nous paraît un outil formel théoriquement et méthodologiquement intéressant pour l'étude et la régulation didactique des débats scientifiques en classe.

Une voie de recherche féconde consisterait à élaborer et à confronter, à propos de savoirs précis (comme la nutrition animale ou végétale, le volcanisme...) les différents espaces-problèmes : points de vue d'experts (les problématiques du scientifique, du didacticien, de l'enseignant) ou de novices (les problématiques obtenues en classe). À quoi pourraient servir de tels outils ? Ils permettraient d'abord d'anticiper le débat scientifique : de prévoir les passages obligés de la construction du problème, les questions qu'il faut nécessairement que les élèves se posent, les réponses possibles. Muni de telles cartes, l'enseignant pourrait espérer mieux réguler le débat scientifique. Enfin, l'analyse *a posteriori* devrait permettre de comparer l'espace-problème anticipé et l'espace-problème réellement construit par la classe ou tel élève. Dans l'agenda de l'enseignant, ces outils pourraient fonctionner – à côté des grilles d'analyse des représentations premières – comme des schémas d'anticipation et de régulation didactiques.

- **Vers une typologie des ruptures**

Si la construction des problèmes peut toujours se décrire dans un espace-problème, elle s'opère cependant de manière différente selon le type de changement conceptuel en jeu. Nous proposons ainsi de distinguer trois types de ruptures. Dans sa forme "simple", la rupture a lieu entre savoir privé, non problématisé, et savoir scientifique. La rupture développementale ou de raisonnement caractérise un changement de type de raisonnement qui exige lui-même l'adoption de nouvelles structures mentales. Enfin la rupture métaphysique intervient entre deux systèmes explicatifs incommensurables, comme par exemple pensée magique et pensée mécanique. Ces trois types de ruptures, aux

caractéristiques épistémologiques bien repérables, n'engagent pas les mêmes processus de changements conceptuels et exigent certainement des traitements didactiques différents.

Michel FABRE,
Université de Nantes,
CREN.
Christian ORANGE,
IUFM des Pays de la Loire (Nantes),
CREN.

BIBLIOGRAPHIE

ALLÈGRE Claude, *Les fureurs de la Terre*, Paris, Odile Jacob, 1987.

ASTOLFI Jean-Pierre, "Situation-problème" in *Dictionnaire encyclopédique de l'éducation et de la formation*, Paris, Nathan, 1994.

ASTOLFI Jean-Pierre, PETERFALVI Brigitte, "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", *Aster*, 1993, 16, pp. 103-140.

BACHELARD Gaston, *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin, 1986 (1938).

CANGUILHEM Georges, "Vie" in *Encyclopædia Universalis*, Paris, 1975.

FABRE Michel, *Bachelard éducateur*, Paris, PUF, 1995.

FABRE Michel, "De la résolution de problèmes à la problématisation, "DIDACTIQUE IV", Statut et fonction du problème dans l'enseignement des sciences", *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, 4-5/1993.

FOUCAULT Michel, *Les mots et les choses*, Paris, Gallimard, 1966.

GRIZE, Jean-Blaise, *Logique et langage*, Ophrys, 1990.

JACOB François, *Le jeu des possibles*, Paris, Fayard, 1980

JOHSUA Samuel, DUPIN Jean-Jacques, *Introduction à la didactique des sciences*, Paris, PUF, 1993.

JOHSUA Samuel, DUPIN Jean-Jacques, *Représentations et modélisations, le "débat scientifique" dans la classe...*, Berne, Peter Lang, 1989.

KUHN Thomas, *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1983.

MEYER Michel, *De la problématologie, Philosophie, science et langage*, Bruxelles, Mardaga, 1986.

MEYER Michel, *Découverte et justification en science*, Paris, Klincksieck, 1979.

ORANGE Christian, FABRE Michel (coord.), *Rapport de recherche du GFR, Place du problème dans l'enseignement et l'apprentissage de la biologie-géologie*, MAFPEN et IUFM de l'académie de Caen, 1996 (rapport interne IUFM, MAFPEN, CERSE).

ORANGE Christian, ORANGE Denise, "Problèmes de ruptures, problèmes normaux et apprentissage en biologie-géologie", *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, Caen, 1993, 4-5, pp. 51-69.

ORANGE Christian, *Problèmes et modélisation en biologie*, Paris, PUF, 1997.

ORANGE Christian, *Intérêt de la modélisation pour la définition de savoirs opérants en biologie-géologie*, Thèse de doctorat, Paris 7, 1994.

ORANGE Denise, ORANGE Christian, "La mise en œuvre d'une situation-problème en géologie", *Biologie-géologie* (bulletin APBG), 1993, 3, pp. 547-555.

PIAGET Jean, GARCIA Rolando, *Psychogenèse et histoire des sciences*, Paris, Flammarion, 1983.

POLYA George, *Comment poser et résoudre un problème ?* Paris, Éditions Jacques Gabay, 1965.

POPPER Karl, *Conjectures et réfutations*, Paris, Payot, 1985.

POSNER George *et al.*, "Accommodation of a scientific conception : toward a theory of conceptual change", *Science Education*, 1982, 66 (2), pp. 211-227.

RICHARD Jean-François, *Les activités mentales*, Paris, Armand Colin, 1990.

TOULMIN Stephen, *L'explication scientifique*, Paris, Armand Colin, 1973 (1961).

LE JEU DES RÉSISTORS : UNE SITUATION VISANT À ÉBRANLER DES OBSTACLES ÉPISTÉMOLOGIQUES EN ÉLECTROCINÉTIQUE

Guy Robardet

Nous présentons ici une recherche en cours dont nous donnons les premiers résultats. Elle concerne l'introduction de l'électrocinétique avec des élèves de collège ou de lycée. L'objectif de ce travail est d'amener les élèves à comprendre qu'un circuit électrique fonctionne comme un système complexe dans lequel tous les composants sont en interaction et, qu'en particulier, l'intensité du courant dans la branche du générateur ne dépend pas seulement des caractéristiques de celui-ci mais aussi de celles des récepteurs et de la façon dont ils sont montés dans le circuit. Il s'agit ici de tenter d'ébranler les principales conceptions des élèves relatives au courant électrique qui ont été bien étudiées en didactique de la physique et qui sont susceptibles de s'ériger en obstacles épistémologiques puissants dans ce domaine de la physique. Le dispositif d'enseignement expérimenté ici fait largement appel à la théorie des situations élaborée par Brousseau dans l'enseignement des mathématiques et à la modélisation.

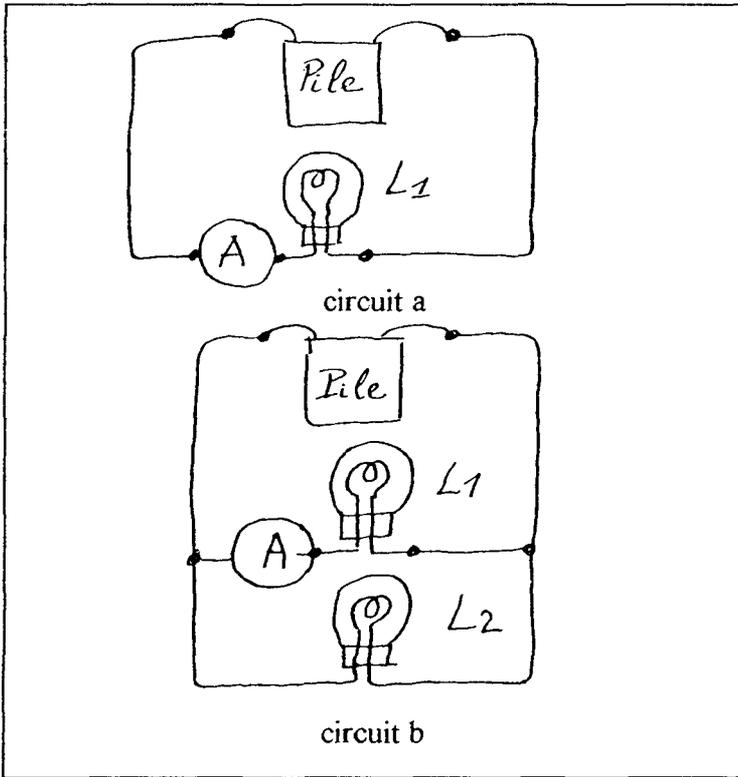
Nous présentons ici un travail qui concerne l'introduction de l'électrocinétique avec des élèves de collège ou de lycée. L'objectif de celui-ci est d'amener les élèves à comprendre qu'un circuit électrique fonctionne comme un système complexe dans lequel tous les composants sont en interaction et, qu'en particulier, l'intensité du courant dans la branche du générateur ne dépend pas seulement des caractéristiques de celui-ci mais aussi de celles des récepteurs et de la façon dont ils sont montés dans le circuit. Ce faisant, il s'agit ici de tenter d'ébranler les principales conceptions des élèves relatives au courant électrique qui ont été bien étudiées en didactique de la physique et qui sont susceptibles de s'ériger en obstacles épistémologiques puissants dans ce domaine de la physique.

1. EN QUOI CONSISTENT LES OBSTACLES AUXQUELS NOUS NOUS SOMMES ATTAQUÉS ?

Quelques exemples d'erreurs, parmi beaucoup d'autres, nous permettront de mieux comprendre en quoi consistent ces conceptions et en quoi elles font obstacle à la construc-

tion du savoir. On a demandé à des élèves d'une classe de seconde de lycée de résoudre l'exercice suivant.

Dans le circuit a, représenté ci-dessous, l'ampèremètre indique une intensité de 100 mA. On monte alors une deuxième lampe identique à la première selon le circuit b. Quel est l'ordre de grandeur de l'indication alors fournie par l'ampèremètre ?



des erreurs
qui ne sont pas
le fait du hasard...

À cette question, 27 des élèves interrogés répondent de manière erronée que l'intensité vaut alors 50 mA, et 8 seulement donnent la réponse correcte, à savoir que l'indication de l'ampèremètre reste voisine de 100 mA.

Voici, à titre d'exemple, quelques explications données par les premiers :

"L'intensité se partage entre les deux branches. Comme L1 et L2 sont identiques, l'intensité va se partager en deux."

"L1 ne reçoit qu'une partie de l'intensité alors qu'avant elle recevait la totalité."

"50 mA : c'est la loi des nœuds."

"L'ampèremètre va afficher 50 mA car il y a un nœud et le courant se divise en deux."

Ces erreurs ne sont pas accidentelles mais résultent d'un raisonnement défectueux. Pour ces élèves, la cause du courant dans le circuit est la pile. Puisque la modification du circuit ne concerne pas cette dernière, elle continuera à fournir toujours le même courant d'intensité 100 mA qui se partagera dans les deux lampes en deux courants de 50 mA. Cette conception dite "du générateur à courant constant" a été étudiée par Johsua et Dupin qui soulignent sa pertinence pour aborder une large classe de problèmes : "La représentation "à débit constant" est parfaitement efficace dans l'analyse d'un circuit pris en tant que tel puisque toutes les grandeurs y sont stationnaires (y compris donc le courant délivré par la pile). Or ceci représente la très grande majorité des problèmes proposés aux élèves." (Johsua & Dupin, 1989).

... qui révèlent
des conceptions
et des modes
de raisonnement...

Autre exemple, lors d'un stage de formation à la construction de montages électroniques destiné à de futurs enseignants de technologie de collège, nous avons remarqué que ces derniers protégeaient les diodes qu'ils montaient en leur associant une résistance en série qu'ils plaçaient systématiquement à l'entrée de la diode. À notre question de savoir pourquoi ils ne la montaient pas, par exemple, à la sortie, plusieurs d'entre eux firent preuve à notre égard d'une sorte de doute concernant nos connaissances en électricité : puisque la résistance sert à protéger la diode à quoi bon la monter à la sortie de celle-ci ? "Si la diode est montée avant, elle reçoit tout le courant et elle claque". Manifestement, dans l'esprit de ces derniers, le rôle de la résistance était, en quelque sorte, d'absorber un trop plein de courant pour ne laisser à la diode montée derrière que ce qui lui était nécessaire. "La résistance c'est comme un bouclier ; si on ne la met pas devant elle ne sert à rien." Ce dernier exemple illustre bien les difficultés rencontrées dans l'enseignement de l'électrocinétique avec le concept de conservation de l'électricité, concept qui heurte la conception profondément enracinée selon laquelle le courant s'affaiblit en traversant les récepteurs du circuit. Closset (1989) a bien étudié cette conception toujours présente chez la majorité des élèves de l'enseignement secondaire qu'il a interrogés. Il cite, à ce sujet le dialogue suivant.

Élève : "Je suppose que les électrons possèdent en eux une force qui est capable de faire de la lumière (dans une lampe). Si ici (une borne de la pile) il y a un débit de 10000 électrons par seconde, là (l'autre borne) il n'en revient peut-être que 9000."

Question : "Et les autres où sont-ils passés ?"

Élève : "Ils sont devenus de l'énergie... ils ne sont plus des électrons."

...susceptibles
de s'ériger
en obstacles
épistémologiques...

Les recherches en didactique des sciences physiques ont montré que ces conceptions largement présentes chez les élèves et les étudiants étaient susceptibles de s'ériger en obstacles épistémologiques vis-à-vis du modèle canonique

de l'électrocinétique qu'il s'agit d'enseigner. Deux raisons au moins permettent d'expliquer ce caractère d'obstacle.

... en raison
de leur
pertinence...

La première tient à la pertinence de ces conceptions et à leur simplicité pour interpréter les phénomènes de la vie quotidienne : lorsqu'une pile alimente une lampe, il y a quelque chose qui s'use ; chacun sait qu'il faudra bien un jour changer la pile. Pour l'élève, ce qui s'use ne peut être que le "courant" ainsi, pour lui, à la sortie de la lampe ou bien il y a moins de charges ou bien elles vont moins vite. On voit bien que, mise en concurrence avec le modèle enseigné qui ne peut rendre compte du phénomène qu'au prix d'une distinction entre les notions d'intensité, d'énergie et de potentiel, la conception est bien plus économique.

La seconde raison concerne le raisonnement sur lequel se structurent ces conceptions. Il contient, en effet, les principaux ingrédients du *raisonnement naturel* de sens commun tel que le décrit Viennot (1996). En premier lieu, il privilégie la causalité linéaire sur le raisonnement systémique qui devrait prévaloir ici. Le recours à cette structure logique particulièrement simple lui donne l'apparence de l'exactitude (le générateur est le responsable du courant ; si on ne change pas le générateur, alors il n'y a pas de modification de l'intensité. Une lampe consomme du courant ; il y en a donc moins à la sortie qu'à l'entrée). En second lieu, il est fréquemment séquentialisé dans le temps en s'appuyant sur l'idée d'un objet (ici le courant) à propos duquel les événements considérés sont présentés comme successifs : le courant sort du générateur, puis arrive à la première lampe qu'il traverse, il parvient ensuite à la lampe suivante etc. avant de retourner dans le générateur. Des phénomènes que la physique considère comme concomitants sont, à tort, interprétés en terme d'histoire et inscrits dans le temps : le courant part à l'aventure dans le circuit et en cours de route il lui arrive des choses. Ce type de raisonnement naturel, qualifié de *séquentiel* a été étudié par Closset (1983) en électricité. En troisième lieu, il procède par "*réduction fonctionnelle*" (Viennot, 1996) ce qui signifie que, alors que la physique interprète un phénomène au moyen de plusieurs grandeurs variant simultanément, la tendance est de n'en considérer qu'une seule à la fois ou d'en confondre plusieurs. Ici les variables du modèle canonique sont l'intensité, le potentiel et l'énergie alors que les élèves raisonnent avec une seule grandeur, pas toujours très bien définie, qu'ils appellent "*le courant*".

... et de leur
caractère
économique

La pertinence apparente des explications données et les économies effectuées au niveau du raisonnement utilisé spontanément par les élèves sont très certainement responsables de la constitution de ces conceptions en obstacles épistémologiques. Ce sont ces obstacles qu'il s'agit de dépasser comme le soulignent Johsua et Dupin : "*La difficulté de l'entreprise doit se comprendre au regard de l'efficacité relative de ce "sens commun" puisque, après tout, ce sont bien les*

schèmes qui lui sont liés qui permettent à tout un chacun de se mouvoir et d'agir sur les objets de la vie quotidienne. Alors que d'un autre côté, les problèmes scientifiques sont des problèmes rares, au sens qu'il est rare de les trouver sous une forme adéquate dans la vie quotidienne. [...] On trouve donc d'un côté les conceptions et modes de raisonnement anciens et bien ancrés, parfois bien adaptés à la très grande majorité des situations de la vie courante ; de l'autre des savoirs plus techniques, exigeant parfois une rupture conséquente avec le sens commun, en vue de traiter des problèmes paraissant un peu spéciaux. La partie est inégale et appelle, pour être gagnée, fut-ce en partie, des stratégies didactiques fort particulières." (Johsua et Dupin, 1993, p.133)

2. QUELLES SONT LES IDÉES DIRECTRICES QUI FONDENT LA STRATÉGIE QUE NOUS AVONS ADOPTÉE ?

L'objectif de notre recherche a donc consisté à prendre en compte les conceptions et modes de raisonnement relatifs à l'électrocinétique décrits précédemment et à construire un dispositif d'enseignement destiné à les mettre en difficulté. Les idées directrices auxquelles nous nous sommes référés ont été les suivantes : l'intensité du courant fourni par le générateur dépend aussi du reste du circuit ; le courant assure la transmission de l'énergie du générateur vers les récepteurs mais le courant et l'énergie doivent être distingués.

Pour construire ce dispositif d'enseignement, nous nous sommes appuyés sur un modèle interactionniste d'apprentissage de type piagétien selon lequel le sujet apprend en s'adaptant à un milieu suivant le double processus d'assimilation-accommodation. Pour cela nous nous sommes fortement inspirés des travaux de Guy Brousseau relatifs à la notion de situation "a-didactique" en mathématiques (Brousseau, 1986). Cet auteur caractérise une telle situation par la nature des interactions, relatives à un savoir donné, qui relie l'élève, le milieu et l'enseignant. Comme nous allons le voir par la suite, ici l'élève modifie son rapport au savoir en construisant ses connaissances comme réponses aux exigences du milieu (et non au désir de l'enseignant). Le milieu, à la fois générateur de sens vis-à-vis du savoir en jeu et producteur d'un système de contraintes qui conditionnent le fonctionnement de la connaissance, rétroagit sur l'élève en termes de sanction positive ou négative à son action et contribue ainsi fortement à la validation des connaissances. Le rôle de l'enseignant consiste tout d'abord à construire et à organiser le milieu par contextualisation du savoir en jeu afin de produire sur l'élève les effets attendus. Dans ce but, l'enseignant délègue à l'élève et lui fait

une situation où l'élève répond aux exigences du milieu...

... qui rétroagit sur l'élève

accepter la responsabilité de la situation d'apprentissage. Ce processus de transfert de responsabilité qui conditionne le fonctionnement "a-didactique" de la situation est qualifié par Brousseau de "dévolution". Ce n'est qu'ensuite que l'enseignant transformera, avec les élèves, les connaissances construites par eux en savoir dans une phase qualifiée d'"institutionnalisation" (Brousseau, 1988). Nous reviendrons sur l'étude de ces caractères dans l'analyse de nos résultats. Il nous faut, auparavant présenter le dispositif d'enseignement que nous avons élaboré.

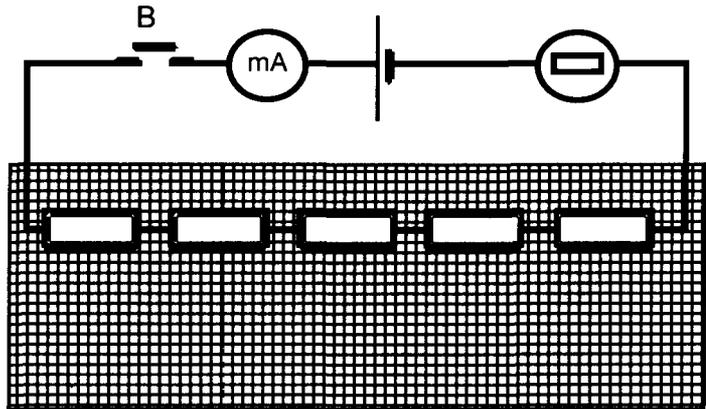
3. LE DISPOSITIF D'ENSEIGNEMENT : LE JEU DES RÉSISTORS

La situation fondamentale autour de laquelle s'articulent les différentes phases de l'enseignement consiste en un jeu qui, au départ, se joue à deux joueurs. Il utilise un matériel constitué par une plaque de connexions sur laquelle peuvent être branchées de toutes les façons possibles au maximum cinq résistances identiques. Cette plaque est montée dans le circuit, représenté ci-dessous, en série avec une alimentation de tension, un milliampèremètre numérique un bouton poussoir et une lampe à incandescence.

le jeu
des résistors :
un dispositif visant
l'apprentissage
par adaptation
à une situation

3.1. Règles du jeu

Le but du jeu est de marquer des points contre l'adversaire en modifiant le nombre et/ou la disposition des résistors sur la plaque de manière à augmenter la valeur affichée sur l'écran du milliampèremètre. Toute action sur le générateur ou sur les autres éléments du circuit est interdite.



Il n'est pas nécessaire que tous les résistors soient montés dans le circuit, mais tous ceux qui le sont doivent être parcourus par un courant. Toutes les associations de résistors

but du jeu :
augmenter
la valeur
indiquée par le
milliampèremètre

(en série, en parallèle ou mixtes...) sont autorisées. Les modifications doivent être effectuées sans appuyer sur le bouton poussoir B : celui qui joue modifie le circuit en montant sur la plaque les résistors comme il l'entend puis il établit le passage du courant en appuyant sur le bouton B. Le joueur dispose pour cela d'une minute. Passé ce délai, il doit céder la place à son concurrent. On ne peut procéder par essais et erreurs. Chaque coup compte. On n'a pas le droit de prendre des notes pendant le jeu. Chaque modification doit être réalisée en vue d'obtenir une augmentation de la valeur indiquée par le milliampèremètre. Si celle-ci se produit, le joueur marque un point et continue. Si, au contraire, la valeur affichée diminue, le joueur cède la place à son concurrent : les étapes faisant l'accord des deux joueurs sont alors comptabilisées au bénéfice de ce dernier qui reprend le jeu au niveau de l'étape litigieuse. En cas de désaccord total, les cinq résistors sont replacés dans leur position initiale (voir figure) et le jeu est repris au début. On joue en temps limité : 30 minutes. Celui qui a gagné est celui qui a réussi à marquer le plus de points sans céder sa place.

3.2. Déroulement du jeu

Le jeu se déroule pendant deux heures au cours de la première séance de travaux pratiques consacrée à l'électrocinétique. Il comporte cinq phases.

- **Phase 1 (action) 30 minutes**

Les élèves jouent par deux l'un contre l'autre pendant trente minutes selon les règles précédentes. Celui qui joue agit sous le contrôle de l'autre (respect des règles).

- **Phase 2 (formulation) 30 minutes**

La classe est divisée en équipes de quatre à six élèves qui jouent les unes contre les autres. Les membres de chaque équipe se concertent afin de rechercher la meilleure stratégie. Pendant cette phase les élèves ont le droit de prendre des notes mais pas de manipuler sur le circuit. Chaque équipe élabore sur une grande feuille de papier la stratégie qu'elle estime gagnante sous la forme des schémas successifs d'associations de résistors. Aucun contrôle expérimental n'est accepté lors de cette phase. Les équipes affichent ensuite les stratégies qu'elles ont élaborées.

- **Phase 3 (validation) 20 minutes**

Chaque affiche est examinée par les autres équipes. Chaque étape proposée est alors acceptée comme vraie ou rejetée comme fausse. À ce stade, des contrôles expérimentaux sont autorisés pour trancher entre les différents points de vue. À l'issue de ce travail, les erreurs étant identifiées pour chaque affiche, on calcule les points marqués par chacune de équipes en comptant pour un point chaque étape accep-

le jeu se déroule
en 5 phases

tée et en déduisant du total un point par erreur identifiée. L'équipe gagnante est celle qui marque le plus de points.

- **Phase 4 (formulation) 20 minutes**

Il s'agit ici d'apprendre à gagner. Dans ce but, les équipes doivent élaborer des règles empiriques permettant de rendre compte des variations de l'intensité dans la branche du générateur en fonction des modifications apportées aux associations de résistors. Lorsque, dans chaque équipe, il y a accord sur les règles empiriques, celles-ci sont écrites et affichées.

- **Phase 5 (validation) 20 minutes**

Un membre de chaque équipe présente les règles élaborées à la classe et en justifie oralement la validité en s'appuyant sur les stratégies gagnantes mises au point dans les phases précédentes. Un débat, portant sur l'ensemble des productions, permet d'élaborer la formulation qui sera retenue, chaque règle est écrite sous le contrôle critique des équipes concurrentes.

4. PREMIERS RÉSULTATS

Le protocole ci-dessus a été proposé et étudié à quatre reprises : deux fois en classe de Troisième de collège (niveau 9) et deux fois en Seconde de lycée (niveau 10). Dans chaque cas, le jeu a été proposé au deuxième semestre et n'a été précédé d'aucun enseignement d'électricité pendant l'année. Le recueil des données a été effectué par enregistrement vidéo des élèves et des groupes pendant les séances. Les productions des élèves et des équipes ont également été utilisées. L'examen des bandes semble permettre dès à présent une première analyse du processus d'appropriation du jeu par les élèves et de leur implication. Il témoigne de plus, avec les productions des groupes, de la nature et du niveau des connaissances construites.

4.1. Étude du fonctionnement des différentes phases du jeu

Toutes les phases se sont toujours déroulées comme prévu : le souci de gagner, l'esprit de compétition entre les individus (phase 1) et entre les équipes (phases 2 et 3) ont créé un enjeu important qui semble avoir très fortement mobilisé les élèves autour des tâches qui leur ont été proposées. Le contrat entre les élèves n'est plus de type coopératif mais compétitif ainsi qu'en témoignent, à titre d'exemple, les extraits suivants :

Véronique : *Plus que cinq secondes... il te reste une seconde ... Allez stop !...*

un contrat
entre les élèves
plus compétitif
que coopératif...

Olivier : *Vas-y branche !... branche !... 77..., c'est pas vrai ! Ben, tu m'as dépassé...*

Les phases de formulation et de validation ont, en particulier, montré le très grand investissement des élèves dans le processus de construction des connaissances. L'extrait suivant, pris lors de la phase 2 alors que les équipes doivent élaborer sur papier une stratégie gagnante, rend bien compte de ce phénomène.

Marie : *Il faudrait trouver des trucs mixtes...*

Philippe : *Je crois qu'il y a un truc avec deux en dérivation... Logiquement...*

... et des situations qui témoignent du très grand investissement de ceux-ci

Marie : *... .. Eh bien voilà ! Quand on n'en met qu'une là comme ça, ça fait en série... donc... la boucle... y en aura deux et ce sera juste après...*

Alain : *Regarde, là t'en a trois en série, t'en remets une en dérivation ici...*

Magali : *Ouais, ici voilà... Ça y est, j'ai compris... Donc là on passe à un autre truc donc là il faudrait deux en dérivation.*

Alain : *Non en série.*

Magali : *En dérivation... Parce qu'autrement ça fait comme avant... Et puis les deux dernières, après, en série...*

L'enseignant s'est toujours trouvé très peu sollicité et lorsqu'il l'a été, ce fut pour arbitrer des conflits de points de vue relatifs au respect des règles et non pour assister des élèves en difficulté par rapport à la tâche.

Pierre : *Madame, venez voir, j'ai fait tout à l'heure 117 et maintenant je fais 112 avec le même branchement.*

Maxime : *Mais non ! C'est pas vrai Madame, il fait 112, ça fait moins !*

le milieu sanctionne les anticipations

Le recours au milieu constitué par le montage électrique a été systématique, notamment lors des phases 1 et 3, pour trancher et donc valider les propositions élaborées par anticipation. L'exemple ci-dessous concerne une vérification qui pose problème parce qu'elle donne le même résultat pour deux montages apparemment différents mais en réalité équivalents. Les élèves n'avaient pas prévu ce phénomène.

Pierre : *Attends, attends !... (il vérifie le montage)*

Marie : *(elle appuie sur le bouton)... 29,3*

Pierre : *(reprend l'autre montage)... 29,4... 29,3... Eh ça marche pas, c'est pareil !...*

Maxime : *Ça marche pas, c'est les deux mêmes...*

Marie : *C'est pas possible ! ?...*

4.2. Étude des connaissances construites

Remarquons tout d'abord que les règles du jeu ont été élaborées en vue de favoriser chez les élèves les changements conceptuels attendus. Toute l'activité repose en effet sur la recherche d'une modification de l'intensité du courant dans la branche du générateur, obtenue uniquement en agissant sur le nombre et le montage des récepteurs, alors que le générateur n'est pas modifié. Ainsi tout concourt à ce que les élèves admettent que l'intensité n'est pas seulement la

un jeu qui vise
le changement
conceptuel et
l'ébranlement
des obstacles

conséquence des caractéristiques du générateur mais qu'elle dépend en fait de la composition et de la structure du circuit tout entier. De plus, la nécessité de prévoir l'évolution de l'intensité tout au long du jeu les oblige à recourir à des raisonnements complexes qui préfigurent ceux qui interviendront ultérieurement lorsque, munis du modèle canonique, ils devront résoudre un problème de circuit.

Au départ, la construction des connaissances est fortement liée au désir de gagner comme en témoignent les extraits donnés précédemment. Dans ce cadre la connaissance, associée au contexte du jeu est d'abord construite par les élèves en tant que meilleure stratégie pour battre son adversaire. C'est ainsi que les enseignants expérimentateurs nous ont signalé, à plusieurs reprises, que des élèves revenaient spontanément la semaine suivante avec des propositions souvent très élaborées de stratégies gagnantes dont certaines comportaient plus de 20 étapes classées correctement. Les règles empiriques élaborées et discutées lors des phases 4 et 5 attestent d'un haut niveau d'exigence cognitive de la part des élèves ainsi que nous pouvons le constater dans l'exemple suivant qui concerne le débat de la phase 5.

Laeticia (qui présente à la classe la production de son équipe) : *La série diminue d'intensité, le montage en parallèle augmente l'intensité. En série, plus il y a de résistors, plus l'intensité diminue, en parallèle, plus il y a de résistors plus l'intensité augmente.*

Laurent : *Madame, est-ce que je pourrais dire ceci ? Heu... Quand on a un circuit en dérivation... si, on rajoute des résistors en série, l'intensité diminue.*

(Une voix) : *Ça dépend du nombre de résistors...*

Magali : *Ça dépend, ... ça dépend par rapport à quoi on part.*

Marie : *Oui mais par rapport à un montage donné, si on en met en série, ça va diminuer...*

Au cours de la séance, le statut de la connaissance a évolué, l'outil élaboré initialement dans le contexte du jeu comme stratégie gagnante a pris dans les phases 4 et 5 un caractère plus général. Le rôle de l'enseignant consistera ensuite à finir de décontextualiser cet outil au cours d'une phase d'institutionnalisation.

5. PROCESSUS DIDACTIQUES EN JEU DANS CES SITUATIONS

5.1. Étude du processus de dévolution et du fonctionnement a-didactique des situations

Les exemples ci-dessus, qui nous paraissent illustrer l'ensemble des données actuellement en notre possession, témoignent d'un fonctionnement du rapport au savoir que

le fonctionnement
a-didactique
du jeu
des résistors...

Brousseau qualifie d'*a-didactique* en ce sens que "l'élève sait bien que le problème a été choisi pour lui faire acquérir une connaissance nouvelle mais [...] que cette connaissance est entièrement justifiée par la logique interne de la situation et qu'il peut la construire sans faire appel à des raisons didactiques." (Brousseau, 1986, p. 49). Brousseau définit, en effet, une situation *a-didactique* comme une situation dans laquelle interviennent l'élève, l'enseignant et le milieu avec les caractéristiques que nous donnons ci-dessous (Bessot, 1993).

... est lié à
des caractéristiques
du milieu, de l'élève
et de l'enseignant

- Le milieu est constitué par le système antagoniste de l'élève (ici le jeu des résistors et l'adversaire). Il est organisé par l'enseignant en fonction d'une intention didactique génératrice de sens vis-à-vis du savoir en jeu. Il est producteur d'un système de contraintes qui conditionnent le fonctionnement de la connaissance (ici les règles du jeu et les tâches à effectuer qui évoluent au cours des phases). Il rétroagit sur l'élève (*validation*) en termes de réponse positive ou négative à son action (c'est l'indication du milliampèremètre qui décide de la suite).

- L'élève apprend en s'adaptant au milieu générateur de contradictions, de difficultés, de déséquilibres (assimilation, accommodation). Il modifie ainsi son rapport au savoir en construisant ses connaissances comme réponses aux exigences du milieu et non au désir de l'enseignant (il ne s'agit pas ici de deviner une réponse attendue par l'enseignant mais d'élaborer et de formaliser une stratégie gagnante).

la dévolution :
un transfert
de responsabilité
du maître
à l'élève

- L'enseignant construit et organise le milieu, en fonction du savoir en jeu, en vue de produire sur l'élève les effets attendus (ici d'ébranler ses conceptions). Son rôle, pendant les phases d'action, de formulation et de validation, n'est pas de donner une réponse mais d'assurer le fonctionnement normal de la situation. Il doit donc permettre un changement de contrat didactique en faisant en sorte que l'élève, non seulement accepte les règles du jeu qui lui sont proposées, mais encore accepte, en s'investissant dans le jeu, la responsabilité de construire des connaissances en rapport avec la situation proposée. En jouant au jeu des résistors, les élèves savent bien qu'il s'agit pour eux de construire des connaissances de physique, ce qu'ils font en élaborant les règles empiriques (phase 4) puis en les discutant (phase 5). C'est ce processus de transfert de responsabilité du maître à l'élève que Brousseau désigne par le terme de *dévolution*. À la fin (ici après la phase 5), reprenant les connaissances construites par les élèves au cours de la situation, l'enseignant leur confère le statut de savoir au sens où, en les décontextualisant de la situation du jeu des résistors, il les fait apparaître en tant qu'outils susceptibles d'intervenir dans la résolution de problèmes différents. Brousseau qualifie ce processus d'*institutionnalisation*.

Comme on le voit, le fonctionnement a-didactique d'une situation est caractérisé par l'interaction privilégiée entre

l'élève et le milieu, interaction réglée par les contraintes du milieu et non directement par l'enseignant. Bien sûr, le savoir en jeu est présent, mais en arrière-plan seulement jusqu'à la phase d'institutionnalisation. C'est ce qu'essaie de traduire le schéma suivant.

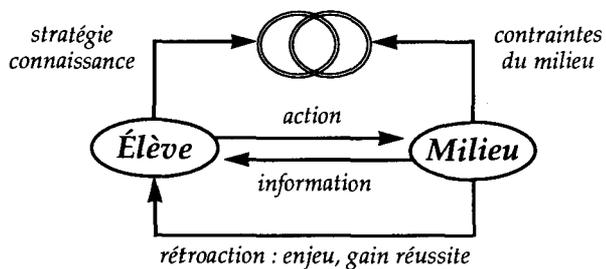


5.2. Caractérisation des phases utilisées dans le jeu des résistors

L'élève joue avec les règles du jeu. L'enseignant, de son côté, joue à changer ces règles. De là apparaissent différentes phases qui correspondent chacune à un système de contraintes particulier. Nous avons construit les différentes phases du jeu des résistors en nous inspirant toujours de la théorie de Brousseau. Nous en donnons ci-dessous les caractéristiques essentielles.

• Phase d'action

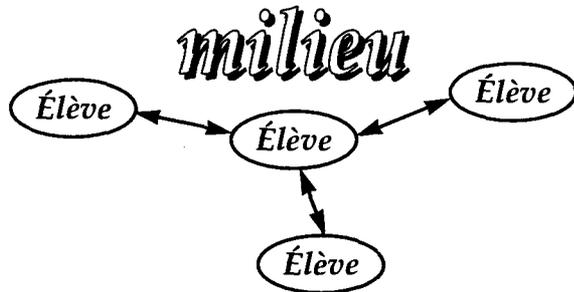
L'élève qui joue agit sur le milieu lequel lui renvoie de l'information : il a gagné et il marque un point ou bien il a perdu et il doit céder la place. Tout au long de cette phase, chacun des deux joueurs élabore sa stratégie personnelle et donc des connaissances pour gagner. Le respect des règles du jeu, constaté par l'adversaire, constitue l'essentiel des contraintes du milieu. L'enjeu est essentiellement constitué par la réussite censée témoigner de la supériorité de la stratégie du joueur face à celle de l'adversaire.



• **Phases de formulation**

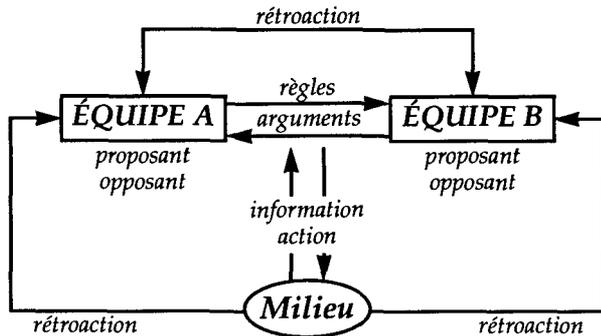
Elle sont essentiellement constituées par des discussions entre élèves d'une même équipe. Il s'agit, ou bien de comparer les diverses stratégies et de choisir celle que l'on va présenter aux autres, ou bien d'élaborer ensemble des règles empiriques. Au cours d'une phase de formulation, le milieu n'est présent que par la pensée, en arrière-plan des évocations mais il n'est plus matériellement disponible pour répondre aux questions qui apparaissent dans le débat.

le système actions-réactions est différent selon les phases



• **Phases de validation**

Lors de ces phases, il y a débat entre les équipes. La communication qui a lieu entre elles a pour fonction de faire qu'apparaissent des propositions et des oppositions à travers la formulation de règles ou d'arguments. Dans ce débat, les équipes sont à égalité de moyens et de droit. L'objectif est ici de valider des propositions. Pour ce faire, elles peuvent, en particulier recourir au milieu qui est à nouveau disponible et agir sur lui pour décider, en fonction des informations reçues en retour, de qui a raison et qui a tort. Il y a donc rétroaction du milieu sur les équipes. Mais les équipes peuvent également échanger des arguments et tenter de convaincre par la logique. Il y a donc également rétroaction entre les équipes.

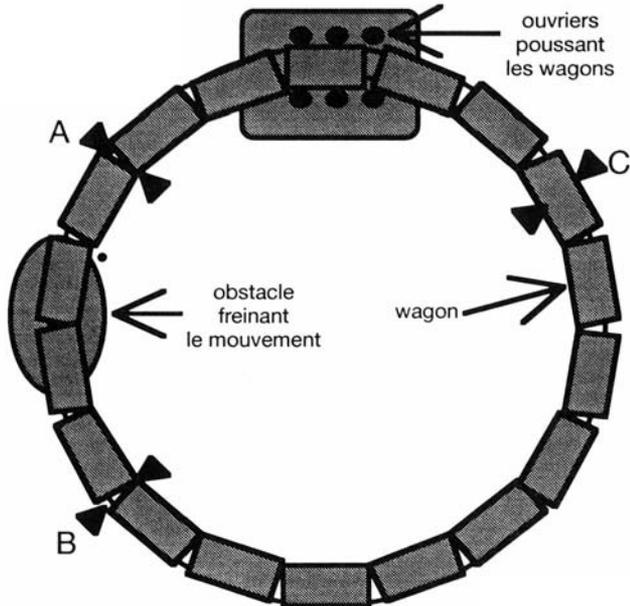


6. INSERTION DU JEU DES RÉSISTORS DANS L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROCINÉTIQUE : IMPLICATIONS DIDACTIQUES

Rappelons que les cinq phases du jeu ont été conçues pour être introduites successivement dès le début de l'enseignement. Par conséquent, comme nous l'avons déjà dit, aucun travail en électrocinétique n'avait été réalisé avec les élèves au cours de l'année avant le jeu des résistors. La mise en œuvre des cinq phases a été réalisée en une séance de deux heures ou en deux séances consécutives.

À la fin de la phase 5, les élèves disposent de deux règles empiriques qui peuvent s'énoncer de la manière suivante :
 1. *Lorsqu'on ajoute un élément en série avec un autre élément (ou avec une association d'éléments), l'intensité du courant qui sort du générateur diminue.*
 2. *Lorsqu'on ajoute un élément en parallèle sur un autre élément (ou sur une association d'éléments), l'intensité du courant qui sort du générateur augmente.*

le fonctionnement du circuit est interprété par l'analogie modélisante du train



Pour la suite, et afin de mieux rendre compte de ces phénomènes, nous nous sommes inspirés de la démarche utilisée par Johsua, démarche qui prend appui sur l'«*analogie modélisante*» du train. «*Notre analogie (analogie abstraite fonctionnant comme une expérience de pensée et ne conduisant jamais à des manipulations pratiques) décrit le fonctionnement d'un train hypothétique. [...] Un train circule dans un*

circuit fermé. Il est constitué de wagons (pas de locomotive) rigidement liés entre eux et régulièrement espacés. Dans une gare, des ouvriers poussent avec une force constante sur les wagons qui passent devant eux. Des freins existent sur la voie, lesquels influencent la vitesse du train." (Johsua, 1989).

cette analogie,
qui contribue
elle aussi
à ébranler
les obstacles
donne du sens
au modèle

On l'aura compris : il y a analogie entre le train et notre circuit, les wagons et les charges, le mouvement des wagons et le courant électrique, la vitesse à laquelle passe un wagon en un point et l'intensité du courant en un point du circuit, les ouvriers poussant les wagons et le générateur, la force de poussée des ouvriers et la force électromotrice du générateur, l'importance du freinage et la résistance des résistors montés sur la plaque de connexion. Ainsi, l'analogie permet de comprendre, non seulement qu'une action sur les résistors du circuit puisse entraîner une modification de l'intensité du courant délivré par le générateur, mais encore que cette intensité soit la même tout au long de la branche contenant le générateur. De plus, l'analogie du train permet de résoudre une contradiction essentielle soulevée par Johsua : le fluide électrique se conserve sous sa forme matérielle tout en permettant, telle une courroie, la transmission de l'énergie du générateur vers les récepteurs.

Nous avons d'abord fait travailler les élèves en petits groupes autour des questions ci-dessous, chaque petit groupe devant successivement effectuer des prévisions précises et argumentées à partir d'exemples et suivies ensuite de vérifications expérimentales.

- L'ordre des composants intervient-il sur la valeur de l'indication du milliampèremètre ?

- Si on monte le milliampèremètre du côté de la lampe, l'indication sera-t-elle modifiée ? Si oui dans quel sens et pourquoi ?

Prenant appui sur les résultats obtenus par les groupes nous avons institué un modèle qualitatif de l'électrocinétique (modèle donné en annexe). Avec des élèves de lycée, la suite de l'enseignement fut organisé de manière analogue, c'est-à-dire autour de situations-problèmes donnant lieu à des questions telles que :

- Comment prévoir la valeur de l'intensité du courant qui s'établit dans la branche du générateur ?

- Comment prévoir les intensités dans les différentes branches contenant les résistors ?

- Et si l'on remplace un résistor par un autre dipôle ? (lampe, diode, pile, etc.)

Le travail sur ces situations a permis d'instituer des modèles quantitatifs de plus en plus performants c'est-à-dire permettant de répondre à des questions de plus en plus nombreuses et correspondant à des circuits de plus en plus complexes (deux exemples de ces modèles sont donnés en annexe).

Comme on peut le constater, la transposition didactique adoptée dans cet enseignement peut être caractérisée par

l'enseignement
est organisé
autour
de situations-
problèmes
de plus en plus
complexes

respect
d'un principe
de nécessité

un découpage du savoir à enseigner différent de celui qui est réalisé habituellement. Ici, nous nous sommes volontairement écartés d'un découpage fondé sur une séparation des concepts (l'intensité et ses lois de conservation, puis la différence de potentiel et sa loi d'additivité, puis les dipôles, la loi d'Ohm et les caractéristiques, etc.). Nous avons au contraire opté pour une organisation fondée sur la résolution de situations-problèmes de plus en plus complexes, concernant l'étude de circuits, et susceptibles de mettre à l'épreuve les conceptions et modes de raisonnement des élèves, en privilégiant toujours la construction du sens à travers une démarche de modélisation (Robardet, Guillaud, 1997). Les notions de bases sur lesquelles nous nous sommes appuyés dès le début furent celles de force électromotrice (E), d'intensité (I) et de résistance équivalente (R), liées ensuite entre elles par la relation $E = R.I$ (Loi de Pouillet), et définies au niveau du circuit tout entier. Toutes les grandeurs ont été introduites dans le respect d'un principe de nécessité selon lequel un élément théorique n'est introduit que pour résoudre un problème nouveau ; en particulier, la notion de tension n'a été introduite que lorsqu'elle est devenue nécessaire pour pouvoir déterminer les valeurs des intensités dans les branches autres que celle du générateur. Le modèle a été construit en plusieurs étapes selon une démarche d'emboîtement de modèles successifs. Chaque nouvelle situation faisant apparaître l'inadaptation du modèle précédent et la nécessité de le perfectionner pour résoudre, reprenant ainsi une démarche que nous avons déjà utilisée en mécanique (Robardet, 1995). Nous laisserons le dernier mot à une élève à la sortie de la première séance sur le jeu des résistors : *Série, dérivation... tu sais, avant je mélangeais tout. Maintenant, c'est gravé là !*

Guy ROBARDET,
LIDSE Université Joseph-Fourier,
IUFM de Grenoble.

BIBLIOGRAPHIE

BESSOT A., 1993, "Panorama des cadres théoriques de la didactique des mathématiques en France", *Séminaire du CIRADE "Connaissance, Représentation et Apprentissage"*, Publications de l'IQAM, Montréal, Québec.

BROUSSEAU G., 1986, "Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques", *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 7-2, pp. 33-115.

BROUSSEAU G., 1988, "Le contrat didactique : le milieu", *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 9, pp. 309-336.

CLOSSET J.-L., 1983, *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*, Thèse, Université Paris 7.

CLOSSET J.-L., 1989, "Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique", *Bulletin de l'Union des Physiciens*, N° 716, pp. 931-949.

JOHSUA S., 1989, "Les conditions d'évolution de conceptions d'élèves", in N. Bednarz & C. Garnier Eds. *Construction des savoirs, obstacles & conflits*, CIRADE Agence d'Arc inc. Ottawa, pp. 306-314.

JOHSUA S., DUPIN J.-J., 1989, *Représentation et modélisation : le "débat scientifique" dans la classe, et l'apprentissage de la physique*, Berne : Peter Lang, pp. 46-83.

JOHSUA S., DUPIN J.-J., 1993., *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Paris : P.U.F., pp. 171-178.

ROBARDET G., 1995, "Situations-problèmes et modélisation ; l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique", *Didaskalia*, N°7, Paris, Bruxelles : de Boeck, pp. 129-143.

ROBARDET G., GUILLAUD J.-C., 1997, *Éléments de didactique des sciences physiques : théories, modèles, conceptions et raisonnement spontané*, Paris : PUF, Coll. Pédagogies d'aujourd'hui.

VIENNOT L., 1996, *Raisonner en physique : la part du sens commun*, Paris, Bruxelles : de Boeck.

ANNEXES
MODÈLE QUALITATIF DE L'ÉLECTROCINÉTIQUE
(PREMIER MODÈLE)

Usage du modèle et champ expérimental de référence

Ce modèle s'applique à tout circuit ne comportant que des dipôles. Il permet de prévoir le sens des variations de l'intensité du courant qui circule dans la branche du générateur lorsqu'on modifie le circuit en ajoutant ou en retirant un récepteur.

Notions du modèle

- Un matériau conducteur d'électricité est représenté comme un récipient **complètement rempli** de particules pouvant se déplacer à l'intérieur.
- Un circuit électrique est représenté par une suite fermée d'éléments conducteurs communicant les uns avec les autres (les particules qui remplissent complètement le circuit pouvant passer de l'un à l'autre).
- Le **courant électrique** est représenté par la circulation des particules mobiles tout au long des éléments du circuit. Un élément particulier, appelé **générateur**, est responsable de cette circulation. Son rôle est de maintenir le mouvement des particules qui en sortent par le pôle positif et y entrent par le pôle négatif. Les autres éléments traversés par les particules sont appelés **récepteurs**.
- En un point du circuit, l'**intensité** du courant I (en Ampère A) est la grandeur qui représente la valeur du débit des particules en mouvement.
- La **force électromotrice** du générateur E (en Volt V) est la grandeur qui représente le pouvoir du générateur de mettre et de maintenir les particules mobiles en mouvement.
- La **résistance** R (en Ohm Ω) est la grandeur qui représente le pouvoir qu'a un élément ou un ensemble d'éléments de freiner le passage des particules mobiles.

Règles du modèle

1. Tout circuit est rempli de particules ; on ne peut ni en ajouter, ni en retirer, ni en détruire : **leur nombre est constant** pour un circuit donné.
2. Les particules mobiles présentes dans un circuit constituent un ensemble **incompressible**. Elles ne peuvent que circuler dans le circuit mais pas s'accumuler.
Ainsi, l'intensité du courant est **la même** en tous points d'une chaîne d'éléments montés **en série**. Les intensités **se partagent en s'additionnant** dans les **dérivations**.
3. Lorsqu'on ajoute un élément en série avec un autre élément (ou avec une association d'éléments), on augmente la résistance de l'ensemble au passage du courant.
4. Lorsqu'on ajoute un élément en parallèle sur un autre élément (ou sur une association d'éléments), on diminue la résistance de l'ensemble au passage du courant.
5. L'intensité du courant qui traverse le générateur augmente :
 - lorsque la valeur de la force électromotrice du générateur augmente,
 - lorsque la résistance de l'ensemble des récepteurs diminue.

PREMIER MODÈLE QUANTITATIF DE L'ÉLECTROCINÉTIQUE

Usage du modèle et champ expérimental de référence

Ce modèle permet de calculer l'intensité du courant qui circule dans la branche du générateur. Il s'applique aux circuits dont les récepteurs fonctionnent en régime linéaire (résistors) et dans lesquels la résistance interne du générateur est négligée.

Notions du modèle

(identiques à celle du modèle précédent)

Règles du modèle

1. L'intensité est la même en tout point d'une chaîne d'éléments montés en série. Les intensités se partagent en s'additionnant dans les dérivations.
2. La résistance équivalente à 2 résistors montés en série est égale à la somme de leurs résistances individuelles : $R_{eq} = R_1 + R_2$

La résistance équivalente à deux résistors montés en parallèle est donnée par la règle :

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

3. L'intensité du courant qui parcourt la branche contenant le générateur est reliée à la force électromotrice du générateur et à la résistance équivalente de l'ensemble des résistors du circuit par la relation :

$$I = \frac{E}{R_{eq}}$$

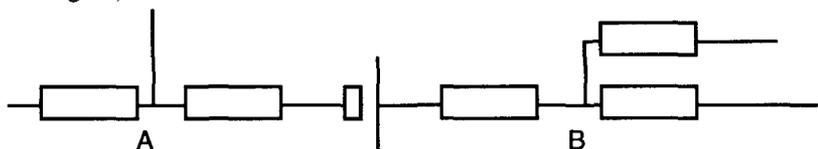
MODÈLE DE L'ÉLECTROCINÉTIQUE (MODÈLE FINAL)

Usage du modèle et champ expérimental de référence

Ce modèle permet de prévoir les intensités des courants qui circulent dans les branches du circuit. Il s'applique aux circuits dont les récepteurs sont des dipôles.

Notions du modèle

- Nœud : point d'un circuit relié à plus de deux composants (exemple : A et B sur la figure).
- Branche : portion de circuit située entre deux nœuds consécutifs (exemple : AB sur la figure).



- Le courant électrique est représenté par une circulation de charges positives sortant du générateur par le pôle positif et y entrant par le pôle négatif.
- Intensité I (en Ampère A) : grandeur qui représente le débit des charges électriques et qui se mesure au moyen d'un ampèremètre monté dans la branche concernée.
- Force électromotrice E (en Volt V) : grandeur qui représente le pouvoir du générateur à mettre en circulation des charges mobiles du circuit et qui se mesure au moyen d'un voltmètre monté sur le générateur non connecté au circuit.
- Résistance R (en Ohm Ω) : grandeur qui représente le pouvoir qu'a un résistor ou un ensemble de résistors de freiner le passage des charges mobiles et qui se mesure au moyen d'un ohmmètre monté sur le composant non connecté.
- Potentiel électrique V (en Volt V). C'est une grandeur qui caractérise l'énergie disponible dans une charge dont la circulation représente le courant électrique. Toutes les charges qui se trouvent en un même point A du circuit ont le même potentiel électrique noté V_A ou $V(A)$. Le potentiel électrique au point A se mesure avec un voltmètre dont la borne de référence (COM) est branchée au pôle négatif du générateur et dont la borne de fonction (V) est branchée en A.

Règles du modèle

1. L'intensité se conserve en tout point d'une même branche.
L'intensité se conserve en se partageant ou en se regroupant en tout nœud.
2. La résistance équivalente à 2 résistors montés en série est égale à la somme de leurs résistances individuelles : $R_{eq} = R_1 + R_2$
La résistance équivalente à deux résistors montés en parallèle est donnée par la règle :

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

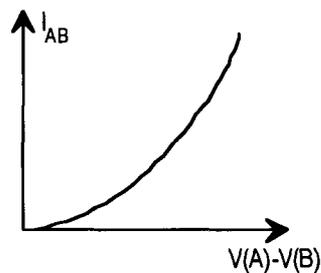
3. L'intensité du courant qui parcourt la branche contenant le générateur est reliée à la fém du générateur et à la résistance équivalente de l'ensemble des résistors du circuit par la relation :

$$I = \frac{E}{R_{eq}}$$

4. Toutes les charges d'une même connexion sont au même potentiel.
 5. Une charge qui traverse un composant cède à celui-ci, ou reçoit de celui-ci, de l'énergie. Ainsi le potentiel électrique V diminue lorsqu'elle traverse un récepteur. Il augmente lorsqu'elle traverse le générateur. $V = 0$ au pôle négatif du générateur.
 6. La diminution du potentiel entre l'entrée A et la sortie B d'un récepteur dépend de l'intensité I_{AB} du courant qui le traverse. Cette dépendance peut être représentée par une fonction croissante (f) telle que : $V_A - V_B = f_{\uparrow}(I_{AB})$
- ⇒ Si on modélise le récepteur AB par une loi linéaire sa résistance est une constante R donnée par la relation :

$$R = \frac{V_A - V_B}{I_{AB}}$$

- ⇒ Si nécessaire, un modèle plus précis des fonctionnements possibles d'un dipôle récepteur peut être obtenu par la courbe représentative de la fonction f appelée caractéristique du dipôle.



7. Le potentiel du pôle positif P du générateur est donné par la relation $V_P = E - r \cdot I$ dans laquelle E est la fém et r la résistance interne du générateur (si cette dernière est négligée alors $V_P = E$)

L'INTUITION, OBSTACLE À L'ACQUISITION DE CONCEPTS SCIENTIFIQUES

Propositions pour l'enseignement du concept d'énergie en Première S

Pascal Ballini
Guy Robardet
Jean-Michel Rolando

Les concepts des sciences physiques (et donc celui d'énergie) sont dans l'ensemble hautement structurés et ne peuvent pas se construire à l'issue d'une démarche inductiviste dans laquelle on ferait "sentir" leurs différents aspects. Notre hypothèse est qu'un des obstacles aux apprentissages scientifiques réside dans la mise en œuvre, par les apprenants, de raisonnements guidés par l'intuition sensible (difficulté à conceptualiser ce qui ne se perçoit pas). Nous proposons une alternative dans le cas du concept d'énergie. Ce qui ne peut pas être perçu peut être construit en imposant aux apprenants de respecter la cohérence d'un édifice théorique. Ainsi, des concepts comme celui d'énergie potentielle ou d'énergie interne peuvent-ils être rendus nécessaires et devenir de véritables outils et non de simples objets d'enseignement. Ce faisant, on donne à l'apprenant la possibilité d'auto-contrôler son raisonnement par un autre moyen que sa seule intuition.

1. ÉLÈVES ET ÉTUDIANTS FACE AU CONCEPT D'ÉNERGIE

comme
beaucoup
de concepts
en sciences
physiques,
celui d'énergie
passe mal

Différentes recherches ont donné lieu à des résultats significatifs qu'il est intéressant de rappeler.

1.1. Le concept d'énergie chez des lycéens et des étudiants scientifiques : un bilan plutôt négatif

de nombreuses
confusions
ont été repérées
chez
des étudiants
scientifiques

Avant d'en rechercher les causes et d'avancer quelques propositions, arrêtons-nous un instant sur ce bilan.

- La chaleur est souvent considérée comme l'unique cause possible du changement de température. Une importante conséquence est une grosse difficulté dans l'acquisition du concept de travail, confirmée notamment par une étude réalisée avec des étudiants du premier cycle de l'enseignement supérieur (Rozier 1988). L'augmentation de température dans une compression adiabatique est très souvent interprétée en évoquant une intervention de la chaleur. Le travail n'est pas reconnu comme une grandeur énergétique suscep-

confusion
entre chaleur,
température
et énergie
interne

loin d'être maîtrisé,
le principe
de conservation
ne fait pas l'objet
d'une "application
réflexe"

les raisonnements
sont du type
linéaire causal

tible de faire varier la température des systèmes entre lesquels il se transfère.

- Des confusions aussi fortes apparaissent également lorsqu'il est question d'énergie interne. Ainsi, celle d'un morceau de plomb en train de fondre est souvent considérée comme constante, parce que sa température est constante (Rozier 1988).

- Le principe de conservation de l'énergie est peu opérationnel. Driver, Warrington (1985) ont montré que des étudiants l'ayant pourtant étudié mettent préférentiellement en œuvre d'autres raisonnements, pas toujours judicieux...

- Face à certaines situations, des étudiants dont le niveau pourrait laisser penser qu'ils maîtrisent parfaitement le principe de conservation, fournissent des formulations incompatibles avec celui-ci. Nous nous fondons sur l'étude déjà citée de S. Rozier : bien qu'on continue à chauffer le plomb, dans un contexte où les pertes sont négligeables, de nombreux étudiants considèrent que son énergie interne n'augmente pas ! Un autre travail mené avec des lycéens scientifiques (Cachapuz, Martins, 1987) est particulièrement intéressant. Nous l'avons repris avec des étudiants préparant le CAPES de sciences physiques. Une réaction se déroule dans un calorimètre parfaitement isolé et s'accompagne d'une variation de température. De nombreuses réponses affirment que l'énergie interne du milieu réactionnel varie !!

Il peut sembler étonnant que le public interrogé, à ce stade des études, soit aussi peu à l'aise dans le maniement du concept d'énergie. Nous avancerons quelques hypothèses dans le paragraphe 2.4.

- Différents auteurs (Closset 1983 ; Rozier 1988, 1991 ; Viennot 1989 a, 1989 b, 1992) ont montré la prégnance de la causalité linéaire dans les modes de raisonnement spontanément utilisés par les élèves ou étudiants de tous âges et dans de nombreux domaines. Ce mode de raisonnement se caractérise par la recherche d'une relation causale du type $A \Rightarrow B$, telle qu'une modification de B soit sans influence sur A, et qu'une modification de A n'intéresse B qu'avec un certain retard lié à une propagation. Un tel raisonnement constitue un obstacle de trois points de vue.

- En refusant l'effet de rétroaction de B sur A, il fait obstacle à l'acquisition de modes de raisonnement utilisés dans les nombreux cas de causalité physique réciproque ou circulaire (sens défini par Halbwachs, 1971).

- En attribuant à l'effet un retard systématique par rapport à la cause, il fait obstacle à l'acquisition des raisonnements classiques portant sur les transformations quasi-statiques dans lesquelles les relations numériques reliant les différentes variables sont à tous moments vérifiées. L'implication logique qui caractérise ces situations se démarque de la chronologie.

- Un tel raisonnement est essentiellement local en ce sens qu'il ne prend pas comme objet d'étude un système caractérisé par son état et ses interactions, mais une entité (énergie, chaleur, électricité, signal...) qui subit en général un déplacement, et qui rencontre des oppositions au cours de celui-ci.

1.2. Petit détour par les conceptions des "non-spécialistes"

l'examen
des conceptions
des "non-
spécialistes"...

Notre projet d'enseignement s'adresse à des lycéens de Première S, qui doivent en une année scolaire acquérir une importante maîtrise du concept, mais qui débute tout de même dans cet apprentissage. Nous faisons l'hypothèse que le mot "énergie" fait partie de leur vocabulaire courant, et que le sens qui lui est assigné entrera nécessairement en interaction avec l'enseignement dispensé. Il nous semble donc intéressant de bénéficier de l'éclairage des études menées auprès des "non-spécialistes". Nous englobons sous ce vocable des sujets jeunes ou plus âgés mais qui ne sont plus ou n'ont jamais été dans le "bain" des classes scientifiques. De très nombreuses études ont été menées. Elles visent à identifier les associations établies spontanément entre le terme "énergie" et un certain nombre de situations concrètes. Plusieurs revues de littératures font une synthèse des résultats obtenus (Tiberghien, Koliopoulos, 1986 ; Brook, 1986). La présentation que nous en ferons nous-mêmes est déterminée par notre projet d'enseignement. Nous remarquerons dans un premier temps que certaines composantes du concept d'énergie pourront certainement se construire en prenant appui sur le sens que les élèves lui attribuent, donc sans conflit majeur. Mais l'abstraction nécessaire à l'élaboration du concept scientifique dans sa généralité ne se fera pas sans rupture dans la façon de penser, ce que nous développerons dans le cas des énergies potentielles d'interaction et dans celui du principe de conservation.

• *Quelques points d'appui*

...montre
que certains
aspects pourront
se construire
en continuité
avec les idées
initiales...

La prédisposition des jeunes élèves à raisonner en termes de "posséder, donner, recevoir", dans le cadre d'un raisonnement linéaire causal, a été remarquée dans de nombreux domaines et a fait l'objet d'une discussion dans le paragraphe 1.1. S'il s'agit d'un obstacle majeur à la construction de certains concepts (force, courant électrique) et à la constitution d'autres modes de raisonnements (bilans), il pourrait quand même y avoir là un schème facilitant pouvant servir de point d'appui au début de l'apprentissage. Cela a d'ailleurs donné lieu à des recherches importantes dans le domaine de l'énergie (Lemeignan, Weil-Barais, 1990 b ; Tiberghien, 1991).

L'idée que les jeunes sujets (ou les non-spécialistes) se font de l'énergie devrait les amener à identifier sans grosse diffi-

culté les différents modes de transfert, et, probablement, la forme macroscopique de l'énergie cinétique. En effet, les situations dans lesquelles interviennent des forces en mouvement sont généralement identifiées comme mettant en jeu de l'énergie (Watts, 1983 ; Bliss, 1985 ; Giraudo, Viglietta, 1989). La chaleur et le rayonnement sont bien reconnus lorsque leur débit est important (Watts, 1983 ; Giraudo, Viglietta, 1989). Les transferts, non directement perceptibles, devront toutefois faire l'objet d'une attention particulière (Solomon, 1983 b). En ce qui concerne l'énergie cinétique macroscopique, les recherches effectuées dans le contexte de l'enseignement ou après celui-ci ne signalent aucune difficulté particulière (Solomon, 1983 b ; Brook, 1987 ; Lemeignan, Weil-Barais, 1990 b ; Trumper, 1990). Des explications en termes de masses en mouvement semblent assez naturelles.

• *Énergies potentielles d'interaction*

Leur construction posera apparemment des problèmes bien plus redoutables.

... alors
que d'autres
nécessiteront
une rupture
profonde :
c'est le cas
des énergies
potentielles
et du principe
de conservation

Dans certains cas les sujets interrogés nient qu'il puisse y avoir de l'énergie dans un objet immobile ou dans un combustible. Quelques exemples illustreront notre propos. Un homme qui pousse une charge au sommet d'une colline possède de l'énergie, mais la charge elle-même n'en possède pas... (Watts, 1983). Les sources d'énergie sont des substances nécessaires pour fabriquer de l'énergie... mais elles n'en possèdent pas elles-mêmes... (Giraudo, Viglietta, 1989). Bref, pour ces sujets, produire de l'énergie ne signifie pas posséder de l'énergie.

Dans d'autres cas, l'énergie est identifiée aux sources d'énergie. Le concept n'est pas différencié de l'objet. La disparition de la source est alors assimilée à une disparition d'énergie (Boyes, 1990).

• *Conservation de l'énergie*

Cette idée est contraire aux messages politiques ou publicitaires selon lesquels l'énergie n'est pas inépuisable... Sa dégradation est probablement plus naturelle. Selon plusieurs chercheurs, l'idée spontanée d'énergie recouvre plutôt ce que le physicien appelle "énergie utilisable" ou "exergie" (Solomon, 1982 ; Ogborn, 1986 ; Giraudo, Viglietta, 1989 ; Lijnse, 1990).

2. LA LOGIQUE DU FONCTIONNEMENT DE L'ÉLÈVE

L'étude des conceptions devient véritablement intéressante lorsqu'on est capable de dégager leur logique d'ensemble et d'identifier ce qui fait véritablement obstacle à l'apprentis-

sage. C'est à ce prix qu'on pourra prévoir des actions didactiques conséquentes. Lors d'une première expérimentation menée dans trois classes de Première S en 1994-95, nous avons cherché à mieux caractériser le fonctionnement de l'élève en situation d'apprentissage scolaire, face aux situations que nous avons choisies.

2.1. Points de repères sur le déroulement et la méthodologie

Le fonctionnement de l'élève étant, selon une hypothèse largement admise, dépendant des situations qui lui sont proposées, il est nécessaire de donner quelques indications sur le déroulement.

l'idée de départ
est celle
de chaîne
énergétique...

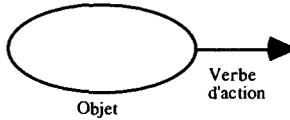
Le début de notre travail s'inspire fortement des propositions de Weil-Barais, Lemeignan (1990 b) et de l'idée de chaîne énergétique comme représentation symbolique des transformations et des transferts d'énergie qui s'opèrent entre systèmes en interaction. Lors d'une séance de TP les élèves, par groupes de deux ou trois, doivent résoudre un problème expérimental. Le but est de les faire réfléchir sur les moyens d'obtenir un effet à partir d'un matériel qui n'y conduit pas directement. Les montages sont choisis parmi les propositions de Agabra, De Meester, Lemeignan (1980). Nous aurons par la suite à revenir sur deux d'entre eux que nous présentons ci-dessous.

Consigne	Remarques
1. Allumer cette ampoule à l'aide de cette bouteille de gaz.	Parmi les montages possibles, on aura à réutiliser celui dans lequel on vaporise de l'eau par chauffage. La vapeur, dirigée vers une hélice, provoque la rotation d'une génératrice. Cette dernière alimente une ampoule ou une diode électro-luminescente selon la qualité des liaisons.
2. Allumer cette ampoule à l'aide de cet objet.	Un objet solide est présenté aux élèves. On attend d'eux un montage dans lequel l'objet entraîne dans sa chute le rotor d'un alternateur.

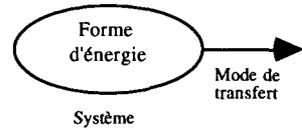
On prépare ainsi les idées de transformation, transfert, stockage, et débit. On impose une réflexion sur les relations entre les objets, ce qui prépare les analyses futures qui seront fondées sur les interactions entre les systèmes. On met l'accent sur les points communs qui apparaissent sous la diversité (différents points de départ peuvent conduire à un effet identique en fin de chaîne ; un même point de départ peut conduire à des effets différents). On justifie ainsi l'intérêt d'imaginer une entité unique, baptisée "éner-

gie" qui serait le dénominateur commun de la diversité des situations. L'évolution que l'on cherche à provoquer chez les élèves est donc la suivante.

... conduisant les élèves à une représentation pré-énergétique



Représentation initiale



Représentation finale

Cette phase donne lieu à des symbolisations et des formulations successives. Les documents produits par les élèves ont été récupérés et dépouillés dans la perspective d'identifier points d'appui et difficultés en relation avec les études rappelées dans le premier paragraphe.

2.2. Identification de quelques points d'appui

La représentation à laquelle les élèves aboutissent à l'issue de l'étape précédente n'est pas encore une représentation énergétique, loin s'en faut. L'analyse des données recueillies dans nos groupes expérimentaux est conforme aux études rappelées en 1.2. Cela conduit à penser qu'il est possible d'aider les élèves à construire assez rapidement une première représentation des quatre modes de transfert, de l'énergie cinétique macroscopique et, dans une moindre mesure, de l'énergie interne de température (lorsqu'elle caractérise un état visiblement plus chaud que l'environnement). Le tableau ci-dessous recense les termes employés par les élèves en regard desquels nous précisons le concept scientifique correspondant.

quelques connaissances intuitives peuvent servir de point d'appui...

À propos des situations citées en référence dans le § 2.1.	
Concept scientifique sous-jacent	Terminologie utilisée par les élèves
a) Énergie cinétique	<i>Rotation, énergie mécanique, mouvement.</i>
b) Énergie interne de température	<i>Température, chaleur, énergie thermique.</i>
c) Chaleur	<i>Chaleur, chauffage, combustion.</i>
d) Rayonnement	<i>Lumière, énergie lumineuse, éclairage.</i>
e) Travail électrique	<i>Courant, courant continu, courant alternatif, énergie électrique, tension, électricité.</i>
f) Travail mécanique	<i>Mouvement, force (parfois les deux en même temps).</i>

Examinons chaque ligne.

... énergie
cinétique...

a) L'énergie cinétique est aisément considérée comme une cause produisant en aval un effet visible. Dans l'exemple du montage expérimental "objet → ampoule" de nombreux élèves donnent des formulations telles que la suivante : *"c'est parce que l'objet est en mouvement qu'il fait tourner l'alternateur, ce qui fait briller l'ampoule"*.

... énergie interne
de température...

b) Les élèves ne semblent pas éprouver de difficulté pour attribuer de l'énergie aux objets plus chauds que le milieu ambiant. Ils la nomment souvent "chaleur" ou "énergie thermique". Outre la question du vocabulaire (on leur demande d'adopter le terme d'énergie interne de température), ils devront plus tard apprendre à généraliser le concept et, bien sûr, à le discriminer de la chaleur.

... chaleur...

c) Lorsqu'un transfert s'effectue sous forme de chaleur en s'accompagnant d'une élévation perceptible de la température d'un système, les élèves produisent aisément une interprétation utilisant le mot "chaleur". Ils ne sont pas encore au concept scientifique, mais cette aptitude à reconnaître un transfert sous forme de chaleur dans une situation particulière leur servira pour une élaboration plus générale qui sera explicitée dans le paragraphe 5.

... rayonnement...

d) La reconnaissance de la lumière par les élèves nous semble suffisante pour prétendre que les analyses mettant en jeu un rayonnement visible ne leur poseront pas de gros problèmes.

... travail...

e) Nous avons également constaté, dans les données que nous avons dépouillées, que chaque fois que l'analyse énergétique correcte se fait en terme de travail électrique (ou en terme de travail mécanique), les élèves utilisent une terminologie empruntée au champ de l'électricité (ou à celui de la mécanique). Ces deux concepts pourront, nous semble-t-il, s'élaborer assez aisément.

... font l'objet
d'un premier
et élémentaire
niveau
d'intégration

À ce stade, la construction de ces concepts est rudimentaire et très dépendante des situations choisies. Mais elle est à notre sens la seule base disponible. Nous pensons qu'elle est suffisante pour servir de point d'appui aux élaborations futures.

2.3. Repérage des difficultés

les énergies
potentielle
et interne
devront
se construire
en rupture
avec les idées
premières

Que quelques idées spontanées aillent "dans le bon sens" est un point intéressant à relever. Mais se fonder exclusivement sur celles-ci, même en guidant les élèves par un questionnement approprié, ne peut en aucun cas conduire à des élaborations complexes. Les données que nous avons dépouillées nous incitent à affirmer l'impossibilité de construire par cette voie une première représentation, même frustrée, des énergies potentielles, de la chaleur (dans une assertion plus générale que celle dont il a été question dans le paragraphe précédent) et de toutes les énergies internes liées aux interactions dans la matière (énergies internes chimique et physique notamment). Évoquons plus particulière-

ment deux situations : bouteille de gaz → ampoule et objet → ampoule (voir tableau § 2.1). Il semble que de nombreux élèves s'attachent à la combustion (1er cas) ou au mouvement (2ème cas) en tant qu'action (le gaz brûle..., l'objet tombe...) sans chercher à concevoir ce qui, en amont, constitue l'état du système. Le système {combustible-comburant} possède de l'énergie indépendamment de toute combustion. Il en est de même pour le système {objet-Terre}, indépendamment de tout mouvement. Mais il faut bien admettre que les élèves n'ont aucune raison de se poser la question de l'état énergétique initial. Les explications causales qu'ils fournissent sont logiques et leur donnent entière satisfaction.

2.4. Hypothèses quant au fonctionnement cognitif naturel des élèves

- ***Instauration d'un contrat didactique***

Les élèves sont en cours de sciences physiques, qui plus est en classe de Première S. Ils n'ignorent pas que la quasi-totalité de leur programme concerne l'énergie. Ainsi, ils savent que les situations qui leur sont soumises appellent une analyse en termes énergétiques (nous ne prétendons évidemment pas qu'il en serait ainsi des mêmes situations dans un autre contexte).

- ***Prédominance d'une intuition sensible***

La lecture que les élèves font des situations physiques est guidée par leur intuition sensible ce qui entraîne trois conséquences.

- Ils ne perçoivent le bien-fondé d'une analyse énergétique que pour les phénomènes donnant lieu à des effets directement perceptibles. C'est ce qui nous amène à employer le terme "d'énergie en action" pour qualifier cet aspect des conceptions des élèves.

- Les concepts d'énergie potentielle macroscopique d'une part, d'énergie potentielle liée aux interactions dans la matière d'autre part, sont très peu mobilisés dans leurs analyses.

- Le principe de conservation ne constitue pas un outil opérationnel au service de leurs raisonnements.

- ***Prédominance des explications linéaires causales***

Nous ne revenons pas sur ce point déjà envisagé dans le paragraphe 1.

2.5. Plausibilité de nos hypothèses

On peut ainsi comprendre la logique des étudiants post-baccalauréat dans les situations présentées au paragraphe 1.1. Même après un enseignement relativement poussé, ceux-ci ne reconnaissent pas certaines formes d'énergie (les énergies internes liées aux interactions dans la matière).

les difficultés
des lycéens
semblent pouvoir
s'expliquer
par un petit
nombre
d'hypothèses...

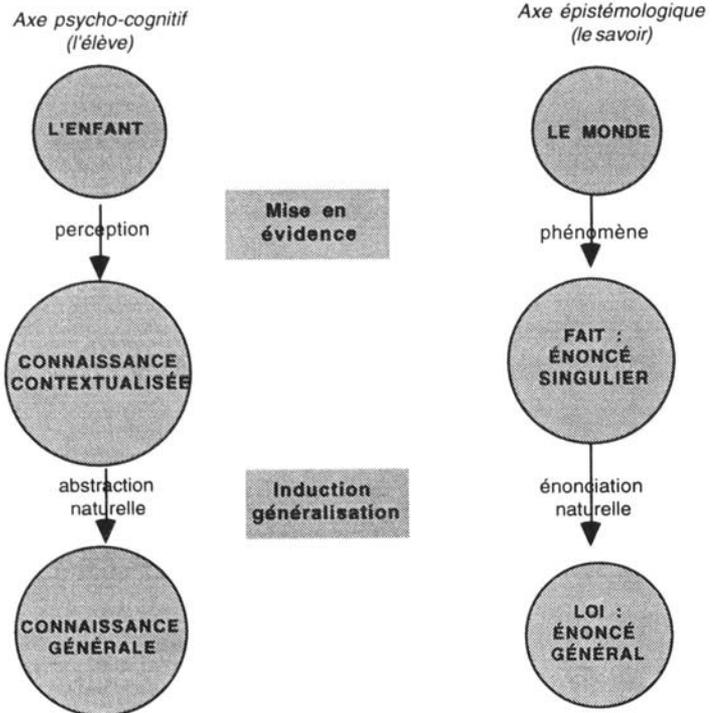
... parmi lesquelles la non-reconnaissance de certaines formes d'énergie...

Appliquer le principe aux seules formes reconnues (température dans nos exemples) conduit bien évidemment à des incohérences dont nous ne sommes pas en mesure de dire si elles sont ou non perçues par les étudiants. Toujours est-il qu'une majorité d'entre eux n'évoque jamais le principe de conservation. Peut-être poussés par la contrainte de fournir une explication, ils trouvent refuge dans l'application illicite de lois en dehors de leur domaine de validité (U ne dépend que de T... oui, mais pour un gaz parfait et non pour un morceau de plomb !).

... mais aussi la représentation que se font les enseignants de l'élaboration des connaissances

Dans un autre ordre d'idées, différentes recherches en France (Robardet, 1995) ou à l'étranger (Guilbert, Meloche, 1993 ; Désautels *et al.*, 1993) ont tenté de caractériser l'épistémologie implicite des enseignants débutants ou en exercice. Les résultats sont en grande partie convergents et permettent d'identifier une représentation majoritaire que G. Robardet qualifie de naturaliste. Selon celle-ci, la connaissance s'élaborerait naturellement en prenant appui sur la perception. Le rôle du professeur serait donc de mettre en évidence les éléments pertinents par une observation ou une expérience judicieuse. C'est ainsi que s'opèreraient chez l'élève induction et généralisation. Le schéma suivant (Robardet, 1995, p. 210) illustre cette représentation.

LA REPRÉSENTATION NATURALISTE
correspondance entre deux évolutions naturelles



C'est sans doute cette représentation qui conduit certains manuels à introduire la notion d'énergie potentielle à partir de l'observation d'un barrage ou celle d'énergie chimique à partir de l'observation d'une plante verte !

2.6. Présentation et délimitation de notre travail

Il s'est déroulé en milieu scolaire et nous n'avons aucune certitude qu'il puisse porter ses fruits en dehors de ce contexte. Autrement dit, même si notre ambition est de produire chez les élèves des apprentissages pouvant fonctionner hors de l'école, nous n'avons aucun moyen de nous en assurer.

De même, nous avons dû très rapidement demander aux élèves d'élaborer des bilans énergétiques. Nous pouvons espérer qu'une pratique régulière de ceux-ci, associée à la prise de conscience progressive de leur pertinence, peut amener les élèves à mener des raisonnements moins systématiquement fondés sur une causalité linéaire. Mais il s'agit là d'une hypothèse que notre travail ne permet pas de valider.

l'obstacle
essentiel
nous semble être
l'intuition sensible

En revanche, nous avons cherché à mettre au point et à tester une stratégie didactique susceptible d'amener les élèves à des raisonnements moins guidés par leur intuition sensible qui, selon nous, constitue un obstacle aux acquisitions scientifiques.

L'objectif est d'aider l'élève à passer d'un fonctionnement cognitif naturel (au sens où nous venons de le discuter) à une pensée scientifique. Dans le cadre de notre investigation, nous retenons comme caractéristique de celle-ci, le contrôle permanent de la cohérence. Il s'agit tout aussi bien de cohérence interne (pas de contradiction logique dans les théories et les modèles manipulés) que de cohérence externe (correspondance avec le réel, dans le cadre d'un domaine de validité explicite).

3. PRINCIPES DIRECTEURS DE NOTRE DÉMARCHE D'ENSEIGNEMENT

Depuis plusieurs années déjà, les travaux d'A. Weil-Barais et de G. Lemeignan sur l'apprentissage des concepts de mécanique ont mis l'accent sur la difficulté de leur construction. Ce sont (comme la plupart des concepts des sciences physiques) des concepts formels qui ne disposent pas d'une représentation concrète dans le monde réel. En outre, ils ne prennent leur sens qu'en relation avec d'autres concepts tout aussi formels. C'est pourquoi il paraît illusoire de vouloir organiser un apprentissage efficace autour de l'observation de phénomènes ou d'expériences permettant de "faire sentir" le concept, d'autant, comme on l'a vu, que certaines de ses composantes ne font pas partie de l'expérience sensible. Une autre voie doit être imaginée, que nous

présenterons dans le paragraphe 3.2., après avoir porté un rapide coup d'œil sur l'histoire des sciences qui nous a en partie inspirés.

3.1. Détour historique

l'histoire nous apprend que l'élaboration du concept d'énergie ne doit pas grand-chose à la perception sensible des savants...

C'est en cherchant à élaborer un édifice cohérent permettant de fournir un cadre théorique unique à des phénomènes issus de champs considérés jusqu'alors distincts que s'est constitué le principe de conservation de l'énergie. Mais simultanément et en interaction avec celui-ci, ont été développés des concepts jouant maintenant un rôle central. La notion d'énergie interne ne s'est jamais imposée antérieurement au principe de conservation. C'est parce qu'elle était nécessaire pour la cohérence de la théorie que Clausius et Thomson ont introduit cette grandeur. C'est également selon cette même logique que s'est constitué le concept d'énergie potentielle. Bien qu'il ait été pressenti par Helmholtz (Halbwachs, 1981), il semble s'être imposé comme une nécessité au moment où l'on cherchait à étendre le principe de conservation non plus au champ de la thermodynamique, mais à l'ensemble des phénomènes physiques, notamment ceux de la mécanique (Taton, 1961). Insistons sur ce point : des esprits brillants comme Descartes (formulation d'un principe d'équivalence entre travail moteur et travail résistant), Leibniz (force vive), Lagrange (élaboration du formalisme de la mécanique analytique) n'ont pas ressenti la nécessité du concept d'énergie potentielle, ce qui nous semble justifier notre affirmation selon laquelle les élèves de Première ne peuvent pas en avoir une idée intuitive et qui nous conduit à la seule alternative possible : ces concepts doivent être construits. Nous suivrons une piste analogue à la démarche historique : c'est en demandant aux élèves d'appliquer le principe de conservation dans un champ de plus en plus large, qu'ils parviendront dans les meilleures conditions à construire le concept d'énergie dans tous les aspects correspondant à la classe de Première.

... mais plutôt à leur volonté d'élaborer un édifice théorique cohérent...

3.2. Le rôle du principe de conservation

Le principe de conservation joue donc un rôle central dans la démarche que nous proposons. Il est énoncé sous la forme suivante que l'on ne cherche pas à préciser davantage pour l'instant.

Dans un système (1) quelconque, l'énergie ne peut être ni créée ni détruite.

-
- (1) Le terme système a été précédemment défini comme un objet, un regroupement de plusieurs objets, ou encore comme une partie d'un objet. On se référera au rapport de recherche de G. Lemeignan et A. Weil-Barais (1990 b) pour comprendre précisément les raisons du passage des "objets" aux "systèmes". Toutefois, devant les difficultés rencontrées par les élèves à accepter la matérialité des systèmes (voir le § 6.2), nous avons fréquemment adopté des formulations moins rigoureuses en parlant de l'énergie attribuée à tel ou tel objet.

... organisé autour
d'un principe
de conservation

Si un système perd ou gagne de l'énergie, elle est obligatoirement prise ou cédée à un autre.

Son statut de principe est clairement affirmé : il s'agit d'une hypothèse, imaginée par les physiciens, qui n'est pas démontrable, mais qui constitue l'un des fondements de la discipline (2). Nier un principe, et notamment celui de la conservation de l'énergie, est impossible sans révolutionner toutes les sciences physiques.

La démarche que nous proposons et qui constitue l'originalité de notre travail consiste à examiner tout un ensemble de situations, éventuellement surprenantes ou énigmatiques, à la lumière du principe de conservation pour continuer à identifier et à préciser les différentes manifestations de l'énergie.

C'est la logique du principe de conservation qui conduit à de nouvelles conceptualisations. Le fil directeur est la cohérence théorique de l'édifice.

3.3. Cheminement intellectuel souhaité chez les élèves

Au moment où le principe est énoncé, les élèves disposent donc de quelques points de repères intuitifs (qui ont fait l'objet de la discussion du paragraphe 2.2), mais seulement de ceux-ci.

les élèves
vont s'appuyer
sur leurs
connaissances
initiales...

Comme tout apprentissage, celui du concept d'énergie doit assumer une dialectique entre continuité et rupture. Continuité, parce que les connaissances initiales constituent le filtre à travers lequel les élèves décodent les situations qui leur sont proposées, les comprennent et s'y investissent. Rupture parce qu'à un certain moment, il faut bien changer de système de représentations. La démarche est classique. Il s'agit de s'appuyer sur la notion intuitive d'énergie disponible chez les élèves pour la transformer. Mais c'est à l'élève lui-même de contrôler sa connaissance, c'est-à-dire d'apprécier si elle est suffisante ou si elle doit évoluer. Le plus souvent, la procédure de contrôle dont il dispose est une confrontation à une ou plusieurs expériences qui ont valeur de test. Mais à l'inverse de nombreux domaines des sciences physiques, celui que nous abordons

... pour construire
un sens
plus élaboré...

(2) On explique souvent aux élèves qu'un principe est une affirmation qui, sans jamais avoir été démontrée, n'a jamais été mise en défaut. Cette explication est, de notre point de vue, insuffisante car trop faible. Un principe n'a pas vocation à être mis à l'épreuve. Si une contradiction apparente se présente, l'activité scientifique s'oriente vers la recherche de ce qui permettra de "sauver le principe". Cette démarche est typique en physique des particules. Lorsque l'analyse d'un cliché semble mettre en défaut l'un des principes fondateurs du domaine, les scientifiques imaginent l'existence d'une nouvelle particule à laquelle ils attribuent toutes les caractéristiques *ad hoc* de façon à assurer l'ensemble des principes de conservation. L'histoire montre que l'abandon d'un principe constitue une véritable révolution scientifique, au sens donné par Kuhn (1970).

... non en
faisant appel
à leur intuition
sensible, mais
en réfléchissant
à la cohérence
de leurs
interprétations

ne se prête pas à validation expérimentale. Il nous faut donc compter sur une autre procédure de contrôle de la pensée : la cohérence théorique. Nous fournissons donc aux élèves le principe de conservation, faute de quoi nous ne voyons pas comment leurs connaissances initiales pourraient évoluer. Nous leur demandons ensuite d'appliquer l'ensemble avec rigueur et d'en contrôler en permanence la cohérence.

Le cheminement intellectuel souhaité chez les élèves est donc le suivant :

"Telle manifestation de l'énergie n'est pas intuitive, elle est toutefois nécessaire pour ne pas contredire le principe de conservation."

Ce choix didactique s'oppose à ceux qui visent à "faire sentir" toutes les formes d'énergie aux élèves, puis à les utiliser quantitativement à l'aide du principe de conservation. Par exemple, on "fait sentir" énergie cinétique et énergie potentielle de pesanteur, puis on applique le principe de conservation pour déduire la relation classique de la chute des corps. Ou encore, après avoir "fait sentir" l'idée d'énergie chimique, on apprend à mesurer une chaleur de réaction. En prenant ainsi appui sur des idées peu disponibles chez les élèves, on ne provoque pas d'acquisitions durables.

La démarche que nous avons imaginée ayant été détaillée, il nous faut préciser la manière dont sont organisées les activités proposées. Ce point est tout aussi important et conditionne également la réussite d'un apprentissage.

3.4. Organisation des activités

Chaque séance se déroule selon la même chronologie.

cela suppose
une organisation
de la classe
laissant
aux élèves
le temps
de mettre
en œuvre
leur propre
logique
et de débattre
entre eux

- Phase 1 : recherche par groupes de 3 ou 4. Quelques situations sont proposées. Chaque groupe réfléchit à leur traduction énergétique, et explique par écrit comment s'applique le principe de conservation. Les tâtonnements et les erreurs, inévitables pendant cette phase, ne sont pas une perte de temps, mais l'assurance que les élèves sont véritablement "entrés" dans les difficultés. S'ils résolvent seuls la situation, cela contribue à les conforter dans leur autonomie et constitue pour eux un progrès notable. Leurs connaissances et leur manière de raisonner sont ainsi consolidées. S'ils échouent, les explications ultérieures interviendront en réponse à leurs difficultés. Ils seront donc réceptifs tant aux arguments de leurs pairs qu'à la synthèse du professeur.

- Phase 2 : mise en commun et débat.

- Phase 3 : synthèse du professeur. Elle est l'occasion d'un apport théorique, mais aussi d'une aide aux élèves pour ordonner leur pensée et mettre en cohérence l'ensemble complexe des informations qu'ils reçoivent.

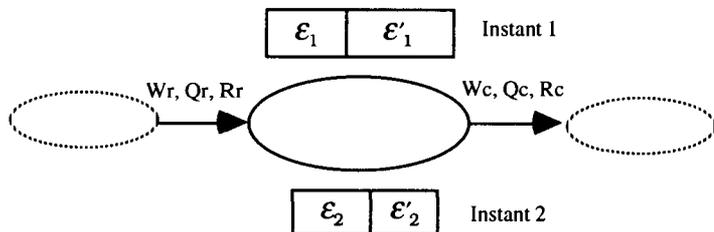
3.5. Sur le rôle de la symbolisation

La maîtrise des concepts passe par celle des raisonnements qui les rendent efficaces. C'est pourquoi nous imposons une symbolisation rigoureuse dont le but est d'aider à rendre le principe de conservation opérationnel. Son caractère contraignant interdit de "noyer le poisson" dans des formules sibyllines trop souvent employées à mauvais escient dans les manuels de 1988 (Rolando, 1993) telles que "*transformation de travail en chaleur* (3)" ou encore "*chaleur dégagée par une réaction chimique élevant la température du calorimètre et de son contenu* (4)".

une symbolisation rigoureuse aide à rendre le principe opérationnel

- Les systèmes sont représentés par des "bulles" en traits pleins pour celui qui est étudié, en pointillés pour ceux qui sont en interaction avec lui.
- Les transferts (Q pour chaleur, W pour travail, R pour rayonnement) sont représentés par des flèches indiquant leur sens. Les indices sont "r" pour "reçu" et "c" pour "cédé".
- Les formes d'énergie sont représentées par des rectangles (en pratique on ne représente que celles qui varient) qui obéissent aux règles suivantes : ils sont positionnés en haut pour l'instant 1, en bas pour l'instant 2 ; leur surface varie dans le même sens que la valeur de l'énergie qu'elle représente.

Exemple :



L'application du principe de conservation s'écrit (5)
 $(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}'_1) + (W_r + Q_r + R_r) = (\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}'_2) + (W_c + Q_c + R_c)$

- (3) Des formulations comme celle-ci doivent bien sûr être examinées à la lumière des systèmes choisis. Ceux-ci sont le plus souvent mal définis, mais, dans de nombreux cas, l'analyse serait plus convaincante en terme de travail reçu par un système et d'augmentation de son énergie interne. Une augmentation de la température d'un corps est trop souvent interprétée en utilisant (parfois à tort) le terme de chaleur.
- (4) Si l'on veut faire admettre aux élèves que la chaleur est un mode de transfert de l'énergie, il faut proscrire l'usage de ce terme lorsqu'un seul système est en jeu (cas du calorimètre isolé).
- (5) Nous donnons aux élèves une formulation arithmétique de la conservation : "énergie initiale + transferts reçus = énergie finale + transferts cédés".

Muni du principe de conservation et des outils qui permettent de l'appliquer, habitué peu à peu à la démarche, l'élève est censé progresser ainsi dans l'élaboration du concept d'énergie.

3.6. Rôle du professeur

• Pendant la phase 1

Il est de faire respecter les consignes et d'inciter à utiliser les outils disponibles qui s'élaborent progressivement au fil des différentes situations. Les professeurs ayant expérimenté notre protocole disposaient de l'aide-mémoire suivant destiné à les aider dans le choix de leurs interventions, de manière à aider les élèves sans leur fournir la solution.

- *Le système est-il bien défini ? Est-ce bien toujours le même aux différents instants de l'analyse ?*
- *Les instants entre lesquels s'effectue le bilan sont-ils bien précisés ?*
- *Pour chaque système étudié a-t-on bien indiqué toutes les formes d'énergie possédées et leur sens de variation ? A-t-on donné les raisons qui permettent de prévoir le sens de la variation ? A-t-on été attentif à employer le bon vocabulaire ?*
- *Pour chaque système étudié, a-t-on précisé les transferts (cédés ou reçus) avec d'autres systèmes ? A-t-on été attentif à employer le bon vocabulaire ?*
- *N'a-t-on rien oublié dans l'écriture du principe de conservation ?*

le professeur doit guider sans fournir la solution...

• Pendant la phase 2

Le professeur met en évidence les différents raisonnements en s'efforçant à chaque fois de recentrer le problème : *"Comment peut-on expliquer cette situation en appliquant le principe de conservation ? Telle proposition de tel groupe le respecte-t-elle ? Pourquoi ?"* Il ne donne encore aucune indication sur le raisonnement qui devra être assimilé.

Il est indispensable, durant ces deux phases, que le professeur sache s'effacer en privilégiant le débat entre élèves devant ses propres interventions.

... et savoir s'effacer en privilégiant le débat entre élèves

• Pendant la phase 3

Le professeur retrouve son rôle traditionnel. Mais il ne faut pas perdre de vue que sans les moments préalables de recherche et de débat, le discours de l'enseignant reste trop souvent sans écho et la connaissance qui en résulte est locale, ponctuelle et (hélas) volatile.

4. DU PRINCIPE DE CONSERVATION AUX CONCEPTS D'ÉNERGIE INTERNE CHIMIQUE ET D'ÉNERGIE POTENTIELLE

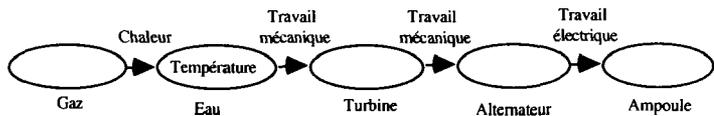
4.1. Situations utilisées et raisonnements attendus

• *Énergie interne chimique*

Elle est introduite à partir de la situation énigmatique suivante, que nous présentons telle qu'elle est donnée aux élèves.

“Lors de la première séance, on a réussi à allumer une ampoule à l'aide d'un auto-cuiseur chauffé à partir d'une bouteille de gaz. Interpréter cette situation à l'aide du principe de conservation de l'énergie.”

À ce stade, les élèves disposent du principe de conservation et de la méthode des bilans énergétiques qui leur a été présentée en même temps que ce dernier. Ils sont parvenus à une schématisation telle que la suivante (voir fin du § 2.1).



L'objectif est de les amener à mettre en œuvre un raisonnement dans lequel ils comprennent :

comment rendre
nécessaire
le concept
d'énergie
chimique ?...

- qu'une forme d'énergie doit nécessairement être affectée en début de chaîne (faute de quoi le principe ne serait pas respecté) ;
- que celle-ci est localisée dans le gaz (6) ;
- qu'elle est de nature chimique ;
- que cette énergie chimique doit être attribuée au gaz même s'il n'est pas en train de brûler (car sinon le principe serait en défaut).

• *Énergie potentielle de pesanteur*

Elle s'élabore à l'issue de l'analyse d'une chute. Entre autres exemples, nous avons utilisé la situation "objet qui tombe → ampoule".

“Lors de la première séance, on a réussi à allumer une ampoule à l'aide d'un objet. Interpréter cette situation à l'aide du principe de conservation de l'énergie.”

... ou celui
d'énergie
potentielle ?

De même que dans le cas de l'énergie chimique, les élèves doivent aboutir au concept d'énergie potentielle de pesanteur, à partir d'arguments fondés sur la non-contradiction du principe de conservation de l'énergie :

(6) Le professeur attend la synthèse pour préciser que c'est le système {gaz-oxygène} qui doit être considéré.

- une forme d'énergie doit être affectée à l'objet ;
- elle dépend de son altitude ;
- elle doit lui être attribuée même s'il est immobile.

4.2. Le cœur du débat

ils deviennent
nécessaires
lorsque les élèves
perçoivent
que sans eux
la cohérence
de l'édifice
ne peut pas être
assurée

Nous avons déjà signalé (voir paragraphe 2.3) que les élèves, au début de ce travail, fixent spontanément leur attention sur l'action qui se déroule devant leurs yeux (le gaz brûle, donc il chauffe l'eau de l'auto-cuiseur ; l'objet, dans sa chute, déroule la ficelle) sans se poser la question de l'état énergétique initial du système. C'est la traduction énergétique de ces situations, associée à une contrainte forte et non-discutable (respecter le principe de conservation) qui conduit en fin de compte à attribuer de l'énergie au gaz avant qu'il s'enflamme et à l'objet avant qu'il tombe.

4.3. L'enjeu de l'activité

Au moment de la synthèse, le professeur tranche éventuellement les débats et fixe le vocabulaire. Mais son rôle essentiel est d'aider à cette conceptualisation. Le gaz, tout comme l'objet, ne possède rien au sens réaliste du terme "posséder". Mais la cohérence du système théorique impose de leur attribuer cette "entité abstraite" qu'on appelle "énergie". Celle-ci est bien une production intellectuelle et non une donnée sensible.

l'objectif
est de permettre
le passage
d'une pensée
intuitive
à une pensée
auto-contrôlée
par le souci
de la cohérence

Au-delà du concept d'énergie, cette démarche nous paraît essentielle dans l'apprentissage des sciences physiques. À la suite de Bachelard (1949), nous visons à ce que les élèves passent progressivement d'une pensée guidée par l'intuition réaliste, à un raisonnement auto-contrôlé par le souci de la cohérence. C'est sans doute un obstacle majeur, mais qui représente bien l'objectif essentiel de notre travail. On peut, par cette voie, espérer qu'ils vont parvenir à construire des concepts de manière à ce qu'ils deviennent de véritables outils et non seulement de simples objets d'enseignement. C'est à terme l'autonomie intellectuelle des élèves qui est visée, et leur aptitude à apprécier eux-mêmes la cohérence des raisonnements qu'ils mènent.

Cette démarche que nous venons d'illustrer à propos de l'énergie potentielle et de l'énergie chimique est donc appliquée systématiquement. Nous allons préciser, dans le paragraphe suivant, comment nous la mettons en œuvre en vue de construire le concept de chaleur (au niveau d'élaboration correspondant à la classe de Première S).

5. DU PRINCIPE DE CONSERVATION AU CONCEPT DE CHALEUR

Avant même de venir en classe de physique, les élèves ont une idée de ce qu'est la chaleur. Celle-ci est très fruste et fortement attachée à la notion de température. Elle comporte des aspects corrects (*"lorsqu'un corps chaud est au voisinage immédiat d'un corps plus froid, il lui cède de la chaleur"*), mais également des associations erronées (*"si la température d'un système augmente, c'est qu'il a reçu de la chaleur"* ; *"si un système reçoit de la chaleur, sa température augmente nécessairement"*). Nous pensons possible de nous appuyer sur ces idées pour les faire évoluer. Durant les premières séances, nous avons demandé aux élèves de s'astreindre à une rigueur de vocabulaire en désignant par des termes spécifiques la grandeur énergétique associée à la température d'un système (appelée "énergie interne de température") et la grandeur représentant le transfert (appelée "chaleur"). À partir de là, c'est encore une fois en analysant à la lumière du principe de conservation quelques situations judicieusement choisies que va s'opérer cette évolution.

le concept de chaleur peut s'élaborer en suivant la logique du principe de conservation...

5.1. Chaleur, température et énergie chimique

Diverses situations peuvent être exploitées. Nous avons travaillé sur les deux suivantes.

- *"Dans un calorimètre, on verse une solution de sulfate de cuivre (II) et de la poudre de zinc. Le calorimètre est fermé immédiatement. On constate une élévation de température. Utiliser le principe de conservation de l'énergie pour interpréter cette constatation."*
- *"La même expérience est réalisée dans un récipient non isolé et ouvert. La poudre de zinc est introduite par petites quantités successives en agitant régulièrement. Lorsque tout est terminé, on ne constate pas de variation de température notable."*

... par différenciation avec l'énergie interne chimique...

La première expérience dérange l'intuition des élèves (même s'ils ont déjà rencontré des réactions exothermiques). En effet ils ne parviennent pas immédiatement à concilier le principe de conservation de l'énergie avec l'effet thermique. Si la température augmente, c'est que l'énergie interne de température augmente. Or le calorimètre ne permet pas de transfert avec l'extérieur, donc le principe de conservation de l'énergie paraît en défaut... (!) C'est cette contradiction apparente qu'ils doivent dépasser en admettant qu'une autre forme d'énergie du système (calorimètre, milieu réactionnel) a diminué. Cette interprétation, si elle est correctement construite par les élèves, représente un progrès significatif : une variation de température n'est pas expliquée en faisant référence à la chaleur.

Dans la deuxième expérience, l'énergie interne de température n'a pas varié, mais l'énergie interne chimique a dimi-

nué, puisque la réaction s'est effectuée. Cette diminution de l'énergie interne totale s'interprète par un transfert vers l'extérieur.

5.2. Transferts d'énergie à l'environnement

Voici deux situations sur lesquelles les élèves ont travaillé : l'arrêt d'une automobile sous l'action du freinage ; l'arrêt d'un ballon sous l'action du contact avec le sol et l'air.

Dans le premier cas, une élévation de température notable a lieu au niveau des freins. Ceux-ci se trouvent alors à une température supérieure à celle de l'environnement. Lorsque le bilan est réalisé entre des instants très rapprochés, on est dans un cas similaire à celui qui a été détaillé dans le paragraphe précédent : la variation de température d'un système s'interprète sans référence à la chaleur. Si les instants sont suffisamment éloignés, la situation s'interprète par transfert de chaleur à l'environnement.

... par
différenciation
avec
la température...

Envisageons maintenant la seconde situation dans laquelle il est question d'un ballon qui roule sur un sol horizontal et qui finira bien par s'arrêter. Comment savons-nous qu'il transfère de l'énergie à l'environnement (ce que jamais personne n'a d'ailleurs mesuré...) ? Qu'est-ce qui nous prouve que l'énergie interne de l'air et du sol augmente ? Une fois de plus c'est le principe de conservation qui nous guide... S'il n'en était pas ainsi il faudrait reconstruire la physique... Les transferts s'effectuent ici sans variation de température perceptible. Là encore, on peut affirmer qu'une analyse correcte est l'indicateur d'un progrès dans l'élaboration des concepts de température et de chaleur.

5.3. Chaleur, température et changement d'état physique

Les objectifs visés dans ce dernier volet sont du même ordre que dans les paragraphes précédents en ce qui concerne les relations et les différences entre chaleur et température. Ce faisant, c'est aussi l'occasion d'introduire une forme d'énergie nouvelle (énergie interne physique) par le même processus : la logique du principe de conservation. La situation classique d'ébullition se prête tout à fait bien à cette analyse à condition qu'elle soit présentée comme une énigme à résoudre : *"Comment expliquer par le principe de conservation que la température de l'eau n'augmente pas alors qu'elle reçoit en permanence de la chaleur ?"*

Nous avons également exploité une autre situation que nous proposons ci-dessous, *"la soupe de Toto"* :

"Pour refroidir son assiette de soupe trop chaude, Toto met un peu de beurre. Son frère, dont l'assiette contient la même quantité de soupe à la même température, préfère mettre un peu de lait. Au bout de quelques instants, la soupe de Toto a bien refroidi alors que celle de son frère est encore trop

... par
différenciation
avec l'énergie
interne physique

chaude. Pourtant, le beurre et le lait étaient à la même température et ont été utilisés en même quantité. Interpréter cette situation..."

Nous avons tenu, par cette formulation volontairement imprécise concernant la "quantité" de beurre et de lait, à éviter des explications liées à des "quantités" différentes de beurre et de lait : Toto aurait pu mettre beaucoup de beurre alors que son frère n'aurait ajouté que quelques gouttes de lait... À ce moment de la démarche, les élèves ne disposent pas du concept de capacité thermique massique. Cette formulation nous semble donc adaptée à nos objectifs : contraindre les élèves à s'engager dans une réflexion sur l'influence du changement d'état.

6. ÉLÉMENTS D'ÉVALUATION

6.1. Méthodologie

Après une pré-expérimentation menée en 1994-95, le protocole a été réajusté et testé en 1995-96 dans trois nouvelles classes de Première S.

Toutes les données ont été recueillies pendant les séances, donc en cours d'apprentissage. Elles sont de deux types.

- ***Des traces écrites récupérées immédiatement après le moment de recherche***

Ce sont donc des productions de groupes. Dans la mesure où le professeur pouvait intervenir pendant cette phase, il n'est pas sûr qu'elles soient intégralement l'émanation des seuls élèves.

- ***Des discussions entre élèves, enregistrées lors des phases 1 et 2***

Elles permettent de repérer les interventions du professeur, et constituent donc un outil intéressant pour suivre le cheminement intellectuel des lycéens. Nous avons suivi ainsi 6 groupes de 3 élèves pendant l'ensemble des séances. Tous les enregistrements ont été transcrits. La lecture a été menée sans recourir aux techniques d'analyse de contenu.

Ainsi, les éléments d'évaluation présentés ci-dessous doivent être envisagés avec la prudence qui convient. Nous les considérons comme des résultats provisoires dont la vocation est de fournir des hypothèses pour d'autres études plus fines.

Le dépouillement que nous avons effectué a été guidé par le souci d'évaluer les aspects suivants.

- Les élèves se satisfont-ils d'une explication en termes d'énergie en action ou cherchent-ils à contrôler leurs énoncés par le principe de conservation ?

l'expérimentation
menée
est source
d'hypothèses
pour
une recherche
plus approfondie

- Dans quelle mesure parviennent-ils à élaborer le concept visé par la situation qui leur est proposée ?

6.2. Présentation de nos résultats

- **Prédominance des raisonnements faisant intervenir l'énergie en action**

Cet aspect est particulièrement net au cours des activités visant à construire les énergies potentielles de pesanteur et chimique (cf. § 4).

Commençons par noter que quelques rares groupes sont proches de la conceptualisation. Nous considérons qu'il en est ainsi lorsque l'explication fournie fait explicitement référence à un système (le combustible, l'objet immobile) et non à une action qui se déroule (combustion, mouvement). Exemple :

"Il y a, au départ, de l'énergie due au combustible."

Le même groupe écrit, à propos de la deuxième situation :

"Puisque l'énergie ne se crée pas spontanément, donc, au départ, lorsque l'on tient la masse, elle possède une énergie due à son poids."

Mais la plus grande partie se satisfait d'un raisonnement en termes d'action. Exemples :

"Dans ce système, l'énergie est tirée de la combustion du gaz."

"L'énergie provient de la chaleur produite par la flamme du gaz."

Ou encore :

"Cette énergie est due au mouvement pendant la chute."

"Lorsqu'on lâche la masse, sa chute se transforme en énergie cinétique. Le phénomène qui permet la chute de la masse est l'attraction terrestre".

En revanche, les séances observées montrent qu'il est possible d'amener une classe à débattre des questions centrales une fois que le professeur les a fait émerger : doit-on attribuer de l'énergie au gaz avant qu'il s'enflamme ? Doit-on attribuer de l'énergie à l'objet lorsqu'il est immobile ? Cela conduit à des échanges souvent passionnés entre les élèves reconnaissant qu'il est nécessaire, pour la cohérence du principe, de répondre par l'affirmative à ces questions, et ceux qui ne parviennent pas à dépasser le stade de l'intuition sensible : "puisque'il ne se passe rien, il ne peut pas y avoir d'énergie". Nous reproduisons en annexe I certains passages significatifs des débats qui se sont déroulés dans une classe sur cette difficile question.

- **Difficultés observées lors de l'application du principe de conservation**

Assez rapidement les élèves comprennent la logique qui leur est demandée : puisque l'énergie ne peut pas être créée, il faut qu'elle vienne de quelque part.

Indépendamment du caractère potentiel de certaines formes d'énergie, nous avons repéré deux autres difficultés.

- La notion de système reste longtemps très floue malgré les contraintes imposées (symbolisation des "réservoirs" d'énergie) et les synthèses successives du professeur. La matérialité du système a du mal à s'imposer. Lorsque le professeur intervient pour demander de préciser où est localisée l'énergie, les élèves répondent volontiers "*dans la combustion*", "*dans le mouvement*" ou encore "*dans la gravité*", "*dans la force musculaire*"... Peut-être est-ce une facette différente de la difficulté précédente : refusant d'affecter de l'énergie à un système qui n'évolue pas, ils le font à ce qu'ils identifient comme étant la cause du changement. Peut-être aussi s'agit-il d'un effet de contrat : il faut fournir une explication...

- Certains élèves semblent considérer la question de l'état énergétique initial comme stérile car pouvant se poser "en cascade" autant de fois qu'on le veut. Lorsqu'ils tentent une réponse, il est fréquent que le professeur leur renvoie la même question "*oui, mais d'où vient l'énergie dont tu parles ?*" Ainsi, certains élèves (une minorité toutefois) semblent prisonniers d'un jeu qui, selon eux, ne se termine pas, un peu à la manière des "poupées gigognes". Le passage suivant, tiré d'une discussion entre deux élèves est révélateur.

E1 — *L'énergie est toujours tirée de quelque part, alors l'énergie de la combustion est tirée d'où ?*

E2 — *On sait pas... c'est pas notre boulot !*

Une dizaine de minutes plus tard, après la synthèse du professeur sur cette question, les mêmes élèves continuent la discussion.

E1 — *Le gaz, quand il brûle pas, il a de l'énergie ? Mais il la tire d'où ?*

E2 — *On sait pas encore, on verra...*

Si la première réplique de l'élève E1 laisse penser qu'il a perçu le problème, on s'aperçoit un peu plus tard qu'il ne s'est pas rendu compte qu'il avait été résolu ! Quant aux interventions de l'élève E2, elles laissent transparaître une certaine philosophie, voire sans doute un soupçon de démission.

• **Vers une construction plus solide des concepts ?**

Chaque concept abordé a donné lieu à plusieurs séances de travail, au cours desquelles les élèves, sans qu'ils en soient informés, devaient opérer un réinvestissement de leurs acquis dans des situations aussi différentes que possible. La consigne est toujours la même (interpréter une situation à l'aide du principe de conservation) et la méthode de travail également (recherche, débat, synthèse).

- S'agissant par exemple du concept d'énergie chimique, la situation suivante a été proposée.

elle révèle
à la fois
des difficultés...

“Un enfant, initialement immobile sur une balançoire, peut réussir à s'élaner sans toucher le sol. Il se met ainsi en mouvement.”

L'annexe II présente quelques productions significatives. Tout n'est bien sûr pas idyllique...

Certains groupes (production 1 et début de la production 3) cherchent à expliquer le mécanisme de la mise en mouvement au lieu d'entreprendre une analyse énergétique.

La majorité des groupes parvient toutefois à une explication, même si elle est souvent mal formulée. Il faudrait par exemple savoir ce que représente l'énergie musculaire (production 3) ou encore connaître la forme de l'énergie “contenue dans le corps” (production 2). Mais enfin, le niveau de conceptualisation nous semble encourageant à ce stade de l'apprentissage.

À côté de cela, certaines productions (4 et surtout 5) sont d'excellente tenue.

- La situation concernant “la soupe de Toto” est sans doute la plus complexe que les élèves ont eu à traiter. Deux explications apparaissent dans les productions.

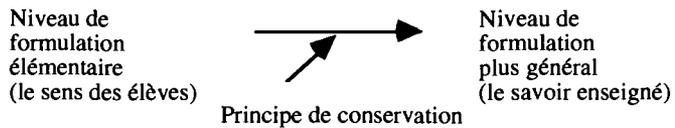
La première (exemple 1 de l'annexe III) fait référence à “une durée”, et ne conduit évidemment pas à la conceptualisation recherchée : la fusion du beurre n'étant pas instantanée, Toto est contraint d'attendre plus longtemps avant de goûter sa soupe, et ainsi elle a pu se refroidir davantage que celle de son frère...

Par contre, plusieurs groupes parviennent à une bonne compréhension du phénomène, et transfèrent avec plus ou moins de maîtrise les explications fournies par le professeur lors de la synthèse sur l'énergie chimique. La production 2 est très maladroite. Elle révèle des confusions (“*énergie potentielle d'interaction liée à la température*”) et nécessiterait une reformulation importante. La parenthèse (“*la structure du beurre est modifiée*”) est peut-être l'indice d'un début de construction du concept d'énergie interne physique. Les productions 3 et 4 souffrent de quelques imperfections (emploi inadéquat du mot “*chaleur*” dans le cas 3, sens de la variation dans le cas 4), mais l'idée essentielle est bien là. La production 5 est excellente.

... et des résultats encourageants

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La démarche que nous avons poursuivie n'est pas nouvelle. En s'appuyant sur leurs conceptions, les élèves s'engagent dans un processus de construction et parviennent dans une certaine mesure, à construire un sens plus élaboré. Cette évolution, bien sûr, n'est pas spontanée. Elle est possible grâce au principe de conservation qui est imposé arbitrairement. Les élèves l'utilisent pour examiner la cohérence de leurs analyses spontanées, ce qui les conduit à de nouvelles conceptualisations.

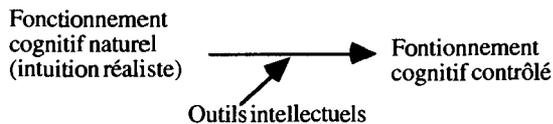


Cette approche nous a permis d'observer quelques progrès significatifs notamment dans la conceptualisation des grandeurs thermodynamiques élémentaires (énergie interne, chaleur, température). En ce sens elle contribue d'une part à élargir l'espace de choix des professeurs chargés de cet enseignement, et d'autre part à alimenter le débat sur la gestion des activités scolaires propices au dépassement des conceptions.

Les difficultés que nous avons pu observer ne sont pas étonnantes. D'une part les évaluations effectuées ont eu lieu, comme nous l'avons signalé, en cours d'apprentissage et non à la fin de celui-ci. D'autre part, la démarche demandée aux élèves est inhabituelle. Elle sollicite un engagement intellectuel important dans un processus de clarification essentiellement théorique. Elle impose donc une rupture avec la manière traditionnelle de se comporter pendant les cours de sciences physiques, qui s'apparente à ce que Gil-Perez (1993) qualifie de changement méthodologique.

Mais au-delà du sujet traité, il nous semble que les difficultés que nous avons rencontrées ne sont qu'une manifestation d'un problème plus général : celui de la formation d'une pensée scientifique. La résistance essentielle que nous avons rencontrée dans le cas de notre travail est ce que nous avons appelé l'intuition réaliste. Elle constitue selon nous un véritable obstacle au sens épistémologique du terme. S'en affranchir suppose (condition nécessaire mais sans doute pas suffisante) de donner aux élèves les outils intellectuels leur permettant un contrôle cognitif permanent sur leur pensée.

l'intuition réaliste constitue un obstacle épistémologique



la même démarche ouvre d'autres perspectives dans le domaine quantitatif

D'autres perspectives sont à envisager. La même démarche doit aussi pouvoir s'appliquer lorsqu'il s'agit de construire les relations exprimant une forme ou un transfert à partir des grandeurs physiques pertinentes (exemple : $W_e = UIt$, $E_k = 1/2mv^2$, etc.) Dans la logique des propositions que nous faisons, les situations didactiques sont organisées autour d'un problème d'ordre quantitatif : quelle forme mathématique faut-il donner à telle expression pour qu'elle soit en conformité avec le principe de conservation de l'énergie ? Cette piste a été fournie aux professeurs ayant coopéré à notre recherche, mais elle reste à être observée et analysée.

Plus généralement, tous les sujets dont la "clé de voûte" est un principe de conservation pourraient être abordés selon la même démarche. Nous pensons en particulier à la conservation de l'élément et à celle de la masse lors d'une réaction chimique, qui donnent souvent lieu à des introductions expérimentales douteuses. Ne serait-il pas plus satisfaisant tant du point de vue épistémologique que didactique, de postuler la conservation puis d'examiner ses conséquences ?

Pascal BALLINI,
Rectorat et MAFPEN Grenoble.
Guy ROBARDET,
IUFM et MAFPEN Grenoble.
Jean-Michel ROLANDO,
IUFM et MAFPEN Grenoble.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGABRA, DE MEESTER, LEMEIGNAN, (1980), "Documents et activités de l'élève : l'énergie" & "Compléments d'information : l'énergie", in *Sciences physiques, livre du professeur*, Hachette, Coll. Libre Parcours.
- BACHELARD, G., (1938), *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin.
- BACHELARD, G., (1949), *Le rationalisme appliqué*, Paris, P.U.F.
- BLISS, J., (1985), "Children's choices of uses of energy", in *European Journal of Science Education*, Vol. 7, n° 2, pp. 195,203.
- BOYES, E., (1990), "Pupils' ideas concerning energy sources", in *International Journal of Science Education*, Vol. 12, n° 5, pp. 513-529.
- BROOK, A., (1986), "Children's understanding of ideas about energy : a review of the literature", in *Energy matters : Proceedings of a Conference on the teaching of energy*, R. Driver, R. Millar, Eds, Center for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, pp. 33-45.
- BROOK, A., (1987), "Designing experiences to take account of the development of children's ideas : an example from the teaching and learning of energy", in *Proceeding of the second international seminar : misconceptions and educational strategies in science and mathematics*, J.D. Novak, Eds, Cornell University, Ithaca, N.Y., USA, Vol. 2, pp. 48-64.
- CACHAPUZ, A.F., MARTINS, I.P., (1987), "High school students' ideas about energy of chemical reactions", in *Proceeding of the second international seminar : misconceptions and educational strategies in science and mathematics*, J.D. Novak, Eds, Cornell University, Ithaca, N.Y., USA, Vol. 3, pp. 60-68.

CLOSSET, J.-L., (1983), *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*, Thèse, Paris 7.

DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B., RUEL, F., (1993), “La formation à l’enseignement des sciences : le virage épistémologique”, in *Didaskalia*, n° 1.

DRIVER, R., WARRINGTON, L., (1985), “Students’ use of the principle of energy conservation in problem situations”, in *Physics Education*, Vol.20, pp. 171-175.

GIL-PEREZ, D., (1993), “Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique”, in *Aster* n° 17, *Modèles pédagogiques* 2.

GIRAUDO, I., VIGLIETTA, L., (1989), “Idee degli allievi su conservazione e dissipazione dell’energia”, in *La Fisica nella Scuola*, Vol. 22, n° 2, pp. 95-102.

GUESNE, E., TIBERGHEN, A., DELACÔTE, G., (1978), “Méthodes et résultats concernant l’analyse des conceptions des élèves dans différents domaines de la physique. Deux exemples : les notions de chaleur et lumière”, in *Revue Française de Pédagogie*, n° 45.

GUILBERT, L., MELOCHE, D., (1993), “L’idée de science chez les enseignants en formation : un lien entre l’histoire des sciences et l’hétérogénéité des visions ?”, in *Didaskalia*, n° 2, pp. 7-30.

HALBWACHS, F., (1971), “Causalité linéaire et causalité circulaire en physique”, in *L’explication dans les sciences*, Flammarion.

HALBWACHS, F., (1981), “Histoire de l’énergie”, *CUIDE*, n° 18, Université Paris 7.

KUHN, T.S., (1970), *La structure des révolutions scientifiques*, 2^{de} édition, Flammarion, 1983 pour l’édition française.

KUHN, T.S., (1990), “Un exemple de découverte simultanée : la conservation de l’énergie”, in T.S. Kuhn, *La tension essentielle*, Gallimard, nrf (1959 pour la version originale).

LEMEIGNAN, G., WEIL-BARAIS, A., (1990 a), “Apprentissage des concepts en mécanique et modélisation de situations expérimentales”, *European Journal of Psychology of Education*, Vol. V, n° 4.

LEMEIGNAN, G., WEIL-BARAIS, A., (1990 b), *L’apprentissage de la modélisation dans l’enseignement de l’énergie*, Rapport de fin de contrat, Paris, LIRESPT, INRP.

LEMEIGNAN, G., WEIL-BARAIS, A., (1993), *Construire des concepts en physique*, Hachette, coll. didactiques.

LEMEIGNAN, G., WEIL-BARAIS, A., (1994), "Developmental approach to cognitive change in mechanics", in *International Journal of Science Education*, vol. 16, n° 1, pp. 99-120.

LIJNSE, P., (1990), "Energy between the life world of pupils and the world of physics", in *Science Education*, Vol. 74, n° 5, pp. 571-583.

MERLEAU-PONTY, J., (1979), "La découverte des principes de l'énergie : l'itinéraire de Joule", *Revue d'histoire des sciences*, XXXII/4.

OGBORN, J., (1986), "Energy and fuel - the meaning of the "go of things"", in *School Science Review*, n° 242, pp. 30-35.

ROBARDET, G., (1995), *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant*, Thèse, Grenoble 1.

ROBARDET, G., GUILLAUD, J.-C., (1993), *Éléments d'épistémologie et de didactique des sciences physiques : de la recherche à la pratique*, I.U.F.M. de Grenoble.

ROLANDO, J.-M., (1993), *Le concept de chaleur et sa transposition didactique dans l'enseignement secondaire scientifique français*, Université de Genève.

ROZIER, S., (1988), *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire*, Thèse, Paris VII.

ROZIER, S., (1991), "Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique", in *Actes du premier séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques*, Institut de Formation des Maîtres, Université Joseph Fourier, Grenoble, pp. 197-207.

SÉRÉ, M.-G., TIBERGHEN, A., (1983), *Les représentations des élèves de 6ème et leur évolution ; Température, chaleur - État gazeux*, Rapport de recherche, Paris, INRP, LIRESPT.

SOLOMON, J., (1983 a), "Learning about energy : how pupils think in two domains", in *European Journal of Science Education*, Vol. 5, n° 1, pp. 49-59.

SOLOMON, J., (1983 b), "Messy, contradictory and obstinately persistent : a study of children out-of-school ideas about energy", in *School Science Review*, Vol. 65, pp. 225-229.

SOLOMON, J., (1982), "How children learn about energy or Does the first law come first ?", *School Science Review*, Vol. 63.

TATON, R., (1961), *Histoire générale des sciences*, Tome 3, volume 1.

TIBERGHIEU, A., (1989 a), "Difficulté dans l'apprentissage de la physique : la structuration du monde matériel en physique et dans la vie quotidienne", in *Construction des savoirs : obstacles et conflits*, sous la direction de Bednarz Nadine, Garnier Catherine, Ottawa, Editions Agences d'ARC inc.

TIBERGHIEU, A., (1989 b), "Phénomènes et situations matérielles : quelles interprétations pour l'élève et pour le physicien ?", in *Construction des savoirs : obstacles et conflits*, sous la direction de Bednarz Nadine, Garnier Catherine, Ottawa, Editions Agences d'ARC inc.

TIBERGHIEU, A., (1991), "Analyse des contraintes sur un contenu d'enseignement élaboré dans le cadre de la recherche en didactique", in *Actes du premier séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques*, Institut de Formation des Maîtres, Université Joseph Fourier, Grenoble, pp. 151-171.

TIBERGHIEU, A., KOLIOPOULOS, D., (1986), "Éléments d'une bibliographie concernant l'enseignement de l'énergie au niveau des collèges", in *Aster* n° 2, *Éclairages sur l'énergie*, pp. 167-178.

TRUMPER, R., (1990), "Being constructive : an alternative approach to the teaching of the energy concept", in *International Journal of Science Education*, Part one : vol. 12, n° 4, pp. 343-354. Part two : vol. 13, n° 1, pp. 1-10.

VIENNOT, L., (1989 a), "Obstacle épistémologique et raisonnements en physique : tendance au contournement des conflits chez les enseignants", in *Construction des savoirs : obstacles et conflits*, sous la direction de Bednarz Nadine, Garnier Catherine, Ottawa, Editions Agences d'ARC inc.

VIENNOT, L., (1989 b), "Tendance à la réduction fonctionnelle : obstacle au savoir scientifique et objet de consensus", in *Construction des savoirs : obstacles et conflits*, sous la direction de Bednarz Nadine, Garnier Catherine, Ottawa, Editions Agences d'ARC inc.

VIENNOT, L., (1992), "Raisonnement à plusieurs variables : tendance à la pensée commune", in *Aster* n° 14, *Raisonner en sciences*.

VIGLIETTA, L., (1989), "Il secondo principio della termodinamica in un corso di fisica a livello di Scuola Secondaria Superiore : un approccio macroscopico", in *La Fisica nella Scuola*, Vol. 22, n° 2, pp. 5-41.

VIGLIETTA, L., (1990), "A more 'efficient' approach to energy teaching", in *International Journal of Science Education*, Vol. 12, n° 5, pp. 491-500.

WATTS, D.M., (1983), "Some alternative views of energy", in *Physics Education*, Vol. 18, pp. 213-216.

ANNEXE I

Posséder ou produire de l'énergie ?

Il est question d'un objet qui, dans sa chute, entraîne une génératrice, elle-même reliée à une ampoule. Les élèves doivent fournir une interprétation respectant le principe de conservation de l'énergie.

Nous reproduisons les échanges en italiques. Ils se font entre le professeur et trois élèves : Max, Aude et Katel. Nos propres commentaires sont en caractères romains.

Max : *Ce qu'on veut dire, c'est que comme ça tombe de plus haut, ça prend plus de vitesse.*

Prof. : *Quand elle possède de la vitesse, elle possède aussi de l'énergie ?*

Max : *L'énergie mécanique.*

Prof. : *Vous avez appris comment en classe ?*

Max : *Énergie cinétique.*

Prof. : *Et avant de tomber, elle possédait de l'énergie ?*

Aude : *Non*

Prof. : *D'où vient cette énergie cinétique ?*

Aude : *Du mouvement.*

Max : *De la chute.*

On reconnaît ici ce que nous avons appelé "l'énergie en action". L'énergie vient du mouvement, de la chute...

Prof. : *Et donc, l'énergie cinétique a été créée comme le mouvement a été créé ?*

Aude : *Non, parce que l'énergie elle peut pas être créée. Elle vient de quelque part.*

Aude commence à percevoir le problème logique qui se pose lorsque la situation est examinée à l'aide des connaissances sensibles et du principe de conservation.

Katel : *Justement, le poids en tombant crée de l'énergie cinétique et donc il donne une énergie mécanique au moteur.*

Katel, à ce moment, n'a pas conscience du problème.

Aude : *Oui, mais d'où elle vient cette énergie ?*

Moment intéressant, car Aude s'est approprié le problème et relaye le professeur vis-à-vis de ses camarades.

Max : *De la chute du poids.*

Aude : *Oui mais d'où elle vient l'énergie de la chute du poids ? Il la prend bien quelque part ?*

Max : *C'est l'attraction.*

Prof. : *Où est-ce que vous la mettriez cette énergie avant que l'objet tombe ? Est-ce qu'elle est localisée quelque part ?*

Max : *Ça peut être l'attraction.*

Aude : *L'attraction terrestre.*

Katel : *Ou du vide.*

Max : *Elle vient de l'attraction terrestre.*

Aude : *L'énergie cinétique provient du mouvement de la masse grâce à l'attraction terrestre.*

Max et Aude ont résolu le problème à leur niveau. Le professeur quitte à cet instant le groupe (gestion de la classe oblige...).

Nous reproduisons ci-dessous un moment de la synthèse. Le débat a lieu en classe entière. Après qu'un groupe a exposé l'interprétation qu'il donne de la situation, le professeur demande si celle-ci respecte le principe de conservation.

E1 : *La masse, elle a dû perdre de l'énergie.*

E2 : *C'est pas la masse qui donne de l'énergie, c'est le mouvement.*

Les débats observés dans les petits groupes sont repris dans le groupe-classe.

E1 : *Si, c'est la masse... enfin, c'est l'attraction terrestre.*

E3 : *L'énergie du départ c'est la gravité, c'est tout !*

Prof. : *Juste au moment où vous lâchez...*

E : *Quand on lâche, c'est l'attraction terrestre qui se fait, qui attire le poids.*

Prof. : *Donc, quand on lâche, y a pas d'énergie ?*

E : *Si ! Dans le poids, dans la masse, vu qu'elle peut pas venir de nulle part.*

Max : *Elle est dans l'attraction. C'est dans la gravité que l'énergie est contenue.*

Le professeur se tourne vers un extincteur accroché au mur, propose un énoncé, et demande s'il respecte le principe de conservation de l'énergie.

Prof. : *Cet extincteur n'a pas d'énergie, mais s'il se décroche, en tombant, il acquiert de l'énergie.*

Ce raisonnement respecte-t-il le principe de conservation de l'énergie ?

E : *Non, il respecte pas.*

Assentiment de l'ensemble de la classe.

Prof. : *Que faudrait-il dire, pour cet extincteur, pour que le principe soit respecté ?*

E : *Dire qu'il a de l'énergie, mais qu'on la voit pas.*

Prof. : *Je corrige l'énoncé. Cet extincteur possède une énergie. Et si je le lâche, comment expliquer qu'il va acquérir de la vitesse ?*

Max : *Moi, je suis pas d'accord moi.*

Max s'était précédemment constitué une explication. Il conteste celle qui est en train de s'élaborer. On peut au moins être sûr qu'il aura pleine conscience de l'écart entre sa façon de raisonner et celle qu'il lui faudra apprendre. On peut raisonnablement faire l'hypothèse qu'il mènera à terme cet apprentissage malgré une déstabilisation momentanée.

Katel : *C'est l'énergie de l'attraction terrestre.*

Max : *Ou alors, c'est l'énergie du poids.*

E : *Il va transformer son énergie, comme le gaz et l'air avant, on voyait pas l'énergie mais c'est devenu au bout d'un moment de la chaleur. Là, il va transformer son énergie qu'on voit pas en énergie cinétique.*

Ce dernier élève fait allusion à la situation gaz → ampoule qui avait été étudiée précédemment.

ANNEXE II

Réinvestissement du concept d'énergie chimique

"Un enfant, initialement immobile sur une balançoire, peut réussir à s'élaner sans toucher le sol. Il se met ainsi en mouvement."

- ① L'enfant lance ses jambes en avant : celles-ci ont donc une énergie cinétique. Cette énergie est ensuite transmise à la balançoire sous forme d'énergie cinétique, par travail mécanique.
- ② L'énergie contenue dans le corps met en mouvement les jambes, ce qui donne une énergie mécanique à la balançoire. Donc, il y a bien conservation de l'énergie.
L'enfant gagne de l'énergie (mécanique).
- ③ Grâce à son énergie musculaire, il exerce une force qui avec la résistance de l'axe forme un couple. La balançoire est donc en mouvement de rotation.
L'énergie mécanique est prise à l'énergie musculaire.
- ④ Les muscles produisent de l'énergie mécanique, tirée d'une énergie chimique, qui est convertie ensuite en énergie mécanique et potentielle et cinétique.
- ⑤ L'énergie mécanique acquise par l'enfant vient de l'énergie chimique interne liée à la structure microscopique de l'enfant qui provoque un mouvement musculaire qui met en mouvement la balançoire. C'est donc l'énergie chimique interne liée à la structure microscopique qui s'est transformée en énergie mécanique.

ANNEXE III

Construction du concept d'énergie physique

"Pour refroidir son assiette de soupe trop chaude, Toto met un peu de beurre. Son frère, dont l'assiette contient la même quantité de soupe à la même température, préfère mettre un peu de lait. Au bout de quelques instants, la soupe de Toto a bien refroidi alors que celle de son frère est encore trop chaude. Pourtant, le beurre et le lait étaient à la même température et ont été utilisés en même quantité. Interpréter cette situation..."

① Le beurre en fondant refroidit la soupe sur une durée plus longue, car il met du temps à changer d'état, ce qui fait qu'à l'arrivée la soupe a refroidi régulièrement, elle est donc plus fraîche.

② Le lait et le beurre libèrent une énergie potentielle d'interaction liée à la température. Le beurre libère en plus une énergie interne (sa structure est modifiée). Les énergies sont cédées à la soupe sous forme de chaleur qui fait diminuer la température. Comme le beurre en libère plus, la soupe refroidit plus.

③ Le beurre en fondre prend de l'énergie sous forme de chaleur à la soupe tandis que le lait déjà sous forme liquide ne provoque aucun échange d'énergie.

④ Le beurre contient de l'énergie parce qu'il est solide. En fondant il cède son froid à la soupe, c'est tout du au changement d'état physique du beurre.

⑤ Le Beurre doit changer d'état il a besoin de plus d'énergie que le lait prend à la soupe. alors que le lait prend moins d'énergie et la soupe peut arriver à la même température.

DES OBJETS MUSÉOLOGIQUES POUR AIDER À TRAITER DES OBSTACLES EN SCIENCES ET TECHNIQUES

Jack Guichard
Françoise Guichard

Les objets d'exposition peuvent, par leur impact émotionnel ou les stratégies interactives qu'ils proposent, mettre les enfants et les jeunes en situation de remettre en cause leurs conceptions et en particulier d'ébranler certains des obstacles. Ce type de situation peut être développé si les créateurs d'exposition s'appuient sur une bonne connaissance de ces obstacles.

Des expériences menées dans les expositions pour les jeunes à la "cité des Sciences et de l'Industrie" par l'équipe "cité des enfants", ainsi qu'au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris lors de la préfiguration de la Grande Galerie de l'Évolution, montrent l'intérêt de rassembler au préalable des informations permettant de connaître les conceptions des enfants, ainsi que de privilégier à chaque fois des solutions muséographiques qui rendent l'enfant actif sans renforcer ou créer de nouveaux obstacles. C'est ainsi qu'un certain nombre d'éléments d'exposition interactifs ont été conçus à partir de l'analyse de ces obstacles dans différents domaines scientifiques et techniques.

Dans le domaine scolaire on connaît depuis longtemps l'importance des obstacles pour la construction de connaissances. Ce numéro d'Aster permet justement de faire le point sur ce sujet. Par contre dans le domaine de la muséologie des sciences et techniques, donc dans un cadre d'éducation informelle, peu d'expériences ont été menées. En effet dans des espaces de loisirs éducatifs, qui sont par leur nature même des lieux de liberté, chacun conduit ses découvertes à son rythme et en fonction de ses préoccupations et des sollicitations du moment. La réussite de l'exposition avec les jeunes publics est liée à la capacité à prendre en compte leurs pratiques spontanées et leurs conceptions.

La "cité des enfants", puis la salle de découverte de la Grande Galerie de l'Évolution du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris se sont construites sur un pré-supposé pédagogique fondé sur le fait que chacun construit son propre savoir à partir des éléments nouveaux qui s'associent à ceux qu'il possède déjà. Aussi leur création s'est appuyée sur la connaissance des conceptions des enfants pour réaliser des éléments d'exposition qui les modifient en attirant l'attention sur des éléments fondamentaux, et ceci par la mise en œuvre des situations d'interactivité. Des recherches ont démontré que les objets d'exposition peu-

des études
pour la création
d'objets
d'exposition...

...qui s'appuient
sur la connaissance
et l'analyse
des obstacles

vent, par leur impact émotionnel ou les stratégies interactives qu'ils proposent, mettre les enfants et les jeunes en situation de remettre en cause leurs conceptions et même d'ébranler certains des obstacles.

L'objet de cet article est de montrer que la démarche de création d'exposition peut s'appuyer sur la connaissance et l'analyse de ces obstacles afin de rechercher et de mettre en place des situations actives de découverte pour le public. Il veut montrer l'intérêt de rassembler au préalable des informations permettant de connaître les conceptions des enfants, ainsi que de privilégier à chaque fois des solutions muséographiques qui rendent l'enfant actif sans renforcer ou créer de nouveaux obstacles. Ces situations centrées sur les aspects qui font obstacle peuvent participer à l'évolution des conceptions des enfants sur les thèmes concernés.

1. UNE PROBLÉMATIQUE DIDACTIQUE APPLIQUÉE À DES SITUATIONS DE VISITE D'EXPOSITION

Depuis longtemps les recherches en didactique des sciences ont montré qu'une véritable éducation scientifique suppose une participation effective de l'enfant à la découverte, à la construction et à la mise en œuvre du savoir. Des études ont bien montré la non transmission du savoir si l'on n'en tient pas compte. Mais qu'en est-il dans le domaine de la muséologie scientifique qui se joue plus souvent entre scientifiques et architectes, et où les pédagogues sont rarement pris en compte (Triquet, 1993) ? Il existe fort heureusement des exceptions et cet article en est la preuve.

1.1. Les recherches en didactique des sciences sur les conceptions des apprenants

Chez l'apprenant, comme chez le chercheur, la pensée scientifique progresse de façon dialectique par remaniements successifs (Bachelard, 1938). Elle suppose la remise en question des conceptions.

De nombreuses études, en particulier de Giordan et De Vecchi (1987), établissent un constat sur les conceptions des apprenants et montrent l'importance de leur prise en compte dans l'enseignement. Les enfants interprètent les phénomènes au travers de leur propre "cadre de référence". Au sein d'une population le nombre d'idées n'est pas infini et peut être regroupé en quelques grands types (Sutton, 1982). L'apprentissage dépend de ces idées ; c'est au travers d'elles que l'apprenant interprète les nouvelles informations. Si l'on n'en tient pas compte, le nouveau savoir reste isolé du savoir antérieur sans le modifier. De plus, certaines de

ces idées s'avèrent être des obstacles à la construction des connaissances.

La connaissance des idées des enfants permet de rechercher des stratégies pédagogiques plus efficaces. Il ne s'agit pas seulement d'étudier les idées des enfants, mais de prendre conscience des obstacles à franchir dans le but de centrer les objectifs sur ces obstacles (Martinand, 1989).

1.2. La situation d'apprentissage est-elle transposable dans le cadre d'une exposition ?

Les conditions des études précédentes ne correspondent pas à la visite d'une exposition, même si certains acquis comme ceux concernant les conceptions des apprenants ne dépendent pas du lieu et semblent transposables (Giordan, 1988). Le problème du musée est qu'il s'agit d'un lieu d'éducation informelle où il est impossible de construire un travail suivi avec un apprenant comme on peut le faire à l'école. Il n'empêche qu'on peut utiliser les conceptions comme un "moyen de connaître" et de sélectionner les éléments à mettre en œuvre (Borun, 1982, 1993).

connaître
les conceptions
et les obstacles
pour créer
une exposition

Reste à savoir comment réaliser une création muséologique en tenant compte de ces conceptions.

Les recherches sur la réception des expositions ne débutent que pendant les années 1970 dans le cadre de réflexions sur le rôle éducatif des musées.

Pour Screven (1976, 1983), l'évaluation commence par la définition des objectifs de la présentation par le concepteur (quels sont les éléments principaux du message à transmettre au public ?) ; ensuite vient la connaissance du public ciblé (origines socioprofessionnelles, attentes pédagogiques, degré de motivation) et en particulier la recherche des conceptions du public : celui-ci arrive avec des idées fausses ou se les forge pendant la visite ; une évaluation de prototype peut seule donner des indications par rapport à cette dernière question. La validité prédictive de l'évaluation formative est analysée par Griggs au British Museum (Griggs, 1983). Mais son évaluation formative se limite à des maquettes sous forme de panneaux, alors que pour nous il s'agit d'une approche tridimensionnelle comme celle de l'exposition.

1.3. Une méthodologie adaptée au contexte de la mise en exposition

En nous appuyant sur la problématique de l'évaluation formative et de la prise en compte des idées des apprenants, nous avons développé et testé des situations permettant de faire évoluer de façon durable les conceptions des enfants (Guichard J., 1990). Bien que cette démarche se développe dans un contexte différent de celui de l'école, elle en est

l'évaluation
formative un outil
pour les créateurs
d'expositions

complémentaire et vise aux mêmes objectifs de construction des savoirs.

En effet, notre étude s'est effectuée dans une exposition interactive pour les enfants – la "cité des enfants" de la cité des Sciences et de l'Industrie de Paris (Guichard J., 1993) – et pour la conception de la salle de découverte de la Grande Galerie de l'Évolution du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (Guichard F., Leclercq V.). Il s'agit d'expositions où l'enfant est acteur de ses découvertes et où les éléments d'exposition sont conçus pour inciter le visiteur à observer, manipuler et expérimenter.

1.4. Rechercher les conceptions des visiteurs afin de transposer un propos scientifique en objet d'exposition

transposer un
savoir afin de le
communiquer
aux visiteurs...

Le créateur de l'exposition est le responsable du choix des connaissances et de leur organisation. Mais la création peut être "régulée par la prise en compte du point de vue du visiteur". Ce qui reste fondamental c'est que l'exposition interroge, suscite la curiosité, pose problème, motive le visiteur à en savoir plus et l'entraîne à consulter d'autres supports médiatiques (livres, revues, audiovisuels...).

Ce qui est le plus important, ce ne sont pas seulement les messages, mais aussi la forme que l'on donne aux outils de communication choisis : de la mise en scène des éléments au design des objets en passant par les messages graphiques "sursignifiants" ; ce sont ces composantes qui seront d'abord perçues par les visiteurs et ceci en tenant compte des pratiques de référence auxquelles ils doivent pouvoir raccrocher leurs nouvelles découvertes, d'où les stratégies du muséologue pour créer des situations inductrices favorisant l'émergence du sens pour le public.

Lorsque l'exposition ouvre ses portes, le visiteur découvre un univers "*qu'il explore en fonction de ses propres connaissances, par ses propres démarches, avec ses attitudes propres, et en fonction de ses propres questionnements*" (Natali et Martinand, 1987).

...nécessite
la recherche de
leurs conceptions

Le principe même des recherches effectuées dans un lieu d'éducation informelle repose sur la prise en compte des conceptions des enfants. En effet, le concepteur d'un élément d'exposition, comme de tout matériel pédagogique, effectue une transposition du propos scientifique en fonction de ses propres pratiques de référence. Le visiteur de l'exposition (enfant ou élève) va décrypter l'objet d'exposition en fonction de ses propres conceptions, qui ne sont sans doute pas les mêmes que celles du créateur de l'exposition. Aussi le sens qu'il percevra n'est pas forcément le même que celui envisagé par le créateur de l'objet, surtout s'ils n'ont pas les mêmes conceptions sur le sujet. Et en particulier si des éléments font obstacle, le propos peut être complètement transformé par le visiteur.

le visiteur décrypte l'objet d'exposition en fonction de son propre système de référence...

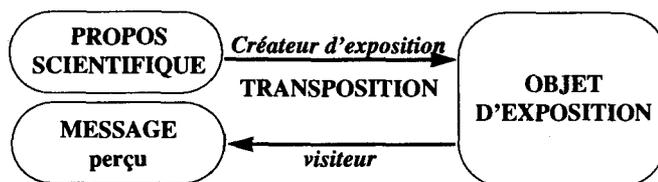


Figure 1. Du propos scientifique au message perçu via l'objet d'exposition

Il est donc important pour le créateur d'exposition, comme pour l'enseignant, de rechercher et de prendre en compte les conceptions des enfants et de connaître les éventuels obstacles (Guichard, 1990).

La réalisation d'objets d'exposition n'est pas en soi une recherche en didactique, mais les recherches permettent de renseigner les muséologues sur les conceptions des visiteurs et d'éventuels obstacles. La mise en objets des propos de l'exposition est alors un travail de création qui peut s'appuyer sur les éléments découverts lors des recherches afin d'inventer des situations problèmes adaptées.

1.5. Une évaluation diagnostique

...qu'il est donc nécessaire de connaître

Il est intéressant dans le contexte de la création des expositions de rechercher les liens entre les comportements observés et le contexte muséologique qui les a induits. Le plan d'évaluation n'est pas alors complètement élaboré *a priori*, mais évolue continuellement en fonction des interactions entre évaluateur, concepteur, public et contraintes techniques de la réalisation muséologique (Wolf et Tymitz, 1978). Les hypothèses émergent au cours de l'étude. Enquêtes et interviews sont les méthodologies essentielles de ces évaluations qualitatives. Cette méthode est surtout intéressante aux premiers stades d'une recherche lorsque la problématique n'est pas encore bien claire.

une évaluation diagnostique avec pré-test et post-test

Dans les études qui suivent, nous avons effectué des pré-tests et des post-tests de nature identique : questionnaire sous forme de dessin ou d'écrit pour répondre à la question posée (exemple "dessine le squelette dans la silhouette proposée sur la feuille de papier"), suivi de l'interview d'un échantillon d'enfants pour interpréter les résultats.

Les pré-tests ont été effectués sur des échantillons d'enfants avant toute approche du sujet. Lors du test de prototype nous avons fait appel à l'observation directe des actions et des remarques des enfants. Les post-tests ont été proposés après une mise en situation en face d'un objet d'exposition.

Dans le cas de "la cité des enfants", la démarche utilisée s'est appuyée sur la comparaison des conceptions des

enfants avant et après le passage devant l'élément d'exposition. Pour tenir compte de l'impact possible des pré-tests sur l'appropriation de l'élément d'exposition, la plus grande partie des post-tests a été effectuée sur des échantillons de public de même nature mais n'ayant pas répondu à un pré-test ; en effet, le passage d'un pré-test étant en lui-même une méthode pédagogique, transforme la façon dont un visiteur appréhende un élément d'exposition. D'autre part, afin de pouvoir apprécier l'impact durable de l'apprentissage certains post-tests ont été effectués six mois plus tard sans en prévenir les sujets.

Tous les résultats exposés ci-dessous ne correspondent pas à des études de la même ampleur. Certains sont issus d'études approfondies, comme par exemple pour le corps, d'autres correspondent à des enquêtes plus rapides, mais dans presque tous les cas ce sont des études qualitatives.

Le tableau en annexe précise les conditions de chacune des études citées.

2. CONNAÎTRE LES OBSTACLES AFIN D'EN TENIR COMPTE LORS DE LA CRÉATION DES OBJETS D'EXPOSITION

démarche de
questionnement

Les principes mis en œuvre dans la création des expositions interactives pour les enfants cherchent à développer des mises en situations qui induisent un questionnement fonctionnel de la part des publics. C'est le principe même de l'interactivité. Cette démarche de questionnement correspond à la base même de toute démarche scientifique. Dans un certain nombre de cas, nous avons essayé de la mettre en œuvre en la centrant sur des obstacles repérés.

2.1. Se confronter librement à la réalité dans l'exposition

La démarche de conception de la "cité des enfants", comme celle de l'espace enfant de l'exposition "*On a marché sur la terre*" du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, correspond à une prise en compte des conceptions, des questions des enfants, des obstacles à leur compréhension des phénomènes présentés.

La recherche des conceptions, mais aussi des obstacles repérables dans certains cas par rapport à des enfants qui avaient déjà eu un enseignement sur le sujet, a permis de centrer la problématique sur ces aspects et de chercher une mise en scène appropriée. Les résultats de ces études ont permis aux créateurs des éléments d'exposition de choisir des propos scientifiques et de réfléchir à des moyens de les présenter. Ces moyens utilisent la mise en scène pour

provoquer
l'émotion
pour marquer
le souvenir

déclencher l'émotion qui pourra marquer de façon durable le souvenir de l'enfant (Guichard, 1996). On a cherché en particulier à développer des apprentissages en actes (Weil-Barais, 1994) centrés sur certains des obstacles relevés.

des manipulations
pour
mettre en œuvre
un tâtonnement
expérimental

Une recherche menée par l'équipe de P. Clément sur "*Fais ta carte d'identité*" montre que la situation interactive favorise les apprentissages par essai-erreur : l'élève a le droit à l'erreur et le droit de recommencer son action plusieurs fois sans être jugé (Abrougui, 1994). Cette caractéristique de l'exposition est particulièrement importante par rapport au contexte scolaire. La situation idéale correspond à une manipulation qui oblige à un tâtonnement expérimental où il faut essayer ses hypothèses et progressivement comprendre en agissant. Cette analyse a été effectuée pour le "bras à vérin" (Vignes, 1994) où le succès de la manipulation dépend de la compréhension des principes techniques mis en jeu, l'enfant découvrant le processus par essai-erreur en étant motivé par le but ultime de la manipulation : mettre la balle dans le panier par l'intermédiaire de ce bras mécanique.

2.2. Prendre en compte les obstacles sur la classification des animaux afin de concevoir des situations de jeux

des jeux
de classement
construits autour
des obstacles
par rapport à la
systématique

La systématique, qui représente une base de connaissance fort utile en biologie, s'oppose à des conceptions préexistantes des enfants et même de certains adultes. La majorité des enfants (5-10 ans) pensent que tous les animaux à quatre pattes sont des Mammifères. Aussi y incluent-ils des reptiles comme les crocodiles ou les tortues. Par contre, ils n'y incluent que très rarement des animaux aquatiques comme le dauphin et surtout la baleine. On trouve ces conceptions même chez des enfants ayant eu les années précédentes un enseignement sur le sujet et connaissant à peu près la définition des Mammifères, ainsi que chez près de la moitié des adultes testés. Ces classements spontanés correspondent à des obstacles du type autocentration, valorisation des apparences premières. Les Mammifères sont tous assimilés à ceux qu'on connaît le mieux, c'est-à-dire des animaux à quatre pattes. D'autre part les animaux aquatiques au corps de forme hydrodynamique sont tous assimilés à des poissons ce qui amène les enfants à y inclure baleine et parfois dauphin (la médiatisation de l'intelligence des dauphins réduisant l'ampleur de cette conception).

De plus, on peut noter que l'autocentration conduit à deux types de conceptions apparemment contradictoires :

- l'anthropomorphisme qui amène à voir le monde à partir d'un processus projectif de l'image de soi,
- la dissociation de l'Homme par rapport aux animaux par combinaison d'autocentration et de survalorisation du soi.

En effet, les jeunes enfants excluent les Hommes de la classe des Mammifères et cette conception est très difficile à faire évoluer même en face de situations problèmes comme celles mises en place dans l'exposition.

Les deux visions précédentes s'opposent à considérer l'Homme comme un animal, ce qui supposerait à la fois décentration et neutralité du point de vue des valeurs.

Ce constat nous a conduits à chercher à faire remettre en cause cette vision en incluant l'enfant lui-même (qui se voit alors dans un miroir) dans un jeu de classement sur les Mammifères. Cette manipulation prototype amène les enfants par essais et vérifications successives à placer les dessins de Mammifères dans "la maison des Mammifères" et à placer les autres à l'extérieur. Pour ce faire, ils disposent d'une série d'indices. Ils peuvent vérifier leur réponse au dos de la carte. Ce jeu permet de confronter les conceptions à une observation d'images par l'apprentissage de critères qu'ils ont à utiliser dans le classement. De telles informations qui s'opposent à leurs conceptions surprennent les enfants et les amènent à les modifier. Une discussion avec les autres ou avec un adulte renforce cette modification. Les échanges avec l'adulte sont fondamentaux pour renforcer les découvertes faites dans l'exposition. Ce type de jeu est un puissant déclencheur de motivation pour affiner l'observation et un gage de souvenir de découvertes. Plus ces dernières surprennent, plus elles sont marquantes pour l'enfant comme l'ont montré les post-tests.

Des enquêtes menées avec les enfants montrent que la majorité d'entre eux ne regroupent pas spontanément sous le vocable "Vertébré" des animaux qu'ils considèrent comme mous, comme les Amphibiens (grenouille, crapaud), les Reptiles comme les serpents et bien entendu les poissons. Spontanément ils regroupent ces animaux avec les escargots ou les méduses qui ne sont pas des Vertébrés. Il s'agit en partie d'une absence de connaissances, mais aussi d'un obstacle d'autocentration du même type que pour les Mammifères. Les enfants se fient aux apparences premières (il y a d'un côté les "gros" animaux qui semblent costauds et au corps "dur" et il y a ceux qui correspondent aux critères "petit" ou "mou"). Leurs critères de classement s'appuient spontanément sur des critères extérieurs directement perceptibles et non sur les critères du biologiste qui ne sont pas directement visibles. Il faut donc les amener à prendre conscience de ces autres critères en jouant sur l'effet de surprise qui est émotionnel donc moteur de mémorisation. C'est ce qui a conduit à créer des jeux de classement où les enfants ont à regrouper d'un côté les invertébrés et de l'autre les vertébrés et à vérifier leur réponse en découvrant dans l'image de l'animal un schéma de la coupe de son corps comportant ou non son squelette interne. La surprise d'une découverte qui s'oppose à leurs conceptions fait naître un questionnement, l'animateur devant alors expliciter la notion de squelette.

créer un effet
de surprise
afin de susciter
le questionnement



**Figure 2. Élément d'exposition "ont-ils un squelette ?"
au Muséum de Paris (salle de découverte de l'exposition
"on a marché sur la terre")**

Ici le terme "squelette" ne s'applique pas uniquement à l'os des Vertébrés, mais à tout élément rigide soutenant les animaux et les végétaux (coquille, carapace, bois,...)

On retrouve le même type d'obstacle pour les distinctions à l'intérieur de ce que les enfants regroupent comme des "petites bêtes". On pourrait croire qu'il s'agit simplement d'une absence de connaissances, mais cette conception persiste chez beaucoup d'adultes qui ont pourtant eu au cours de leurs études des notions de systématique. Le contexte de l'expérience lors de la création de l'expositon ne nous a pas permis d'en affiner l'analyse. Cette observation a conduit à une manipulation du même nom. Elle amène les enfants à distinguer insectes, araignées et mille-pattes par des messages sonores déclenchés par les tentatives de classement et renvoyant au comptage du nombre de pattes, en fait à la découverte d'un critère discriminant qui enrichit leur connaissance sur ces animaux et peut faire évoluer une conception.

Un autre obstacle, celui-ci verbal, renforcé par le langage populaire, fait que les enfants considèrent la souris comme la femelle du rat, le crapaud comme le mâle de la grenouille et même le hibou comme le mâle de la chouette. Cet obstacle est tenace, cette dernière conception se retrouvant d'ailleurs chez bon nombre d'adultes !

Afin d'essayer de faire évoluer ces conceptions nous avons cherché à les confronter avec la définition de l'espèce biologique, qui se définit comme la possibilité d'avoir une descendance fertile. C'est ainsi qu'a été mis au point un jeu d'association mâle-femelle. C'est ce que l'on trouve dans la

salle de découverte de la Grande Galerie de l'Évolution (Guichard F., Leclercq V, 1994). La connaissance des couples que les enfants font spontanément à bon escient et de ceux qui sont spontanément erronés a permis de choisir les espèces à montrer dans le jeu. On en présente qui sont connus, afin de donner envie aux enfants de jouer, et des inconnus pour les surprendre et les faire se questionner en découvrant des faits qui s'opposent à leurs conceptions. Les enfants découvrent "le petit" que les animaux font ensemble, ou l'impossibilité d'avoir une descendance puisqu'ils sont d'espèces différentes. Les tests de ce jeu ont montré l'effet de surprise sur les enfants et le questionnement induit, vecteur de recherche et d'apprentissage.

2.3. Découverte des obstacles au travers d'un scénario pour la mise au point d'une simulation

Un obstacle important pour la construction du concept d'écosystème est encore un obstacle du type autocentrage qui conduit à des conceptions anthropomorphiques sur les relations trophiques entre les animaux dans la nature. Un pré-test auprès d'une centaine d'enfants de 7-9 ans de Paris a montré qu'ils ne percevaient pas la nécessité d'une interaction alimentaire entre les animaux d'un écosystème et qu'ils avaient une vision anthropomorphique idyllique des animaux dans la nature, qui ne doivent pas se manger les uns les autres et qu'en tous cas on ne doit pas laisser se manger entre eux.

Cette observation a conduit à créer à la "cité des enfants" de la cité des Sciences et de l'Industrie, une simulation informatique, "*drôles de drames*". Afin que cette simulation s'appuie au plus près sur les conceptions des enfants, elle a été construite à partir des propositions spontanées des enfants pour maintenir en équilibre un écosystème. Le test du synopsis de ce logiciel auprès d'une dizaine d'enfants a permis de recueillir leurs propositions en face de la situation de départ proposée : une situation d'équilibre entre des loups, des élans et la forêt, où la population locale demande de tuer les loups qui font quelques dégâts dans la région. On a alors recueilli leurs propositions comme "*tuer les loups*", "*ne rien faire*" ou surtout "*nourrir les loups*". Cette dernière proposition est une conception d'enfant, qu'aucun adulte n'aurait imaginé, alors que c'est la plus choisie par les enfants parisiens qui jouent maintenant avec ce logiciel dans l'exposition. Elle représente un obstacle important pour comprendre l'équilibre écologique d'un milieu (Guichard, 1996).

On a ainsi pu anticiper leurs réactions. Dans l'exposition, les jeunes visiteurs trouvent sur l'écran des propositions qui correspondent à leurs réactions face à ce problème. Ils découvrent les désastres écologiques qui se produisent lorsqu'ils suivent leur instinct : destruction de la forêt à cause de l'augmentation de la population d'élans. En jouant à ce jeu on constate que plus de la moitié d'entre eux choisissent

des simulations
construites à
partir des idées
des enfants...

...afin de repérer
les obstacles

l'option "*nourrir les loups*". Ainsi ils peuvent vraiment tester leurs hypothèses et avoir une chance de modifier leurs conceptions.

Apprendre, c'est confronter des hypothèses avec des faits. Il est ainsi possible de mettre l'enfant en situation de simulation en lui proposant de voir les conséquences de ses propositions spontanées par rapport à la situation proposée. Si cette mise en situation les amène à tester leurs hypothèses spontanées et à les remettre en cause, elle ne permet certainement pas, à elle seule, de lever les obstacles. Mais elle peut sans doute y contribuer en développant un questionnaire qui pourra être discuté ensuite avec les adultes.

2.4. Des obstacles pour l'appréhension des temps... géologiques

le sens
des temps
géologiques

Comprendre les concepts géologiques n'est pas plus simple non plus. Une des premières difficultés de la géologie (et en particulier de l'évolution de la Terre et de la vie) est que les apprenants (enfants et même les adultes) ont du mal à se représenter le temps. Les enfants élaborent lentement cette idée, d'abord à l'échelle des événements qu'ils vivent au quotidien (anniversaires, fêtes,...), puis au fil des saisons en gardant des traces et en les comparant. Mais lorsqu'il s'agit des échelles de temps géologiques, même pour les adultes, les dimensions n'en sont plus appréciables, car trop loin des références habituelles à l'échelle humaine.

Cet obstacle de l'appréhension des temps géologiques peut aussi être rapproché de l'autocentrage. Pour l'enfant la construction du temps est liée à sa propre vie et tout autre ordre de grandeur est difficile à percevoir.

Une analyse des conceptions a montré que le principal obstacle est que la majorité des enfants de 6 à 10 ans situent l'origine de la vie près de l'époque des dinosaures, juste avant l'origine de l'homme. Cette représentation perdure chez des élèves de 13/14 ans.

Pourtant les représentations les plus fréquentes de l'évolution proposent de ramener les 4,56 milliards d'années (écoulées de l'origine de la Terre à nos jours) à une année de 365 jours. Si cette représentation des temps géologiques ramenés à l'année est pertinente pour les adultes qui perçoivent le temps de l'année, elle ne modifie pas les conceptions de enfants, car elle leur propose un support temporel qu'ils n'appréhendent pas encore. Ils ne perçoivent pas encore bien le temps de l'année. C'est ce qui nous a amenés à chercher d'autres représentations qui ne reproduisent pas cet obstacle.

Pour la salle de découverte de la Grande Galerie du Muséum, un problème se posait de savoir comment représenter les temps géologiques dans l'espace et en particulier

sur un axe vertical pour réaliser une "tour du temps". Une mise en espace horizontale a aussi été envisagée.

Si les plus jeunes n'ont aucune connaissance et placent les repères au hasard, les plus âgés (plus de 10 ans) placent le passé systématiquement vers le bas dans une représentation verticale, ce qui a conduit, pour la salle de découverte de la Grande Galerie du Muséum, à construire une représentation verticale du temps par une tour dont les enfants descendent les degrés, du présent en descendant vers le passé.

les durées relatives
un obstacle pour
la compréhension
de l'évolution
de la vie

Une représentation linéaire du temps ne semble pas un obstacle, ils y sont habitués très tôt à l'école. Par contre, la difficulté réside dans les durées relatives, notamment des différentes périodes. Pour faire prendre conscience des périodes de temps (plus ou moins longues) qui se sont écoulées depuis la formation de la Terre (un temps neuf fois plus long, de l'origine de la vie à celle des premiers Vertébrés terrestres, que de ces premiers Vertébrés à l'homme), des repères significatifs peuvent être élaborés ou proposés.

Pour visualiser, les enfants peuvent dérouler assez lentement une très longue corde sur laquelle figurent des repères chronologiques. Cette idée simple permet de concourir à une meilleure approche de l'infiniment grand des temps géologiques et des durées relatives des épisodes de l'histoire du vivant, en projetant du temps dans une représentation spatiale.

Ainsi sur une corde de 46 mètres on a placé des nœuds tous les mètres, c'est-à-dire tous les 100 millions d'années, puis des repères aux étapes principales de l'évolution de la vie sur la Terre.

une corde
du temps
à dérouler
pour vivre
les temps
géologiques

Cette "corde" du temps suscite chez les apprenants des constatations fondamentales par rapport aux temps géologiques : les proportions entre les durées séparant les événements majeurs consécutifs (origine de la vie, premiers animaux à squelette, sortie des eaux, époque des dinosaures, origine de l'homme) et l'accélération de l'évolution de la vie dans les temps les plus récents. Les enfants passent du temps à dérouler la corde dans l'attente d'y découvrir les grands événements de l'histoire de la vie. C'est ainsi par exemple qu'en reculant dans le temps, ils prennent beaucoup de temps pour arriver à l'origine de la vie.

Cette représentation a l'avantage de faire "vivre le temps" aux enfants à une échelle qui leur est perceptible. Elle ne leur fait sans doute pas sentir l'immensité des temps géologiques, mais elle permet de repérer correctement la chronologie des événements et les proportions entre les durées séparant ces événements majeurs de la vie sur notre planète. Si nous connaissons l'impact immédiat de ces manipulations, nous n'avons pas de post-test tardif permettant d'en connaître l'impact à long terme.

2.5. Mettre en situation physique de découvrir certaines caractéristiques des systèmes techniques

La conception de l'exposition "*Technocité*" à la cité des Sciences et de l'Industrie a été précédée d'une recherche des conceptions des jeunes de 12 à 16 ans.

Par exemple la plupart d'entre eux disent que dans la voiture, une boîte de vitesse sert à aller plus vite, voire à accélérer le moteur de la voiture. Une difficulté pour leur compréhension du rôle de la boîte de vitesse est qu'ils n'ont pas l'idée de l'effort à produire par le moteur selon que la voiture est lancée ou non. Ils pensent simplement qu'on accélère en passant successivement les vitesses sans faire aucun lien avec l'effort qu'on demande au moteur. Ce qui nous fait penser qu'il s'agit d'un obstacle est que cette conception existe aussi pour une majorité de ceux qui avaient travaillé avant sur le sujet et qui disaient avoir compris "comment ça marche". Ils avaient l'impression de comprendre mais n'arrivaient pas à appréhender cet aspect du phénomène.

Pour lever cet obstacle et leur faire comprendre le besoin de la boîte de vitesse et son rôle, il était intéressant de leur faire manipuler une vraie boîte de vitesse équipée d'un carter transparent où ils découvrent l'interaction des engrenages. C'est ce que l'on trouve dans beaucoup d'expositions automobiles. Mais la découverte de l'obstacle le plus important lié à l'effort fourni par le moteur a conduit à proposer une boîte de vitesse où le visiteur joue lui-même le rôle du moteur en tournant une manivelle tandis qu'un autre peut changer les vitesses, en comparant le nombre de tours à l'entrée et à la sortie de la boîte. Alors ce qui surprend le plus les visiteurs, c'est de sentir avec leur propre corps, la différence d'effort physique pour tourner l'axe moteur, donc de percevoir la différence d'effort que subit le moteur, selon que l'on est en première ou en quatrième, et la difficulté de démarrer en "quatrième".

De même pour un autre composant technique important dans un véhicule : le différentiel. L'étude des conceptions des jeunes montre qu'ils ne comprennent pas l'utilité d'un différentiel parce qu'ils ne perçoivent pas que les roues d'un même axe ne tournent pas à la même vitesse dans un virage. Il s'agit probablement ici simplement d'une absence de connaissances.

Il était donc intéressant dans l'exposition de créer un petit modèle d'essieu de voiture avec un compte-tours sur chaque roue, et de le faire tourner dans un virage pour faire découvrir aux visiteurs la différence de vitesse de rotation des deux roues parallèles. Si nous connaissons l'impact immédiat de ces manipulations, nous n'avons pas de post-test tardif permettant d'en connaître l'impact à long terme.

une mise en situation physique afin de percevoir certaines propriétés des systèmes techniques

2.6. La représentation du temps de la vie

L'analyse du problème des représentations graphiques de la vie des animaux sous forme de cycle fermé montre comment la connaissance des obstacles permet d'éviter de les renforcer par leur mise en panneau ou maquette d'exposition.

la représentation en cycle fermé : un obstacle pour l'appréhension de la vie

Des études montrent que les représentations cycliques de la vie (cycle de vie de la grenouille, de la libellule,...) sont un obstacle pour la compréhension du concept de vie (Carrez, Daloubeix, Deunff, 1991). En effet la vie d'un individu est caractérisée par un début (la naissance) et une fin (sa mort). La représentation des différents stades de la vie – de l'œuf à la procréation en rebouclant sur l'œuf sous forme d'un cercle fermé – graphisme que l'on trouve dans beaucoup de livres et de panneaux d'exposition, conduit à occulter la mort de l'individu. Cette représentation cyclique est aussi un obstacle à la notion d'évolution car elle ne laisse pas de place pour les variations, alors que chaque individu d'une nouvelle génération est différent du précédent. C'est cet aspect qui a conduit à faire des études à propos de cet obstacle lors de la préparation de l'espace enfant de la Grande Galerie de l'Évolution.

L'analyse de cet obstacle, nous a amenés à représenter les stades de développement des animaux de façon linéaire dans nos panneaux, jeux et sur les éditions associées tant au Muséum qu'à la "cité des enfants".

2.7. Conception tenace ou obstacle mis à l'épreuve sur une maquette ?

Les typologies de représentation graphique du muscle pour un échantillon d'enfants de 6/8 ans donnent les résultats suivants.

Absence de muscle	Muscle sous la peau	1 muscle par os	1 muscle par articulation
8 %	78 %	14 %	0 %

Figure 3. Les conceptions des muscles chez les 6 / 8 ans

Lorsque les muscles sont représentés, ils sont des intermédiaires entre les os ou un emballage sous la peau. Même lorsqu'un muscle est représenté en liaison avec un os (14 % des cas), sa disposition ne lui permet pas d'être le moteur du mouvement. Cette analyse démontre l'absence de conception opérationnelle pour comprendre le rôle des muscles dans le mouvement des membres.

Mais ce qui devient surprenant, c'est la comparaison avec l'analyse de ces mêmes conceptions chez l'adulte.

beaucoup d'obstacles subsistent chez les adultes...

Le test décrit ci-dessous permet de constater, et de faire constater à de futurs enseignants en formation continue, les limites des enseignements qu'ils ont vécus. Il consiste à leur demander de "dessiner un schéma fonctionnel du bras qui permette d'expliquer comment on peut effectuer un mouvement".

Un test effectué sur 78 instituteurs donne les résultats suivants.

Les différentes représentations	un muscle par articulation (schéma exact)	un muscle non attaché	un muscle attaché sur son os
			
Futurs instituteurs (115)	12 %	47 %	41 %
Instituteurs (78)	28 %	40 %	32 %

Figure 4. Schéma fonctionnel du bras pour des adultes

...c'est le cas pour l'anatomie des muscles et leur rôle dans le mouvement

La représentation exacte, la seule qui soit fonctionnelle ("schéma fonctionnel"), correspond à un muscle attaché sur deux os différents de part et d'autre d'une articulation, afin qu'en se contractant, il puisse faire se mouvoir l'articulation ; cette conception n'est présente que chez 12 % des futurs instituteurs, contre 28 % chez ceux qui sont déjà en poste. Les autres conceptions (muscle non attaché ou muscle attaché sur un seul os) sont non fonctionnelles. Elle ont pour origine la mémorisation de schéma sans réflexion sur le fonctionnement. Elle représentent un obstacle à la compréhension du rôle du muscle car les adultes interrogés avaient l'impression de "savoir". Placés en face du schéma d'un livre, une partie d'entre eux validaient leur représentation graphique sans percevoir qu'elle n'était pas fonctionnelle. Il s'agit donc d'un obstacle par valorisation des apparences premières, l'image mentale construite à partir de l'image du document correspondant à une vision globale anatomique et pas à une vision fonctionnelle du système os-articulation-muscle.

Les résultats sont à mettre en relation avec le fait que les personnes interrogées admettent avoir appris deux ou trois fois au cours de leurs études le schéma du bras, mais sans mener de réflexion sur son fonctionnement. Tout comme les personnes interrogées, on se rend compte des limites d'un enseignement qui ne s'appuie pas sur le questionnement fonctionnel ou (et) sur les manipulations. Les résultats sont

la découverte
de cet obstacle
inspire une mise
en situation
dans
l'exposition...

meilleurs sur les quelques instituteurs qui enseignent ce sujet aux enfants.

Ces résultats obtenus à partir de situations de formation ont conduit à chercher des éléments d'exposition s'appuyant sur cette connaissance des conceptions et les obstacles qui y sont associés (Guichard, 1995).

À la "cité des enfants", nous avons donc cherché à mettre au point une manipulation incitant le visiteur à se questionner à ce propos. La solution envisagée a consisté à construire un faux muscle dont la contraction est assurée à partir d'une manette ; ce muscle est associé au squelette d'un bras. Il est fixé seulement à la partie supérieure. L'enfant doit préalablement accrocher la partie inférieure du muscle à un crochet pour obtenir un mouvement du bras lié à la contraction (simulée) du muscle.

Mais nous avons disposé plusieurs crochets à des positions correspondant aux idées préconçues des enfants ; en particulier le crochet situé à la base de l'humérus (correspondant à la représentation la plus fréquente du public) est placé pour mettre en échec les conceptions des visiteurs. En effet, si l'on attache le muscle en ce point et que l'on déclenche la contraction, on ne peut pas obtenir un mouvement du bras.

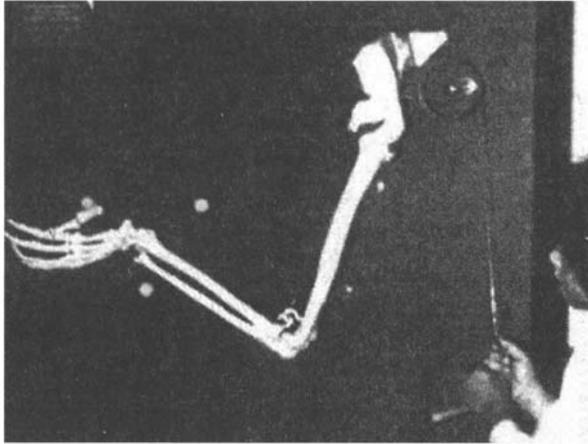


Figure 5. La manipulation sur le muscle

Les résultats de ce test montrent que plus de la moitié des enfants commencent par placer le muscle de façon incorrecte ; ils modifient alors spontanément le point d'accroche pour un second essai, cette fois concluant. La manipulation induit donc une analyse du système muscle-articulation et une réflexion sur le fonctionnement de ce système. Il faut noter que les visiteurs n'ont que deux possibilités et réussissent naturellement au second essai.

...permettant
d'accéder
à la structure
fonctionnelle
du bras

Un post-test sous la forme d'une interview montre que pratiquement tous les enfants qui effectuent cette manipulation proposent une structure fonctionnelle du bras, ce qui n'est pas le cas pour la totalité des enfants interrogés au pré-test. Les enfants ont compris le principe et le rôle du muscle dans le mouvement du bras. L'objet a induit une réflexion de la part des enfants (Guichard, 1995).

Dans cet exemple, l'obstacle ne réside pas dans la difficulté de comprendre le principe du couple muscle-articulation, mais dans l'image mentale que l'on se forge à partir d'une entrée dans le sujet principalement visuelle. En effet dans des situations de formation où l'on demande à des enfants ou à des adultes de modéliser un système os-muscle fonctionnel, on s'aperçoit que les enfants qui n'ont pas de connaissances sur le sujet réussissent mieux et plus rapidement que des adultes qui avaient l'impression de "savoir" mais qui faisaient des schémas non fonctionnels.

Il ne faudrait pas en conclure que le fait de montrer le vrai suffit à provoquer un changement de conception des enfants, mais simplement qu'il est important de faire manipuler pour comprendre et attirer l'attention sur les aspects fonctionnels. Dans le cas étudié, il s'agit de tenter de faire évoluer les conceptions vers une vision fonctionnelle en tenant compte que l'image mentale la plus courante est un obstacle à cette compréhension.

3. DES PROTOTYPES POUR DÉCELER LES OBSTACLES CRÉÉS PAR LA MISE EN EXPOSITION

la mise en objet
d'exposition
peut créer
de nouveaux
obstacles...

Cette démarche de recherche des obstacles lors de la définition du propos scientifique d'une exposition et de la création des éléments d'exposition ne doit pas faire oublier que la modélisation d'un objet d'exposition ou la finalisation d'une manipulation est elle-même, pour le visiteur, une nouvelle représentation qui peut provoquer la construction de nouveaux obstacles. Il convient donc lorsque c'est possible de passer par des stades de prototypes avant la mise en réalisation des éléments d'exposition.

3.1. Des tests de prototypes pour éviter de nouveaux obstacles

...qu'il faut
repérer à temps
grâce
à des prototypes

L'exposition pour les enfants "électricité", de la cité des Sciences et de l'Industrie, a été conçue en tenant compte d'études sur les conceptions des enfants. L'exemple suivant montre comment le passage par des prototypes a pu éviter de renforcer certains obstacles conceptuels par rapport à l'électricité.

En effet une analyse bibliographique (Johsua, Dupin, 1989) démontrait que la "métaphore du fluide" pour représenter

l'électricité dans un circuit était un obstacle à la compréhension future de la nature de l'électricité. Or c'est une conception fréquente chez les enfants qui imaginent l'électricité comme un fluide circulant dans les fils ; d'ailleurs lors de nos prétests, certains enfants ont dit que *"dans la centrale, l'eau des barrages entre dans les fils électriques"*.

Aussi nous avons été très attentifs à la modélisation physique des circuits électriques présentés dans l'exposition. Pour réaliser des circuits électriques manipulables par des centaines de milliers d'enfants et visibles de loin dans l'exposition, le designer a proposé un objet très coloré et très attractif, dont on lui a demandé de réaliser un prototype.

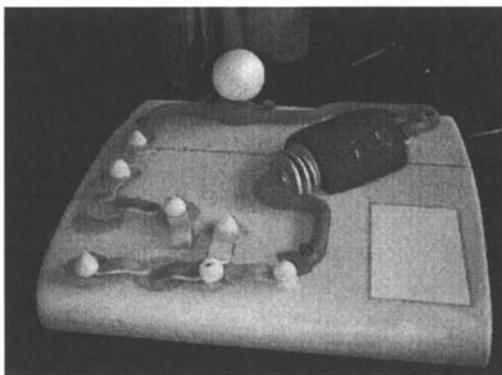


Figure 6. Prototype de l'exposition *électricité* : un prototype de designer testé pour éviter d'introduire de nouveaux obstacles

L'observation et l'interview d'enfants en face de cet objet ont montré que cette présentation renforçait cette idée de courant d'eau car ils prenaient les fils représentés en bleu pour des tuyaux d'eau. La représentation de fils électriques grossis par des petits tuyaux de cuivre renforçait aussi cette interprétation. Ces tests ont donc permis d'éviter de créer de nouveaux obstacles par rapport à la compréhension de la nature de l'électricité. Après avoir testé différentes matérialisations de ces gros fils, on a simplement utilisé, pour l'exposition définitive, de très gros fils électriques avec leur gaine de plastique, fils qui étaient directement perçus par les enfants comme des fils électriques. Cette matérialisation n'empêche pas que cette conception-obstacle existe chez les enfants, mais en tous cas elle ne la renforce pas, ce qui aurait été le cas si les créateurs de l'exposition n'avaient pas été sensibilisés à ce problème.

3.2. Analyser les obstacles qui peuvent être provoqués par les mises en images

L'étude traditionnelle du corps comme une suite de monographies d'appareils séparés (appareils circulatoire, respiratoire, excréteur, digestif,...) construit chez les élèves un obstacle à la compréhension du fonctionnement global de l'organisme et des interactions entre ces systèmes (Giordan, De Vecchi, 1987). Les enfants ne perçoivent pas les liens entre ces systèmes. Il s'agit d'un obstacle lié aux conditions d'apprentissage et de représentation graphique sur les livres (par systèmes séparés). Cette conception empêche les enfants d'avoir une appréhension dynamique du fonctionnement de leur corps.

Aussi nous avons eu l'idée d'un élément d'exposition, "*voir à l'intérieur du corps*" où l'enfant se place devant un cadre (type appareil de radiographie) réglable à sa taille pour augmenter la pertinence du procédé. Alors apparaît l'image de l'intérieur de son corps dans la glace sans tain qui lui fait face. Cette image ne devait pas être statique mais devait refléter quelques activités internes. L'enfant découvre et vit les liens entre les différents systèmes (respiratoire, circulatoire, excréteur et les organes) en voyant sur l'image de son propre corps, le trajet de l'oxygène qu'il respire et son devenir dans l'organisme.

Les résultats de l'étude montrent que les enfants repèrent alors la position des organes présentés et surtout les relations système respiratoire-système circulatoire-organes dans 80 % des cas après avoir effectué cette manipulation (Giordan, Guichard, 1993). Ainsi la découverte visuelle de ses liens sur son propre corps et en vitesse réelle a un impact sur les conceptions des enfants et leur donne une nouvelle vision du fonctionnement de leur organisme.

Le choix du type d'images ne fut pas aisé. Aucun des procédés habituellement utilisés en imagerie médicale n'est directement accessible au public. Seules quelques radiographies pulmonaire, stomacale ou intestinale sont reconnues globalement, en particulier lorsqu'elles sont recolorées par ordinateur. Toutefois aucune ne permet de visualiser les relations, par exemple respiration et circulation, nutrition et circulation. Il était alors nécessaire d'utiliser de l'image en mouvement (Giordan, Lintz, 1991). Les tests d'une petite animation par ordinateur montrèrent la nécessité de ne pas représenter le trajet de l'air en bleuté, car les enfants l'assimilaient à du liquide et non à de l'air, ce qui créait un obstacle à la compréhension du phénomène ; d'autre part ils firent ressortir également le besoin de donner du volume à l'image pour augmenter le réalisme et la compréhension. Il fut ainsi proposé d'animer sur vidéo des radiographies discrètement colorées à l'identique.

les images créées
pour un film
peuvent aussi
générer
des obstacles

4. UN EXEMPLE DONT ON A ÉTUDIÉ L'IMPACT À LONG TERME : LE SQUELETTE

Parmi les connaissances sur le corps humain qui semblent évidentes dans l'esprit de tous, il y a le squelette. Et pourtant, une analyse des conceptions des enfants de 6 à 8 ans réserve des surprises.

4.1. Un sac d'os pour les moins de 6 ans

En effet à la question "*dessine ton squelette*" associée à la remise d'une silhouette dessinée sur une feuille de papier, beaucoup d'enfants de 6 ans représentent leur squelette comme un "sac d'os", même s'ils semblent avoir conscience de son rôle d'armature, "*pour tenir le corps*" (Giordan, 1990).

Si les conceptions globales des enfants de 6 à 8 ans ne sont pas toujours aussi déstructurées, aucune ne montre une structure du squelette qui soit cohérente avec la fonction du mouvement du corps, c'est-à-dire avec des os longs d'une articulation à l'autre, et des limites des os au niveau des articulations (Giordan, De Vecchi, 1987).

En effet une enquête sur 112 enfants de 6 à 8 ans de Paris n'ayant jamais eu de cours sur le squelette donne les résultats qui suivent : les conceptions peuvent se classer en quatre types.

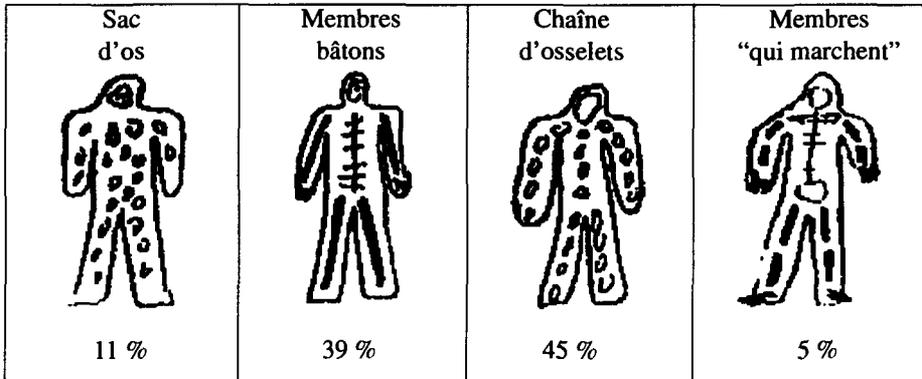


Figure 7. Les conceptions des enfants de 6 à 8 ans sur le squelette

les jeunes enfants ont des conceptions non structurées à propos du squelette...

Ces résultats confirment la prégnance d'une représentation non structurée du squelette pour 97 % des enfants de moins de 8 ans de l'échantillon. En effet seule la représentation des membres "qui marchent", c'est-à-dire d'os longs entre chaque articulation des membres, est exacte et correspond à une structure fonctionnelle du squelette. Toutes les autres conceptions sont déstructurées (le sac d'os, les

chaînes d'osselets) ou non fonctionnelles du point de vue du rôle du squelette dans le mouvement (membres bâtons).

On pourrait penser qu'il s'agit simplement d'une absence de connaissances, mais le test suivant montre les résistances de certaines de ces conceptions dans l'esprit des jeunes enfants.

4.2. Les obstacles provoqués par la mémorisation d'une image sans réflexion préalable sur la fonctionnalité du système

Afin de tester l'impact de nos outils d'aide à l'apprentissage, nous avons besoin d'un échantillon témoin ; cette situation expérimentale nous a amenés à faire un cours comme peu d'instituteurs le font encore ; nous avons proposé à deux instituteurs de CP (élèves de 6/7 ans) de réaliser une séance d'enseignement "frontal" sur le squelette sans dialogue ni présentation de la fonctionnalité de l'architecture des os : description du squelette sur une planche anatomique murale (pour l'école élémentaire) avec noms des principaux os, remise d'une polycopie représentant un schéma du squelette inscrit dans la silhouette du corps, pas d'échanges entre enfants, leçon à apprendre à la maison. Nous ne nous intéressons pas aux résultats immédiats de cet apprentissage, résultats au demeurant assez satisfaisants : le lendemain, les enfants étaient capables de représenter une structure cohérente du squelette et citaient quelques noms d'os.

Mais nous avons renouvelé cette interrogation six mois plus tard sans prévenir les élèves, afin de vérifier le résultat à moyen terme de cet apprentissage. Les résultats sont les suivants (échantillon de 51 enfants).

Sac d'os	Membres bâtons	Chaîne d'osselets	Membres "qui marchent"
2 %	52 %	18 %	28 %

Figure 8. Les conceptions sur le squelette, 6 mois après un cours frontal

...dont certaines peuvent être des obstacles qui persistent après un enseignement frontal...

La plupart des élèves représentent un mélange entre leurs anciennes conceptions (avant apprentissage) et les éléments issus de la "leçon" apprise en classe et dont il reste une vague structure générale, "l'arête de poisson", des côtes et une terminologie déjà bien mélangée (Guichard, 1995). Les conceptions en "membres bâtons" très ancrées dans l'esprit de la moitié des élèves correspondent à une image mentale incompatible avec la compréhension des articulations, alors qu'ils pensent "savoir". Des résultats semblables ont été trouvés par d'autres études sur le sujet (Becerra, 1994).

On constate que très peu d'enfants ont acquis une conception fonctionnelle du squelette compatible avec la possibilité de réaliser un mouvement. Ces conceptions représentent un obstacle à la compréhension de la fonction du squelette dans les mouvements du corps. D'ailleurs si les enfants expriment spontanément la fonction de soutien (les os tiennent le corps), ils n'expriment qu'exceptionnellement celle du mouvement.

4.3. La conception d'éléments d'exposition prenant en compte cette analyse

La manipulation "*Fais la course avec ton squelette*" a été conçue en 1976 pour un espace sur le mouvement du corps dans l'Inventorium. Elle est destinée à des enfants de 6 à 12 ans.



Figure 9. "Un enfant fait la course avec son squelette"

...mais qui peuvent être remises en cause par un objet d'exposition...

L'enfant se met en selle sur le vélo et voit en permanence l'image de son corps dans une glace sans tain. Dès qu'il pédale, il voit apparaître dans l'image de son corps un squelette en mouvement. Les mouvements des jambes et du squelette attirent spécialement l'attention de l'enfant sur le rôle et la structure du squelette du membre inférieur.

Le même test que celui du paragraphe 4.1. a été effectué auprès de scolaires (93 enfants de 6/7 ans), le lendemain de la visite. Les résultats sont notés dans le tableau suivant.

Type de représentation	Sac d'os	Membres bâtons	Chaîne d'osselets	Membres "qui"
après visite de l'exposition	0 %	5 %	0 %	95 %
8 mois plus tard	0 %	7 %	1 %	92 %

Figure 10. Conceptions des enfants après "avoir fait la course avec ton squelette" et six mois plus tard

...qui suscite l'émotion et une découverte par l'action

Comparés aux conceptions des enfants de cet âge, ils montrent une étonnante augmentation de la représentation fonctionnelle (les membres "qui marchent") qui devient évidente pour la quasi totalité des enfants (89 sur 93). Il est à noter que seulement les 2/3 des enfants représentent les deux os de la jambe (tibia, péroné). Mais l'essentiel, par rapport au mouvement, est acquis, comme l'interview d'enfants permet de le vérifier : "des os d'une articulation à l'autre", "les os s'arrêtent où la jambe se plie".

Afin de vérifier si cette connaissance était acquise à long terme, nous avons effectué ce même test sur une partie de ces enfants (67 élèves), huit mois après leur visite, alors qu'ils n'avaient pas eu de cours sur le squelette ; une partie des enfants de l'échantillon initial avait été dispersée dans d'autres classes, le test ayant été pratiqué à la rentrée scolaire suivante. Les résultats sont donnés dans le tableau précédent (fig.10).

Si l'on compare ces résultats à ceux du test six mois après un cours frontal (fig. 8), on constate l'impact à court, comme à long terme, de la manipulation proposée pour la connaissance fonctionnelle des enfants à propos de leur squelette. Si le reste du squelette n'est pas très précis, dans la quasi-totalité des cas (92 %), la structure fonctionnelle du squelette des membres est comprise et enregistrée durablement. La manipulation induite chez l'enfant a donc favorisé l'acquisition de la connaissance et de la compréhension d'une structure fonctionnelle du squelette ; et cette appropriation correspond à une acquisition à long terme, ce qui correspond à l'hypothèse de départ.

L'analyse de l'impact de cette manipulation valide donc l'option prise par les concepteurs qui voulaient mettre en évi-

dence les caractéristiques du squelette en liaison avec le mouvement, en localisant l'attention de l'enfant sur le mouvement des jambes. Elle démontre donc l'intérêt d'un outil didactique construit à partir des conceptions des enfants en privilégiant la mise en œuvre de situations qui induisent une analyse par les enfants des éléments qui vont structurer une connaissance.

CONCLUSION

L'analyse qui précède montre que la création d'éléments d'exposition peut s'appuyer sur une approche didactique :

- en rassemblant au préalable des informations permettant d'avoir une idée sur les questions et conceptions des visiteurs, ainsi que sur les obstacles que l'on peut percevoir,
- en passant par des tests de prototypes permettant d'éviter de renforcer certains obstacles ou d'en créer de nouveaux par les modélisations mise en jeu,
- en privilégiant des solutions muséographiques qui rendent l'enfant actif.

des outils
muséographiques
construits à partir
de la connaissance
des conceptions
et des obstacles...

Elle montre que la conception d'éléments d'exposition qui s'appuie sur la connaissance des conceptions des enfants et des obstacles peut parfois faire évoluer durablement leurs connaissances. Cette démonstration s'oppose à l'idée traditionnelle qui veut que l'impact de la muséographie sur le public soit uniquement de l'ordre de la sensibilisation. Elle démontre que sous certaines conditions, le musée peut aussi concourir à développer des savoirs ; et ceci mieux qu'un enseignement frontal traditionnel qui ne sollicite pas la réflexion des enfants.

Mais il faut insister sur les limites des visites d'expositions ou de musées. On ne peut pas construire de connaissances structurées lors d'une simple visite d'exposition. Si la visite peut émouvoir, questionner, surprendre, donc laisser des traces durables dans la mémoire, elle n'amène que des savoirs fragmentaires. D'une part l'enseignant doit sensibiliser les élèves et utiliser des outils pour structurer la visite afin que les élèves en gardent des traces, d'autre part un temps de structuration est bien entendu nécessaire. La durée de passage dans une exposition est insuffisante pour mettre en œuvre des apprentissages qui nécessitent des processus plus longs et répétitifs.

Il n'en reste pas moins que les "outils muséographiques interactifs" construits dans ces conditions peuvent être des aides à l'apprentissage efficaces pour les scolaires, comme pour les publics venant en visite de loisir.

...peuvent
contribuer aux
apprentissages

En aucun cas ce diagnostic didactique basé sur la prise en compte du public par les concepteurs ne peut se substituer à la démarche de création de ces outils pédagogiques. Mais il nourrit de façon efficace la créativité des concepteurs afin

qu'ils trouvent des solutions techniques qui s'appuient sur les difficultés de compréhension de leur public.

Nous pensons que des démarches de diagnostic didactique similaires (Giordan, Guichard F. et J., 1996) peuvent conduire à l'élaboration d'outils pédagogiques efficaces dans le cadre strictement scolaire.

Jack GUICHARD,
IUFM de Paris.
Françoise GUICHARD,
Muséum National d'Histoire Naturelle,
Paris.

BIBLIOGRAPHIE

ABROUGUI M., *Évolution des conceptions d'élèves de ZEP et non ZEP en fonction de stratégies pédagogiques accompagnant la visite de l'îlot "fais ta carte d'identité" à La cité des enfants*, mémoire de DEA, Laboratoire P. Clément, Université Lyon I, 1994, 90 p.

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

BECERRA A. L., "Ciencias en el Primer Ciclo de la Educacion Primaria", in *Alambique Didactica de las Ciencias Experimentales*, n°2, 1994, pp. 83-92.

BORUN M., 1982, "Naive notions and the design of science museum exhibits", in S. Bitgood, A. Benefield and D. Patterson (Eds.), *Visitor Studies - Theory, Research and Practise*, vol. 2, Jacksonville, AL, Center for Social Design, 1989, pp. 158-162.

BORUN M., LUTTER T., MASSEY C., "Naive Knowledge and the design of science Museum Exhibits", in *Curator*, vol. 36, n° 3, 1993, pp. 201-220.

CARREZ D., DALOUBEIX S., DEUNFF J, et al., *Dis maîtresse, c'est quoi la mort ?*, CRDP Dijon, 1991, 204 p.

GIORDAN A., DE VECCHI G., *Les origines du savoir*, Neuchatel, Delachaux et Niestlé, 1987, 212 p.

GIORDAN A., "De la catégorisation des conceptions des apprenants à un environnement didactique "optimal"", in *Protée, Expomédia*, n° 16/3, Québec, 1988.

GIORDAN A., *Document de synthèse sur les conceptions des jeunes de 6 à 13 ans à propos du corps humain*, étude DJF, Paris, cité des Sciences et de l'Industrie, 1990.

GIORDAN A., LINTZ M., *Document de synthèse sur les conceptions des jeunes de 6 à 13 ans à propos du corps humain*, Rapport interne DJF, Paris cité des Sciences et de l'Industrie, 1991.

GIORDAN A., LINTZ M., “Comparaison de quelques éléments d'exposition entre l'Inventorium et La cité des enfants”, in *Rapport de recherche interne CSI*, Paris, 1992, 60 p.

GIORDAN A. et GUICHARD J., “Le corps humain en spectacle”, in *Actes des XV^{es} JIES*, Chamonix, A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg Éd., 1993, pp. 355-362.

GIORDAN A., GUICHARD F., GUICHARD J., *Des idées pour apprendre*, Nice, Z'Editions, 1997, 360 p.

GRIGGS S.A., “Formative evaluation of exhibits at the British Natural History Museum”, in *Curator* 24/3, 1981.

GRIGGS S.A., MANNING , J., “The predictive validity of formative evaluation of exhibits”, in *Museum Studies Journal*, Fall, 1983.

GUICHARD F., LECLERCQ V., “La genèse d'une salle de découverte”, in *La Lettre de l'OCIM*, 1994, n° 33, pp. 46-53.

GUICHARD F., ROUDEAU-LECLERCQ V., “Approches conceptuelles de l'évolution pour les plus jeunes à travers la salle de découverte de la grande galerie du Muséum”, in *Actes des XVI^{es} JIES*, Chamonix, A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg Éd., 1994, pp. 385-390.

GUICHARD J., “Représentations des enfants à propos des fourmis et conception d'un outil muséologique”, in *Aster* n° 6, Paris, INRP, 1988.

GUICHARD J., *Diagnostic didactique pour la conception d'objets d'exposition*, Thèse de Doctorat ès Sciences de l'Éducation, Université Genève, 1990, 434 p.

GUICHARD J., “La prise en compte du visiteur comme outil de la conception muséologique : un exemple concret, la “cité des enfants””, in *Publics et musées*, 1993, 3, pp. 111-135.

GUICHARD J., “Designing tools to develop the conceptions of learners”, in *International Journal of Science Education*, V. 17, Issue 2, 1995, pp. 713-723.

GUICHARD J., “Nécessité d'une recherche éducative dans les expositions à caractère scientifique et technique”, in *Publics et musées*, 1996, 7, pp. 95-115.

JOHSUA S., DUPIN J.-J., “Représentations et modélisation : le débat scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique”, Berne, Peter Lang, 1989.

MARTINAND J.-L., "Questions actuelles de la didactique des sciences" in *Psychologie génétique et didactique des sciences*, Berne, Peter Lang, 1989, pp. 93-105.

NATALI J.-P., MARTINAND J.-L., "Une exposition scientifique thématique... est-ce bien concevable ?", in *Éducation permanente*, n° 90, 1987.

PIANI J. et WEIL-BARAIS A., *Les échanges adultes-enfants à la "cité des enfants"*, Rapport de recherche CSI, 1993, 56 p.

SCREVEN C.G., "Exhibit evaluation, a goal referenced approach", in *Curator*, vol. 19, n° 4, 1976.

SCREVEN C.G., "Evaluation and the exhibit design process : pretesting audience as a design tool", in *Iconographie 2/2*, Mobilia-Press, Danemark, 1983.

SUTTON C.R., "The origins of pupils'ideas" in C. Sutton and L. West (eds), *Investigation children exciting ideas about sciences*, Leicester, University of Leicester, School of Education, 1982.

TRIQUET E., *Analyse de la genèse d'une exposition*, Thèse, université Claude Bernard, Lyon I, 1993, 384 p.

VIGNES M., "Essai de caractérisation des connaissances mises en œuvre dans la manipulation de dispositifs du thème "machine et mécanismes" à la "cité des enfants"", in *Rapport de recherche interne CSI*, Paris, 1993, p. 80.

WOLF R.L., TYMITZ B.L., *A preliminary guide for conducting naturalistic evaluation in studying museum environments*, Washington D.C. Office of Museum Programs, Smithsonian Institution, 1978.

ANNEXE
CONDITIONS DE CHACUNE DES ÉTUDES CITÉES

situation testée	pré-test		test sur prototype		post-test	
	nombre (âge enfants)	conditions	nombre (âge enfants)	conditions	nombre (âge enfants)	conditions
2.2 classification des animaux	30 (7-10) 29 (7-10)	questionnaire tri de cartes	24 (7-10) 18 (7-10)	observation	29 (7-10) 24 (7-10)	questionnaire tride cartes
2.3 simulation loups-élans	106 (7-9)	questionnaire interview	11 (7-9)	interview	28 (7-9)	interview
2.4 temps géologiques	56 (8-9) 170 (10-12) 39 (13-14)	questionnaire interview	24 (8-9)	questionnaire interview		
2.5 boîte de vitesse	18 (12-14)	interview	30 (12-14)	observation interview		
2.7 muscles	110 (6-8) 193 adultes	dessin interview	20 (6-12)	observation interview	29 (7-9)	dessin interview
3.1 électricité		bibliographie	30 (7-11)	observation interview		questionnaire interview
3.2 intérieur ducorps		bibliographie	12 (7-11)	observation interview	60 (7-11)	
4 squelette	112 (6-8)	dessin interview	93 (6-8)	dessin interview	67 (6-8)	dessin interview 6 mois + tard

GRANDIR : OUI MAIS COMMENT ?

Marcelle Goix

Même s'ils ne l'ont jamais étudiée, les élèves possèdent des explications de la croissance basées sur des modes de raisonnement profonds qui permettent de comprendre le monde et qui font obstacle à la construction du concept. Une grille de lecture de ces conceptions est proposée. Elle prend la forme d'une suite de formulations qui nous renseigne également sur les obstacles que risque de rencontrer l'apprenant tant sur le plan du domaine immédiat du concept étudié que sur celui du cadre de références requis. L'analyse d'une séquence prenant appui sur cette grille et sur la notion d'objectif-obstacle nous montre comment, basée sur les progrès intellectuels à réaliser, elle permet de gérer les activités proposées et nous donne des indications sur l'évolution des élèves.

la croissance
n'est pas
un concept
de la biologie
actuelle mais...

La croissance n'est pas un concept de la biologie actuelle. Dans l'enseignement supérieur, son étude fait l'objet de chapitres dispersés dans les cours et dans les programmes de collège datant de 1985, le terme lui-même n'est jamais mentionné si ce n'est en Troisième dans le chapitre "Nutrition et métabolisme" : "L'assimilation. Synthèse de matière organique. Rôle de la synthèse de la matière organique dans le renouvellement et la croissance cellulaire."

Pourquoi alors nous sommes-nous intéressé à un tel concept ?

... elle est
le témoin
de la satisfaction
des besoins et...

Les instructions ou compléments incitent à faire appel à lui. Dans le chapitre traitant des "Besoins nutritifs" des végétaux la croissance est utilisée comme témoin de la satisfaction des besoins : elle joue "le rôle de réactif biologique" (1). Nous citerons seulement les compléments qui accompagnent le programme de Sixième : "... on étudiera les conditions de la production primaire. À ce niveau, il ne s'agit pas de comprendre la photosynthèse ; la nutrition végétale en rapport avec l'autotrophie, ne constitue pas l'objet du chapitre. La possibilité de croître des végétaux chlorophylliens (**accroissement de masse** (2)) est liée à la présence de chlorophylle, à la nécessité de la lumière, du dioxyde de carbone, à l'alimentation en eau (importance du flux hydrique) et en sels minéraux". Dans ce cas, la croissance n'est pas étudiée dans son mécanisme, seul l'aspect extérieur de l'individu est pris en compte c'est-à-dire l'augmentation des dimensions et de la masse des êtres vivants.

(1) ABELOOS Marcel (1965), "Croissance et régénération", in *Encyclopédie de la Pléiade, Biologie*, Paris, Gallimard, p. 638.

(2) Souligné par nous.

... de l'assimilation

La croissance peut aussi être le témoin de la "production primaire" c'est-à-dire être perçue en terme de flux de matière (et d'énergie). Cet aspect est mis en jeu dans la suite du programme : *"On se limitera à présenter l'idée que les végétaux chlorophylliens, en utilisant l'énergie lumineuse, et à partir des substances minérales puisées dans leur milieu de vie, peuvent élaborer des constituants de leurs organes (matière organique)."* Cette même approche sera réutilisée dans le chapitre *"Signification de la nutrition et de la respiration chez les êtres vivants"*. *"La matière organique produite par les végétaux chlorophylliens, ou prélevée par les végétaux sans chlorophylle et les animaux, sera reliée à la construction de l'organisme... Il y a là une première occasion de montrer l'existence de transfert de matière entre producteurs, consommateurs de divers ordres, décomposeurs."* Il ne suffit plus ici de décrire la croissance mais il faut en expliquer les mécanismes et en particulier prendre en compte l'assimilation. Cette utilisation du concept correspond alors à une explication.

Nous avons donc deux aspects de la croissance qui sont mis en jeu et l'élève ne perçoit pas cette différence.

Nous débuterons notre article par une identification des représentations liées à ce concept. Nous présenterons ensuite une grille de lecture de ces conceptions sous forme d'une suite de formulations qui nous éclairent sur le niveau des élèves et sur l'existence de certains obstacles. Puis nous analyserons une séquence d'apprentissage (3) élaborée en utilisant la notion d'objectif-obstacle et nous suivrons la progression de la conceptualisation chez nos élèves tout au long de la séquence en repérant les formulations produites et en les situant dans notre grille de référence. Ceci nous permettra également de tester le dispositif mis en place.

1. LES CONCEPTIONS LIÉES À LA CROISSANCE

la notion
n'est pas étudiée
mais elle est
surdéterminée

Actuellement il est admis que l'enfant n'est pas une "page blanche" sur laquelle on peut imprimer un savoir. L'élève possède, en effet, des conceptions ou représentations (4) et c'est leur évolution progressive qui va constituer un niveau de connaissances de plus en plus opératoires et proches du savoir scientifique (5). Il s'agit donc tout d'abord, pour nous, de définir le cadre de référence de l'apprenant à propos de la croissance.

-
- (3) L'auteur, actuellement enseignant au lycée Pape Clément de Pessac, était à l'époque (1996) en poste au collège Louise Michel de St Just en Chaussée dans l'Oise.
 - (4) Bien que conscient du débat qui oppose les deux termes nous utiliserons indifféremment les deux termes pour éviter les répétitions.
 - (5) GIORDAN André, De VECCHI Gérard (1987), *Les origines du savoir*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, p. 127.

1.1. La croissance ne fait pas intervenir la matière

Les résultats de questionnaires réalisés en classe de Troisième mais aussi en première année d'IUFM nous ont montré que les mêmes difficultés persistaient lorsque l'on demandait de définir la croissance ou d'expliquer comment les aliments intervenaient dans la croissance : l'aspect externe visible (taille principalement) semble privilégié par rapport à l'aspect contenu ou substance c'est-à-dire qu'il n'est pas fait référence à la matière et à son implication dans les mécanismes alors que c'est un des éléments explicatifs du concept actuel : "la croissance est assimilation" et "multiplication cellulaire". Pour la moitié des étudiants encore, les aliments sont nécessaires à la croissance mais ils sont extérieurs à cette croissance : ils sont "condition". Pour les autres, ils sont soit une source de matière soit une source d'énergie, mais rarement les deux à la fois.

elle ne fait pas
intervenir
la matière

Cette absence de recours à la matière se traduit de plusieurs façons.

- La croissance est un phénomène qui ne nécessite aucune explication. Il est lui-même explicatif. Son existence n'a pas à être expliquée par un mécanisme où la matière intervient. La nourriture a juste pour fonction "d'aider" ou "de favoriser" la croissance, qui va d'elle-même pour peu que les conditions le permettent.

elle n'a pas
à être expliquée

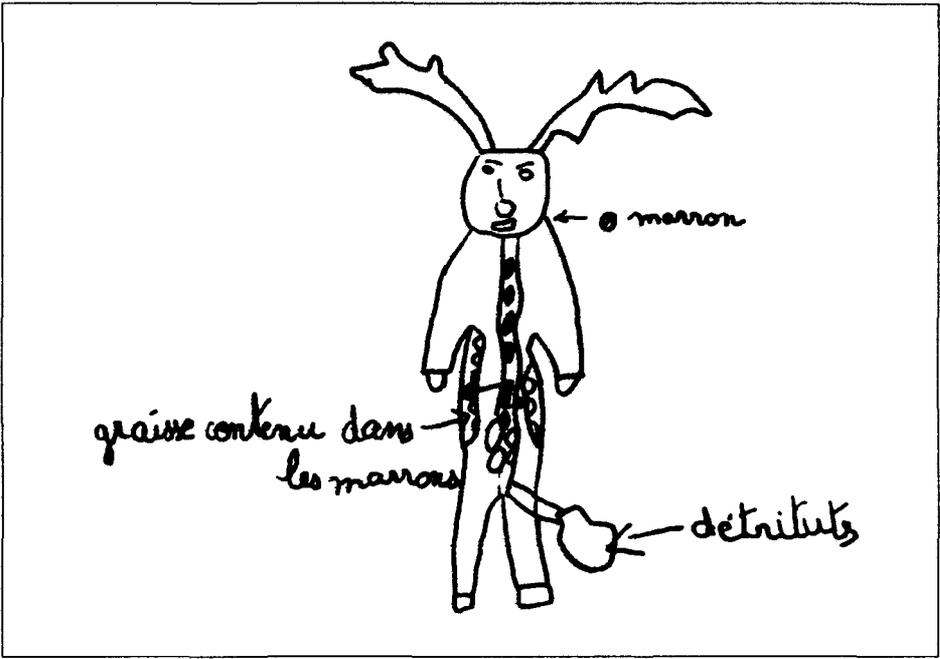
- La croissance est expliquée par le temps qui passe et les propriétés de l'être vivant c'est-à-dire par la vie elle-même. Si celle-ci est possible, si les conditions sont bonnes, alors la croissance donc l'augmentation de masse existe. Dans ces explications, il y a souvent intervention d'une énergie : "force" omnipotente qui permet la croissance et l'explique.

elle correspond
au temps
qui passe...

1.2. La croissance se fait par accumulation de semblable

L'idée d'assimilation n'apparaît pas et quand la matière intervient, elle est comme ci-dessus "condition" ou alors elle s'accumule dans l'organisme : "le semblable allant vers le semblable". Voici à titre d'exemple le dessin réalisé par un élève de Cinquième : la graisse contenue dans les marrons s'accumule sous la peau.

... ou à une
accumulation
de matière
semblable



Document 1. Dessin d'un élève de Cinquième sur la croissance du cerf

Un autre a accompagné son dessin du commentaire suivant :

(Les cerfs) Ils mangent beaucoup de marrons. Puis les marrons passent dans le corps et se ~~marrons se transformant~~ en graisse. La graisse tenu dans les marrons ~~est~~ dans le corps.

Document 2. Commentaire d'un élève de Cinquième sur la croissance des cerfs

la graisse sert à faire de la graisse comme...

Les ratures nous montrent que cet élève a hésité et devant ce qu'il vient d'écrire, il se rétracte et revient à quelque chose de plus confortable pour lui, semble-t-il : la graisse était dans les marrons et va dans le corps.

Nous retrouvons ce même type d'explication pour de nombreux organes : "Le lait peut participer à la croissance des os en se collant à eux pour les grossir, les grandir puis la matière

... le muscle sert
à faire du muscle

se trouvant à l'intérieur se transforme en moelle." (Thomas 3^e) ; "La croissance se fait par addition de molécules aux molécules qui constituent nos organes. On nous dit toujours : il faut bien manger pour grandir ; donc les molécules de viande et les morceaux de "légumes" s'additionnent avec les molécules que nous avons déjà : les molécules de lait, favorisent la croissance de l'os, donc, les molécules de lait vont s'additionner à nos molécules d'os. Pour les muscles c'est pareil, les molécules de "viandes" (des muscles) s'ajoutent à nos molécules de muscles." (Stéphanie 3^e). Pour Stéphanie le choix se base aussi sur une accumulation de semblable.

L'idée de synthèse n'apparaît donc pas chez les élèves. Nous voyons une idée de "translocation de la matière" ou encore de transformation globale, le tube digestif étant responsable de ces transformations. Ces formulations ne sont pas isolées, on les retrouve pour certaines de la Sixième à la faculté. Comment expliquer une telle persistance ?

2. LES OBSTACLES LIÉS AU CONCEPT DE CROISSANCE

2.1. L'obstacle est une structure profonde

Un consensus semble se faire actuellement pour admettre que les représentations s'appuient sur des structures plus globales de raisonnement. Pour Lauren B. Resnick, des conceptions plus fondamentales sont à la base de ces explications naïves du monde ; elle les qualifie de "*convictions ontologiques, car elles font appel aux catégories de base en fonction desquelles les gens analysent le monde et réagissent à celui-ci.*" Ces modes de raisonnement sont, pour la plupart, implicites et les gens n'en sont pas conscients, ce qui ne veut pas dire que "*ces convictions (soient) moins puissantes pour autant*" (6). Laurence Viennot précise également que "*l'étude de champs conceptuels associée à des domaines spécifiques de la physique (mécanique, électrocinétique, propagation des ondes, thermodynamique...) a fait apparaître des tendances de raisonnement qui, à l'évidence, sortent des limites de ces champs spécifiques et se manifestent sous des formes analogues d'un domaine à l'autre*" (7). Elle donne

(6) RESNICK Lauren B. (1989), "Convictions ontologiques dans l'apprentissage de la physique", in *Constructions des savoirs, Obstacles et conflits*, Bednarz Nadine et Garnier Catherine, (dir), Ottawa, Cirade, p. 103.

(7) VIENNOT Laurence (1989), "Tendance à la réduction fonctionnelle : obstacle au savoir scientifique et objet de consensus", in *Constructions des savoirs, Obstacles et conflits*, Bednarz Nadine et Garnier Catherine, (dir), Ottawa, Cirade, p. 84.

les représentations
s'appuient
sur des structures
profondes
de raisonnement

comme exemple de ce type de raisonnement le raisonnement linéaire causal qui "sous une forme ou sous une autre, ... s'applique à une proportion considérable des argumentations d'étudiants confrontés à des problèmes à plusieurs variables dans divers domaines de la physique" (8). De même pour Samuel Johsua : "La réponse a un exercice de caractère opérationnel met en œuvre non une représentation unique, mais une combinaison de représentations, elles-mêmes appuyées sur des structures plus globales de raisonnement." (9) En biologie, Guy Rumelhard attribue les représentations "à des valeurs étrangères au savoir scientifique (survalorisations tout autant que dévalorisations) qui perturbent l'assimilation des connaissances" (10). Jean-Pierre Astolfi et Brigitte Peterfalvi font l'hypothèse que les difficultés concernant les transformations de la matière, aussi bien pour comprendre les phénomènes physico-chimiques que les phénomènes biologiques (digestion, respiration, photosynthèse), sont sous-tendues par "trois obstacles principaux (mettant en jeu des modes de pensée assez primitifs) : le primat de la perception sur la conceptualisation ; l'usage de la pensée catégorielle, voire de la "pensée par couples" ("ou bien ... ou bien...") : le vivant/le non vivant, les gaz/pas les gaz ; un excès de survalorisation (le vivant par rapport au non vivant) ou de dévalorisation (les gaz et la chimie)" (11).

L'obstacle est donc "ce qui en profondeur explique et stabilise la représentation" (12). Ce sont ces obstacles qui "correspondent à ce qui fait vraiment résistance aux apprentissages et aux raisonnements scientifiques, tout en répondant de façon confortable aux besoins d'explication des enfants" (13). Michel Fabre définit ainsi l'obstacle : "L'obstacle n'est pas l'ignorance, mais une connaissance positive qui en d'autres circonstances, fonctionnerait assez bien comme outil." (14) Il s'agit donc d'identifier les obstacles qui peuvent stabiliser les conceptions liées à la croissance. Pour identifier ces obstacles un détour par l'histoire du concept et le développement psychogénétique de l'enfant nous a semblé indispensable.

c'est l'explication
préexistante
qui est obstacle
et non l'absence
d'explication

(8) Ibid, p. 90.

(9) JOHSUA Samuel (1989), "La perdurance des obstacles épistémologiques : un révélateur de leur nature", in *Constructions des savoirs, Obstacles et conflits*, Bednarz Nadine et Garnier Catherine, (dir), Ottawa, Cirade, p. 115.

(10) RUMELHARD Guy (1996), "Représentations et travail résistant" in *Biologie Géologie*, APBG, Paris, n° 4, p. 756.

(11) ASTOLFI Jean-Pierre, PETERFALVI Brigitte (1993), "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", in *Aster* n° 16, Paris, INRP, p. 110.

(12) Ibid., p. 106.

(13) Ibid., p. 108.

(14) FABRE Michel (1995), *Bachelard éducateur*, Paris, PUF, p. 89.

2.2. Les obstacles qui stabilisent les conceptions sur la croissance

la vie
est animation
de la matière

La croissance est une des caractéristiques de la vie, or la vie et les phénomènes vitaux peuvent être différemment considérés. Georges Canguilhem nous propose quatre conceptions (15) qui ont existé dans l'histoire et persistent encore : la vie peut être considérée comme "animation de la matière", comme "mécanisme", comme "organisation" ou comme "information". De nombreuses explications proposées par nos élèves peuvent se rattacher à une conception de la vie comme "animation". Cette conception qui remonte aux grecs mais qui est "*restée vivace jusqu'au milieu du 19^e siècle*" s'explique par un "*principe interne de toutes les opérations des corps vivants*" (16). La vie est ici explication, elle ne demande pas à être expliquée. La difficulté repose alors sur ce qui est perçu comme méritant d'être expliqué et sur ce qui est considéré comme explication. L'étude des mécanismes de la croissance va donc nécessiter une rupture au niveau de la conception de la vie. Il s'agit de faire passer les élèves d'une conception de la vie comme "animation" à une conception de la vie comme "organisation".

la matière
est continue
l'organisme
est continu

La croissance nécessite de la matière, de l'énergie et de l'information entre autre ; elle se caractérise par une augmentation de la taille et de la masse mais aussi par une augmentation du nombre des cellules. La compréhension de l'augmentation de la masse nécessite la prise en compte de la matière. Celle du nombre des cellules nécessite la prise en compte de la structure de l'organisme. Dans un cas comme dans l'autre, il s'agit d'observer l'organisme non plus dans sa totalité mais dans sa discontinuité. Il s'agit de considérer comment certaines parties ou constituants interviennent dans le fonctionnement de l'ensemble. Nous abordons ici le problème de l'individu aussi nous reprendrons une remarque de Georges Canguilhem : "*L'individualité, par les difficultés théoriques qu'elle suscite, nous oblige à dissocier deux aspects des êtres vivants immédiatement et naïvement intriqués dans la perception des êtres : la matière et la forme. L'individu c'est ce qui ne peut être divisé quant à la forme, alors même que l'on sent la possibilité de division quant à la matière.*" (17) L'étude des mécanismes de croissance nécessite donc une double rupture : rupture au niveau de la continuité de la matière et rupture au niveau de la continuité de l'organisme. Il s'agit ici de dépasser la perception et d'aller vers l'abstraction. Ces difficultés se mêlent dans les explications que les élèves proposent. Il nous a pourtant paru intéressant de suggérer des regroupements, même si, à certains égards, ils peuvent paraître arbitraires.

(15) CANGUILHEM Georges (1990), article "Vie", in *Encyclopædia universalis*, T. 23, Paris, p. 546-554.

(16) Ibid., p. 546-564.

(17) CANGUILHEM Georges (1985) (2^e édition), *La connaissance de la vie*, Vrin, Paris, p. 62.

des progrès
intellectuels
multiples

2.3. Une grille de lecture des représentations

Sur le schéma ci-contre (18) (document 3) sont pris en compte les aspects concernant la matière, l'organisme et l'explication de la vie. Au centre figurent les différentes formulations de la croissance obtenues, à droite le modèle de la matière mis en jeu, à gauche le modèle de l'organisme et l'explication de la vie.

Nous avons tout d'abord des formulations qui ne relèvent pas d'un questionnement scientifique, qui ne font pas intervenir la matière et qui considèrent l'organisme comme un tout.

- passer d'un mot
ou d'une image
à une recherche
d'explication

- "La croissance est un mot", "la croissance est une image". Par ses synonymes, la croissance est le fait de pousser, le fait de grandir, il est donc inutile d'aller chercher plus loin l'explication. Il suffira de remplacer le mot par un de ses synonymes et l'on croira avoir expliqué. Nous rejoignons Bachelard quand il nous dit "un mot ou une image constitue une explication" (19). L'enfant reconnaît les phénomènes qui accompagnent la croissance et cette caractérisation vaut explication nous précise ce même auteur : "Ces phénomènes, on les exprime : on croit donc les expliquer. On les reconnaît : on croit donc les connaître" (20). Nous sommes à la limite entre la description et l'explication et ici la description devient explication. Ces deux manières de définir la croissance "croissance-mot" ou "croissance-image" sont reliées à un même obstacle que nous qualifierons d'obstacle descriptif. Le dépasser c'est ne plus se contenter d'un point de vue purement descriptif où aucun problème ne se pose pour, au contraire, rechercher des explications ou des causes.

- Une première difficulté va être dans la recherche de la causalité. Un obstacle que nous avons qualifié de tautologique consiste à admettre que les "choses sont ainsi parce qu'elles sont ainsi" et qui se traduit par "la croissance est dans le cours des choses" ou encore "la croissance est une conséquence de l'âge". En effet, dans le cas de la croissance, il semble qu'il existe "un finalisme dans lequel la structure adulte joue comme cause finale du développement" (21).

Cette idée de fin sera un arrêt de pensée et un obstacle au sens bachelardien du terme "dans la mesure où elle se pré-

-
- (18) GOIX Marcelle (1996), *Les concepts de croissance et de développement en biologie : obstacles et représentations chez les élèves de collège ; propositions de situations didactiques pouvant faciliter l'apprentissage*. Thèse de doctorat de 3^e cycle, Université Denis Diderot, Paris, p. 211.
- (19) BACHELARD Gaston (1938), *Formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin, p. 73.
- (20) Ibid., p. 73.
- (21) PICHOT André (1983), "Explication biochimique et explication biologique", in *L'explication dans les sciences de la vie*, Paris, Éditions du CNRS, p. 69-103.

La vie comme	Niveau organisme	Formulations de la croissance	Niveau matière
organisation	L'organisme se construit	La croissance est multiplication cellulaire	modèle
		<i>obstacle holiste</i>	discontinu
mécanisme	L'organisme	La croissance est synthèse à partir des aliments	"hétérogène"
	est	La croissance est mélange d'aliments	Modèle
	un	<i>obstacle vitaliste</i>	discontinu
	"tout"	La croissance est accumulation d'aliments	"homogène"
animation de la matière	préformé	<i>obstacle vitaliste</i>	
		La croissance est accumulation de semblable	
		<i>obstacle holiste</i>	modèle continu
		La croissance est dilatation	
Pas de réel		<i>obstacle tautologique</i>	
questionnement		La croissance est due à l'âge	
scientifique		<i>obstacle tautologique</i>	Non prise en compte de la matière
		La croissance est dans le cours des choses	
		<i>obstacle descriptif</i>	
		La croissance est une image	
		<i>obstacle verbal</i>	
		La croissance est un mot	

Document 3. Une grille de lecture des conceptions

- admettre
que la croissance
n'est pas
une évidence

sente comme une véritable explication et elle empêche de fournir une explication en termes de mécanisme matériel" (22) ou au contraire source de recherche si le biologiste l'utilise "moins comme cause que comme hypothèse de recherche" (23). Dans la pensée commune, ce finalisme est plutôt un arrêt de pensée car on le retrouve dans cette admiration du bel ordre du monde "la nature est bien faite", "c'est dans le cours des choses", "c'est fait pour" et il apparaît très tôt chez l'enfant. À cette conception nous avons rattaché "la croissance est due à l'âge". Nous avons ici un essai de recherche des causes mais avec une confusion : la chronologie devient cause. Se basant sur l'aspect extérieur de stature ou de taille l'enfant associe la croissance à l'âge et le temps devient principe de causalité. L'âge est cause de la croissance et la croissance est expliquée par l'âge. Cette conception est reliée à un obstacle plus général que nous qualifierons d'obstacle tautologique. Le dépasser, c'est renoncer à penser que les choses sont ainsi parce qu'elles sont ainsi. C'est abandonner l'idée que la croissance est une évidence ce qui revient en fait à évacuer tout problème scientifique.

Les formulations que nous allons étudier maintenant tentent d'expliquer les mécanismes qui interviennent dans la croissance et prennent en compte la matière mais une matière discontinue et "homogène" dans un organisme vivant survalorisé où la "vie est animation de la matière" et nous avons alors la formulation suivante.

- "La croissance comme dilatation". La croissance est dilatation non au sens physique du terme mais seulement comme augmentation de volume. En effet, l'augmentation de masse lors de la croissance est admise mais, nous dit Piaget, elle est conçue "comme absolue, c'est-à-dire sans que la substance gagnée par l'organisme soit empruntée au monde extérieur" (24). La croissance est favorisée par les aliments mais n'est pas produite par eux, c'est un phénomène caractéristique de la vie. Nous pouvons rapprocher de cette formulation, la formulation suivante : "nous avons besoin de muscles pour faire du sport donc le sport est responsable de la croissance" car Piaget nous dit que, pour les enfants, dans la nature "tout est fait pour ..." (25) et en particulier tout est fait pour satisfaire les besoins de l'homme et dans le bien de l'humanité. Dans cette perspective le "fait pour" va

(22) Ibid., p. 119-129.

(23) MARX Charles (1983), "Actualité d'un vieux problème : la finalité", in *L'explication dans les sciences de la vie*, Paris, Éditions du CNRS, p. 107-131.

(24) PIAGET Jean, INHELDER Bärbel (1962), (2^e édition), *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, p. 145.

(25) PIAGET Jean (1972), (4^e édition), *Représentation du monde chez l'enfant, Le concept de vie*, Paris, PUF, p. 299.

- admettre
que le vivant
obéit aux mêmes
lois que l'inerte...

passer "au fait par" dans la mesure où l'existence entière de l'enfant "est organisée par ses parents, (et qu'il) considère que tout ce qui est "fait pour" lui est "fait par" son père ou sa mère" (26), et nous pouvons ainsi expliquer que le sport soit responsable de la croissance des muscles ou que l'accumulation des connaissances provoque celle du cerveau... Nous voyons donc que le vitalisme dans sa manifestation première qui est "animation de la matière" stabilise cette conception. La vie est cause de la croissance. Renoncer à l'idée que la croissance est une conséquence de la vie c'est accepter de la regarder comme un phénomène qui peut s'expliquer. Il s'agit alors de changer de paradigme explicatif et admettre que le vivant obéit aux mêmes lois que l'inerte.

- Nous avons vu qu'il fallait penser l'organisme en terme de "particules" puis en termes de synthèses. Tout ceci va à l'encontre du bon sens populaire. N'existe-t-il pas un adage qui dit : "la graisse fait la graisse et la chair fait la chair" ? Ceci est également contraire au principe d'économie qui préconise : "pourquoi faire compliqué quand on peut faire simple ?" L'expérience commune fait donc obstacle à cette idée de synthèse et en particulier ce "mythe du semblable". Ceci se traduira par des formulations telles que "la croissance se fait par accumulation de semblables" et en particulier dans le cas de la croissance par "accumulation de matières provenant d'autres êtres vivants" puisque la croissance est une des caractéristiques de la vie. Il s'agit encore d'une forme de vitalisme même si la vie est devenue mécanisme. Le mythe du semblable, dans le cas de la croissance, s'actualise par une forme de vitalisme qui veut que le vivant ne puisse faire du vivant qu'avec du vivant : que la graisse ne puisse se faire qu'avec de la graisse, les muscles avec des muscles, que les végétaux se nourrissent de matières organiques... Dépasser cet obstacle c'est admettre que la matière vivante n'a pas de vertus spécifiques mais que le vivant est capable de faire du vivant avec du non vivant.

... et que
le vivant
peut se faire
avec du "non-
semblable" ...

- Quand "la croissance est accumulation", comme dans le cas précédent, la matière est homogène et la vie survalorisée, vivant et non-vivant sont différents et l'un ne peut participer à la constitution de l'autre. Par juxtaposition, la matière vivante retient le dioxyde de carbone, l'eau, les ions. Lors de la décomposition, cette matière subsiste alors que les éléments nutritifs sont libérés, dispersés. La croissance se réduit à une accumulation dans cette matière vivante préexistante de substances prélevées à l'extérieur. Nous sommes encore ici dans une forme de vitalisme, la matière vivante est différente de la matière inerte et abandonner cette idée c'est admettre que les constituants de la matière vivante et de la matière inerte sont les mêmes et que les constituants de l'un peuvent servir à la synthèse de l'autre sous l'action d'une "force" qui restera à définir.

... ou du non-
vivant

- la croissance
est synthèse
et non mélange

• Si la matière est homogène et la vie démythifiée, "la croissance sera mélange". Ici les constituants de la matière inerte et de la matière vivante sont les mêmes et les uns participent à la constitution de l'autre. Pour arriver au niveau de la synthèse, il faudra être dans un modèle discontinu de la matière et, de plus, admettre que cette matière est hétérogène c'est-à-dire admettre que chaque particule est elle-même composée de particules plus petites qui peuvent se combiner différemment pour donner différents corps. Dans un modèle continu de la matière ou dans un modèle discontinu mais homogène, les transformations ne sont pas possibles et la croissance est mélange. Cette conception est stabilisée par une forme d'holisme : la matière est considérée comme homogène. Dépasser cet obstacle c'est admettre que la matière non seulement est discontinue mais de plus hétérogène.

- l'organisme
n'est pas un tout
préformé

• Jusqu'à présent nous avons abordé le problème de l'assimilation liée à la croissance mais nous n'avons pas abordé l'aspect cellulaire. La prise en compte de la cellule pose le problème de l'organisation de la matière et l'organisme est d'abord vu comme un tout. Nous retrouvons ici le problème du continu et du discontinu observé au niveau de la matière. Pendant très longtemps, la fibre a été considérée comme l'unité fondamentale de l'organisme vivant. Cette fibre correspondait à une structure continue de la matière. Le tissu est "*l'image d'une continuité où toute interruption est arbitraire*" (27). Le blastème, ce liquide fondamental dans lequel se forment les cellules, n'est que la suite de cette continuité et "*pour considérer un organisme, avec son unité, sa coordination, ses régulations, comme composé d'éléments vivants, il faut admettre que ceux-ci ne sont pas simplement collés mais intégrés. Les unités doivent s'amalgamer en une autre unité d'ordre supérieur. Il leur faut se soumettre à l'organisme, abdiquer toute individualité devant celle du tout. C'est à ce prix que l'être indivisible peut se composer d'unités élémentaires. L'organisme n'est pas une collection mais un monolithe*" (28). Au niveau de l'organisme, l'idée de continuité s'est donc opposée pendant très longtemps à l'idée de cellule en tant qu'individu fonctionnel et elle a constitué un obstacle à la mise en place de la théorie cellulaire. Cet aspect continu de l'organisme nous l'avons retrouvé chez nos élèves, l'organisme est un "tout" préformé. Travaillant avec des enfants jeunes, nous n'avons pas approfondi les conceptions qui pourraient se rattacher à la cellule. Nous ne sommes donc pas en mesure de décrire les obstacles empêchant d'atteindre une telle formulation.

Nous voyons donc que les conceptions observées au niveau de la croissance relèvent d'obstacles plus transversaux tels que le vitalisme avec ses différentes formes, la difficulté à

(27) CANGUILHEM Georges (1985), op. cit. note (17), p. 64.

(28) JACOB François (1970), *La logique du vivant, une histoire de l'hérédité*, Paris, Gallimard, p. 131.

les conceptions
relèvent
d'obstacles
transversaux

concevoir la matière discontinue, la difficulté à concevoir l'organisme discontinu etc. Ces obstacles sont eux-mêmes dépendants de modes de pensée plus fondamentaux : primat de la perception, valorisation/dévalorisation, pensée catégorielle. Ces modes de pensée ne sont pas en eux-mêmes des obstacles : la pensée catégorielle n'est pas un obstacle en soi mais "elle peut avoir une fonction obstacle lorsqu'elle empêche de comprendre" (29). Ainsi la survalorisation du vivant devient obstacle car elle empêche de comprendre que le vivant peut faire du vivant avec du non vivant. De même, imaginer la matière homogène et continue empêche de comprendre les réactions chimiques.

Comment alors prendre en compte ces conceptions et ces obstacles dans l'enseignement ?

3. ÉLABORATION DU CONCEPT EN SIXIÈME

La séquence étudiée se situe dans le chapitre intitulé "Signification de la nutrition et de la respiration chez les êtres vivants" et fait suite au chapitre traitant des "Besoins nutritifs des végétaux".

3.1. L'objectif-obstacle : base de notre séquence d'enseignement

Dans la séquence analysée nous avons travaillé au niveau des obstacles eux-mêmes. Un obstacle peut, en effet, être travaillé au niveau de ses manifestations locales mais aussi au niveau central et Brigitte Peterfalvi nous dit : "Si on le traite localement on risque de s'attaquer davantage à ses manifestations contingentes qu'à sa racine, et le travail sera à reprendre sur chaque exemple, sans que les élèves voient nécessairement qu'il s'agit du même obstacle. Si on le traite globalement, reste à assurer ensuite le transfert de l'apprentissage dans chaque situation particulière. Car s'il s'agit d'un obstacle véritable, on risque fatalement d'y "retomber" à la première occasion." (30)

Lors des séances précédentes nous avons abordé des aspects locaux des obstacles et en particulier la conception "les plantes ont besoin de terre" mais dans une logique du "vrai-faux". Les cultures sur de la ouate synthétique ou des billes de verre nous avaient montré qu'une plante n'avait pas besoin de terre mais les arguments utilisés étaient des arguments purement logiques. Les résultats des cultures avec ou sans sels minéraux dans la terre ou dans le milieu

(29) PETERFALVI Brigitte (1992), *Objectifs-obstacles et situations d'apprentissage autour du concept de transformation de matière*, ROOSA, document interne INRP, Paris, p. 148.

(30) ASTOLFI Jean-Pierre, PETERFALVI Brigitte (1993), op. cit. note (11), p. 114.

un obstacle
peut être travaillé
au niveau local
mais...

synthétique permettent de dire que la plante a besoin de matière minérale et que dans les conditions "naturelles" c'est dans la terre que la plante trouve ces substances d'où la nécessité de rajouter des engrais, etc. Mais les sels minéraux sont comme nous l'avons vu par ailleurs, assimilés aux vitamines qui sont peut-être elles-mêmes le support d'une "force" qui permet la croissance.

De plus une même formulation peut dépendre de plusieurs obstacles et inversement un même obstacle peut induire plusieurs formulations. Sur le document 4, différents obstacles ont été replacés et mis en relation avec différentes formulations. Si nous étudions la conception : "*la plante a besoin de terre*", nous voyons qu'elle relève de plusieurs obstacles :

une formulation
peut dépendre
de plusieurs
obstacles

- obstacle "tautologique" : la plante a "sa" place dans la terre, la terre est le "lieu" de "ses" racines, il ne saurait en être autrement, chaque chose est à sa place, la terre est conçue comme "milieu-harmonie" (31) ;
- obstacle "vitaliste" : la plante ne peut faire du vivant qu'avec du vivant. La plante trouve dans la terre les constituants dont elle a besoin et en particulier les substances qui proviennent de la décomposition des végétaux, ou encore les êtres microscopiques dont elle se nourrit, etc.

Ces obstacles induisent aussi le fait que, pour les enfants, "la matière vivante ne se construit pas" donc "la croissance est due à l'âge" ou "la croissance est dilatation" ou encore que "la matière vivante obéit à une physique des qualités" ... d'où il découle que les êtres vivants ont ainsi besoin de conditions particulières de nourriture, de température... Ces conditions, les animaux et les végétaux les retrouvent dans leur "milieu naturel". L'ensemble forme donc un réseau qui fonctionne et qui permet d'interpréter et d'assimiler l'information qui provient du monde extérieur.

Pour toutes ces raisons nous avons choisi de travailler sur les obstacles eux-mêmes. En 1986, Jean-Louis Martinand a modifié le statut didactique de l'obstacle en introduisant la notion d'objectif-obstacle. Il propose de mettre au centre des apprentissages les obstacles pour définir les véritables objectifs, "*parmi les objectifs possibles, les objectifs intéressants sont les objectifs-obstacles*" (32). Pour définir les objectifs-obstacles, il s'agit d'abord de définir les objectifs à partir des programmes et de choisir à partir de ces objectifs ceux qui paraissent devoir occuper la même "*niche écologique*" (33) qu'une conception. Parmi les objectifs possibles il

(31) DROUIN Anne-Marie, ASTOLFI Jean-Pierre (1987), "Milieu", in *Aster* n° 3, Paris, INRP, p. 84.

(32) MARTINAND Jean-Louis (1989), "Des objectifs-capacités aux objectifs-obstacles : deux études de cas", in *Constructions des savoirs, Obstacles et conflits*, Bednarz Nadine et Garnier Catherine, (dir), Ottawa, Cirade, p. 217-227.

(33) PETERFALVI Brigitte (1992), op. cit. note (29), p. 207.

baser la séquence
sur la connaissance
des différents
obstacles

faut choisir ceux qui paraissent franchissables et qui montrent un "progrès décisif non acquis spontanément". Jean-Louis Martinand insiste sur les transformations intellectuelles à réussir "car l'éducation scientifique ne consiste pas à construire sur "terrain vierge", mais à transformer des attitudes, des représentations et des habiletés qui existent déjà et qui trouvent à s'investir ailleurs" (34). Avec l'idée d'objectif-obstacle il s'agit de définir les objectifs à partir des programmes, de déceler les conceptions et les obstacles qui interviennent dans l'apprentissage puis de choisir parmi les objectifs assignés par les programmes un nombre limité de progrès intellectuels non acquis spontanément et qui pourraient faire l'objet d'un apprentissage.

3.2. Choix de l'objectif-obstacle

D'après les programmes et les instructions que nous avons cités précédemment il s'agit d'arriver à la formulation suivante : "Un végétal chlorophyllien fabrique sa propre substance à partir de l'eau, des sels minéraux et du dioxyde de carbone sous l'action de la lumière."

Dans cette partie du chapitre, ce n'est plus, comme dans le chapitre précédent, l'aspect descriptif de la croissance qui est mis en jeu mais l'aspect explicatif et en particulier l'aspect "matière, énergie, information".

la nutrition
des animaux
va dans le sens
de l'obstacle

Nous avons abordé le problème de l'assimilation par l'intermédiaire des végétaux plutôt que des animaux car il nous semble que l'étude des animaux se heurte à des difficultés encore plus importantes que l'étude des plantes. Le côté affectif est très envahissant, et de plus, comment, en Sixième, sortir de l'idée que "le vivant ne peut se faire qu'à partir du vivant" en étudiant la nutrition animale puisque les animaux se nourrissent principalement d'autres êtres vivants, alors que l'idée d'assimilation nécessite l'idée de digestion non comme un tri mais comme une perte de spécificité et ensuite celle d'une réorganisation de la matière ? Cet obstacle pourrait être qualifié d'obstacle facilité. "Beaucoup d'obstacles (peut-être parmi les plus résistants) se présentent au contraire comme une trop grande facilité pour la pensée, comme un "confort intellectuel" auquel on revient sans s'en apercevoir. Le problème est alors moins de "sauter" l'obstacle, que d'apprendre à le voir et à l'éviter (c'est le cas de l'anthropomorphisme, du raisonnement linéaire causal, de la conception du milieu comme "harmonie"...)." (35). Les végétaux au contraire utilisent des "aliments non vivants" (matières minérales) ce qui permettra de travailler la notion de synthèse de "matière vivante" c'est-à-dire la notion d'assimilation.

Où se situent les élèves de Sixième par rapport à ces différentes formulations ?

(34) MARTINAND Jean-Louis (1986), *Connaître et transformer la matière*, Berne, Peter Lang, p. 110.

(35) PETERFALVI Brigitte (1992), op. cit. note (29), p. 210.

En Sixième, ils perçoivent l'augmentation des dimensions de la plante mais ils ne l'expliquent pas. La croissance est "dans l'ordre des choses" ou est "dilatation". Il s'agit de passer des conceptions : "*la croissance est dilatation*" ou "*est dans l'ordre des choses*" qui s'actualise dans le cas du végétal par : "*la plante est constituée d'une matière propre, les éléments prélevés à l'extérieur n'interviennent pas*" à la formulation suivante : "*la matière vivante provient de la transformation par la plante des éléments prélevés à l'extérieur*".

Les obstacles qui interagissent sont les suivants : obstacle tautologique (la croissance est dans l'ordre des choses, elle fait partie de l'harmonie du monde) ; obstacle holiste (les êtres vivants sont faits d'organes et non de molécules et d'atomes ; la matière est continue et non discontinue) ; obstacle vitaliste (la matière vivante est différente de la matière inerte ; le vivant ne peut se faire qu'à partir du vivant – survalorisation du vivant).

Après avoir choisi l'objectif-obstacle il s'agit de définir les progrès intellectuels à réaliser pour espérer "dépasser" les obstacles ou du moins pour interagir avec eux.

3.3. Progrès intellectuels à réaliser

Il s'agit ici de gérer une rupture d'ordre épistémologique car passer de l'idée d'une "*croissance dans le cours des choses*" à une idée de "*croissance comme construction de matière*" suppose :

- que l'on change de paradigme explicatif ; pour les élèves la croissance "va de soi", elle est une conséquence de "cette animation de la matière" qui caractérise la vie ; nous avons ici un obstacle qui interdit d'entrer dans le discours scientifique ;
- que l'on ne regarde plus l'organisme comme un tout mais qu'on accepte de le regarder avec un œil plus réductionniste au niveau de ses constituants ; or, pour les élèves le vivant n'a pas la même composition que le non vivant ; la matière vivante est différente de la matière inerte, elle est caractéristique des organismes et même de chacun des organes ; il faut donc changer de modèle de référence ;
- que la matière vivante obéit aux mêmes lois que la matière inerte en particulier qu'elle a les mêmes constituants et qu'une augmentation de masse suppose un ajout de matière.

Se pose maintenant "*le problème des stratégies, et plus généralement des "modes d'activité didactique" à mettre en œuvre par rapport aux obstacles choisis et présents dans les situations du curriculum*" comme le dit J.-L. Martinand (36).

les progrès
correspondent
à des changements
de paradigmes

(36) MARTINAND Jean-Louis (1989), op. cit. note (32), p. 217-239.

3.4. Activités proposées

• *Première activité : peser les plantes*

des activités pour
interagir avec
les obstacles

Lors du chapitre précédant cette séquence, les élèves ont réalisé, par groupe de quatre, des cultures de cresson alénois pour mettre en évidence les besoins nutritifs des végétaux. Après avoir constaté que des plantes ayant poussé sans lumière étaient plus grandes que des plantes ayant poussé à la lumière mais qu'elles n'avaient pas de feuilles, les élèves ont pris conscience que le critère "taille" ne pouvait plus être considéré comme critère exclusif de la croissance. La masse paraissait être plus significative. Nous avons donc systématiquement pesé les plantes (cresson alénois, une dizaine de plants par pot, au bout d'une quinzaine de jours, avec une balance de précision). Cette pesée a permis de changer de critère de référence par rapport à la croissance. Pour les élèves nous avons vu que la croissance était principalement liée à une augmentation de taille, le choix de la masse comme critère de référence permet d'introduire un élément nouveau plus pertinent par rapport au problème posé (la masse fait intervenir la quantité de matière) et permet de faire une lecture différente du réel. D'autre part le choix de la pesée enlève un peu de magie au vivant et peut faire admettre que ce dernier a des propriétés communes avec l'inerte et obéit aux mêmes lois. Ce critère nous permet donc de privilégier le "côté matière" et de minorer le "côté morphologie".

- peser
la plante
pour faire
intervenir
la matière

• *Deuxième activité : peser la pâte à modeler avant et après déformation*

Après avoir fait prévoir par écrit les variations de masse d'une boulette de pâte à modeler que l'on déforme, la deuxième activité a consisté à peser cette boulette après avoir fait varier la forme, ceci pour réactiver une loi que les élèves appliquent pour la plupart à la matière inerte mais n'appliquent pas obligatoirement à la matière vivante puisque pour eux la croissance est un phénomène absolu qui ne nécessite pas d'apports extérieurs : pour augmenter la masse, il faut ajouter de la matière.

- utiliser un
même matériau
pour le vivant
et le non-vivant

Le fait de peser la pâte à modeler au moment où on travaille sur un phénomène concernant le vivant vise à créer un pont entre le vivant et le non-vivant et en particulier à traiter le vivant comme le non-vivant. En effet, les élèves utiliseront les mêmes matériaux pour représenter la croissance d'une plante, on espère qu'ainsi ils mobiliseront les lois de l'inerte à propos du vivant et en particulier que :

- l'augmentation de masse est l'indice d'une augmentation de la quantité de matière ;
- la matière se conserve dans le vivant comme dans le non-vivant.

• **Troisième activité : modéliser**

- modéliser pour
que la croissance
devienne
un objet d'étude...

Il a tout d'abord été demandé de représenter, par groupe, une plante en croissance avec un matériau au choix : pâte à modeler, boules de cotillon, *Légo*. Puis chaque groupe a présenté à l'ensemble de la classe le modèle qu'il a réalisé. Cette présentation a été filmée et a pu être suivie par l'ensemble de la classe sur un écran de téléviseur.

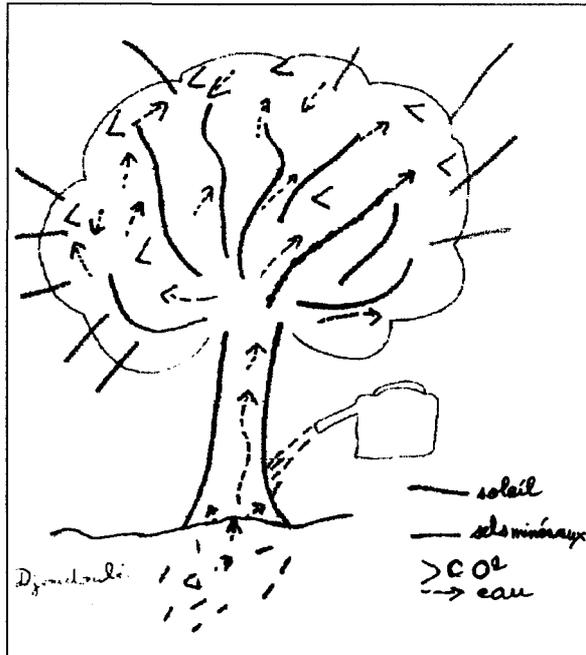
Parmi les différents modèles proposés, trois ont été choisis par le professeur comme étant les plus représentatifs des différents types de conceptions :

- un modèle (modèle 1) dans lequel la plante est représentée en pâte à modeler ou en *Légo* ; les racines, les tiges et les feuilles sont représentées par des pâtes à modeler ou des briques de différentes couleurs ; l'eau et les sels minéraux restent à l'extérieur de la plante ;
- un modèle en pâte à modeler ou en *Légo* (modèle 2) dans lequel on trouve à la fois une matière "plante" matérialisée par de la pâte à modeler ou des briques d'une certaine couleur (en général verte) et des matières minérales juxtaposées : "matière plante" et "matières minérales" sont intercalées dans la maquette ;
- un modèle en pâte à modeler (modèle 3) dans lequel la plante est représentée par un "mélange" de pâtes à modeler de différentes couleurs ; chaque couleur représente une matière minérale mais on ne les distingue plus dans le modèle.

... et en débattre

Ces modèles ont été présentés à la classe qui devait discuter de leur pertinence pour expliquer l'augmentation de masse de la plante au cours de la croissance. Cette discussion s'est déroulée dans des groupes de quatre ou cinq élèves qui devaient désigner un rapporteur pour aller défendre leurs arguments au cours d'un débat que l'ensemble de la classe pouvait suivre sur l'écran du téléviseur. Les groupes dans lesquels se déroulait cette discussion avaient été remaniés et comportaient au moins un élève de chacun des groupes précédents. Chaque modèle pouvait donc être défendu dans chacun des groupes.

L'heure suivante a été consacrée à la prise en compte du dioxyde de carbone qui a été présenté comme faisant augmenter la masse. Il a, à ce moment-là, le même statut que les autres éléments. Par contre il n'a pas fait l'objet d'une modélisation. Quinze jours plus tard un exercice d'évaluation a été proposé : il s'agissait de dire si l'on était d'accord ou non avec un schéma présenté (document 5 ci-après).



Document 5. Schéma à discuter lors d'une évaluation

4. INTÉRÊTS ET LIMITES DE LA SÉQUENCE

4.1. Bilan pour quelques élèves

Nous avons choisi trois élèves qui nous semblent refléter les différentes évolutions possibles avec en particulier Karine pour qui la masse de la boulette de pâte à modeler dépend de la forme. Comment peut-elle alors comprendre l'augmentation de masse liée à la croissance ? Les autres ne font pas varier la masse avec la forme mais ne font pas non plus intervenir les aliments comme source de matière (37).

Pour suivre le parcours de ces quelques élèves de façon plus synthétique nous les avons situés sur un diagramme en fonction des différentes activités réalisées. Nous placerons en abscisses les activités et en ordonnées les différents niveaux de formulation proposés par les élèves :

- la masse augmente quand la plante pousse,
- la masse augmente grâce à l'eau et aux sels minéraux,
- la masse augmente parce que l'eau et les sels minéraux absorbés s'ajoutent à la matière plante (accumulation),

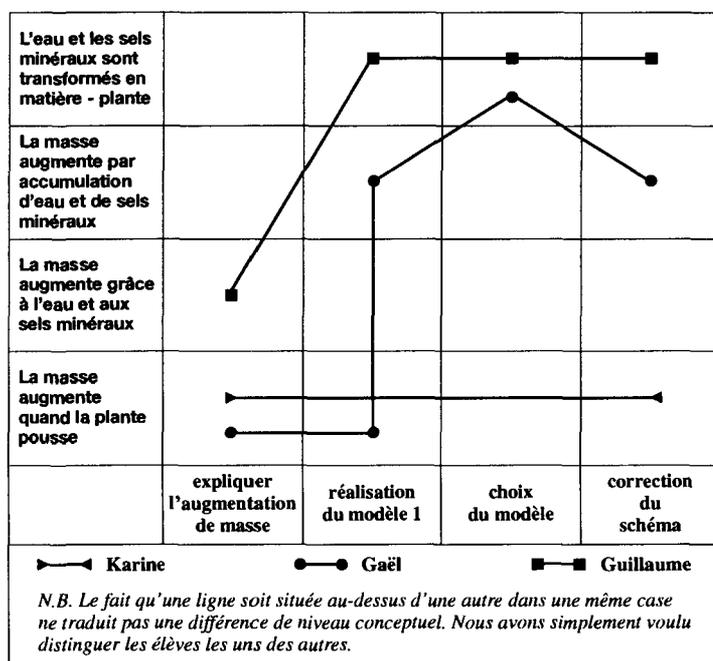
(37) Un seul élève dans la classe considère en ce début de leçon que la plante fabrique sa propre matière à partir des aliments prélevés dans le milieu extérieur.

- la masse augmente parce que l'eau et les sels minéraux sont transformés en matière plante (mélange ? transformation ?).

Au point de vue des activités nous garderons :

- l'explication de l'augmentation de masse avant la déformation de la pâte à modeler,
- les modèles et les choix de modèles quand nous les avons,
- la correction du schéma proposé.

avec des activités identiques, des parcours très différents



Document 6. Des progressions très diverses

Nous pouvons tout d'abord dire qu'il y a un saut qualitatif entre la formulation n° 2 ("la masse augmente grâce à l'eau et aux sels minéraux") et la formulation suivante ("la plante est accumulation") car les deux premiers niveaux restent dans le domaine de l'observable alors que les deux autres sont du domaine explicatif.

• Karine

Nous remarquons que, parmi les différents élèves observés, Karine ne semble pas avoir franchi cette limite. Elle refait lors de l'évaluation exactement le schéma proposé et argumente son choix en précisant : "il me plaît car il est comme on décrit les plantes dans la leçon".

Au départ, pour Karine, la masse dépend de la forme et elle explique l'augmentation de masse de la plante par un rai-

Karine
progresses peu

sonnement tautologique : *“car la plante a pris du poids, et elle grandit alors donc elle s'élargit et prend du poids. Elle prend du poids.”* Elle prend en considération la largeur de la plante, la croissance et donc l'augmentation de masse s'explique par l'image qu'elle retient. Il n'y a aucune prise en compte des aliments. Nous n'avons ensuite aucune trace de son activité pendant la réalisation des maquettes, elle est dans un groupe mais n'intervient jamais. Elle dit (38) avoir appris que la plante poussait *“avec la lumière et les sels minéraux alors qu'elle pensait que la terre y était pour quelque chose pour le poids de la plante”* et que ce qui l'a fait changer d'avis c'est quand on a expliqué *“que pour la terre ça maintenait seulement la plante”*. C'est vrai qu'elle a supprimé la terre dans le texte mais elle ne semble pas beaucoup avoir progressé par rapport *“aux aliments source de matière”*.

• **Gaël**

Gaël par étapes :
elle explique
la croissance

... par l'image...

Pour Gaël, la réalisation des modèles, associée au rappel de la *“loi”* *“pour augmenter la masse, il faut ajouter de la matière”*, lui a permis de passer du phénoménologique à un premier niveau explicatif *“accumulation”*. En effet, à la suite de la manipulation avec la pâte à modeler, elle explique ainsi l'augmentation de masse de la plante lors de la croissance : *“la masse de la plante a augmenté car elle a poussé et peut-être grossi et les feuilles se sont multipliées”*. La perception l'emporte, l'image de la plante est dominante. Elle en est donc à un niveau où l'image explique la croissance et par voie de conséquence l'augmentation de masse. Ce niveau lui permet de comprendre l'expression *“besoin nutritif”* en terme de *“ce qui fait grandir la plante”* mais non en terme de *“ce que la plante doit intégrer pour qu'elle grandisse”*. L'observation et l'écoute du dialogue en classe nous le confirme.

... par
l'accumulation...

Gaël représente la plante en pâte à modeler verte. Cette plante constituée d'une tige et de feuilles sort de la terre sur laquelle sont déposées des pastilles de couleurs différentes. À la demande du professeur, Gaël décrit sa maquette et tire sur l'extrémité de la *“plante”* pour la faire grandir. Bien sûr elle affirme qu'il faut de l'eau, des sels minéraux et de la lumière mais l'eau et l'engrais *“servent”* à faire grandir mais ne participent pas à la construction de matière. C'est après avoir capté l'indice présenté par le professeur (*“et alors est-ce que si tu tires dessus elle va pousser ? Est-ce que sa masse va augmenter ?”*) qu'elle modifie sa définition de la croissance (*“ben, faut rajouter de la pâte à modeler ?”*). Lorsqu'elle présente le modèle construit par le groupe auquel elle participe elle ajoute des briques matérialisant les matières minérales à une plante schématisée par des

(38) En fin de chapitre nous avons posé les questions suivantes aux élèves : *“Que saviez-vous avant la leçon ? Qu'avez-vous appris ? Qu'est-ce qui vous a fait changer d'avis ?”*

briques vertes : la croissance est une addition de matière. C'est la croissance-accumulation. Cependant, nous ne savons pas si cette "matière-plante" correspond à une matière différente de ce qui a été absorbé ou si c'est une matière résultant de la transformation des substances absorbées (ce qui serait un niveau de formulation supérieur au précédent).

Dans la discussion qui accompagne le choix d'un groupe pour un modèle 2 Gaël intervient :

Gaël : *la matière verte* (briques vertes matérialisant la matière plante) *on ne sait pas de quoi elle est faite et elle arrive pas comme ça et il faut bien qu'il y ait quelle chose pour se former.*

....

Prof. : *c'est à dire ?*

Gaël : *il faut qu'on "voye" avec quoi elle se fait.*

... Plus tard elle ajoute.

Gaël : *tandis que dans la trois* (plante faite d'un mélange de pâtes à modeler de couleurs différentes) *on voit le mélange.*

Prof. : *oui et alors ?*

Gaël : *eh be ! on voit que ça se mélange et après ça fait de la matière verte et après ça grandit et après ça refait la même chose.*

... par
la transformation

Une nouvelle étape semble franchie par Gaël à ce moment-là. La présentation des différents modèles lui a permis d'arriver au 3^e niveau avec peut-être une idée de transformation. Ce travail ne lui a, néanmoins, pas permis de généraliser à tous les "aliments" des plantes et en particulier au dioxyde de carbone. En fin de chapitre, elle revient à une idée d'accumulation car lors de la correction du schéma, elle ne fait aucune allusion à une idée de mélange ou de transformation : les symboles restent distincts à l'intérieur de la plante. Il y a accumulation d'eau et de sels minéraux, la lumière restant à l'extérieur. Par contre elle conteste fortement le fait de laisser le dioxyde de carbone dans l'arbre : je ne suis "*pas d'accord car le dioxyde de carbone reste dans l'arbre*". Pour elle, ce dioxyde de carbone ne fait que passer dans la plante. Voici le dessin qu'elle réalise lors de la correction du schéma :

mais le dioxyde
de carbone
la fait retomber



Document 7. Schéma réalisé par Gaël

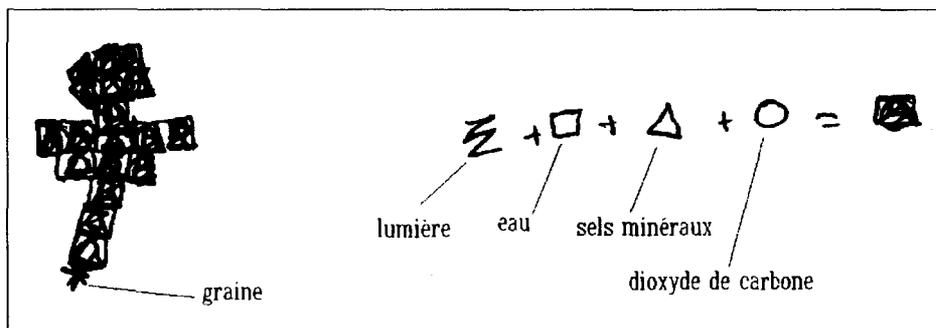
Le dioxyde de carbone décrit un cycle : il entre par les racines, circule dans la plante et ressort par les feuilles. Ce même dioxyde de carbone repartant dans les racines. On ne peut le laisser dans l'arbre. Est-ce la manifestation du fait que ce gaz est souvent considéré comme toxique ? Elle explique ainsi également la respiration et la nécessité de dioxyde de carbone pour augmenter les rendements. Il reste un moment dans la plante puis ressort par les feuilles. [On retrouve souvent, dans les explications, cette idée : le gaz reste sous forme de gaz dans la plante, il fait ainsi augmenter la masse et quand la plante se décompose, elle libère les gaz qui y étaient emprisonnés (cycle de la matière en Cinquième)]. Apparemment, pour elle, le passage "gaz → solide" fait obstacle.

• **Guillaume**

Guillaume semble faire un progrès décisif lorsque l'on pèse la pâte à modeler. En effet, sa première définition de la

Guillaume fait
un bond
prodigieux

croissance est semblable à celle de Gaël "pousser c'est grandir en ayant des feuilles". Par contre après avoir rappelé que pour augmenter la masse d'un objet il fallait ajouter de la matière, il propose la définition suivante : "La plante a fabriqué de la plante et se l'a ajoutée. Elle s'est servi de ses aliments pour fabriquer de la plante." Cette activité semble décisive pour lui et lui-même dit avoir pris conscience que "la plante utilise l'eau, les sels minéraux, le dioxyde de carbone et la lumière pour pousser avec l'histoire de la pâte à modeler qui en se transformant en saucisse, redevenant une boule m'a fait changer d'idée alors que je pensais que la plante poussait toute seule". Il semble y avoir correspondance entre la modification de la formulation et la prise de conscience de cette modification. À partir de ce moment-là tout besoin a le même statut, que l'élément soit solide, liquide ou gazeux, et cet élément intervient dans la synthèse comme le montre le dessin ci-dessous après l'étude de la nécessité du dioxyde de carbone. Mais pour Guillaume tout est matière puisqu'il met la lumière dans la plante au même titre que tout le reste (doc. 8).



Document 8. Schéma réalisé par Guillaume

• **Conclusion de ce bilan**

il n'existe pas
d'activités
cruciales

Nous remarquons que lors de cette séquence chaque élève a suivi son propre cheminement et les différentes activités proposées ont permis de les faire évoluer. Nous remarquons également qu'il n'existe pas une activité "cruciale" mais que chacun a réagi au moment où il était prêt. Il est donc difficile, pour l'enseignant, de préjuger de l'efficacité d'une activité et le travail sur les obstacles semble demander la mise en place d'une série d'activités couvrant l'ensemble des domaines et provoquant des séries de déstabilisations qui petit à petit vont provoquer à un moment donné, propre à chacun, une rupture nécessaire au changement conceptuel. Nous allons maintenant tenter d'analyser de manière plus globale l'intérêt des différentes activités proposées et montrer en quoi elles peuvent provoquer ces déstabilisations

nécessaires au changement conceptuel. Nous ne reviendrons pas sur l'intérêt de la pesée des plantes ni sur celui de la pesée de la pâte à modeler quoique le test ait révélé que dans nos classes plus de 20 % des élèves sont "non-conservants" quant à la masse : ils estiment que la masse varie quand la forme varie. Ce travail sur le vivant peut-il les faire évoluer quant à l'inerte ? Il semblerait qu'une élève (Angélique) ait pris conscience de cette conservation lors de cette manipulation. Nous discuterons par contre de l'intérêt de la modélisation, du débat entre pairs et du choix du matériau utilisé lors de cette phase de modélisation.

4.2. Intérêts et limites de la modélisation

Tout d'abord les élèves ont été actifs et ont volontiers participé à cette activité de modélisation même si elle leur a paru surprenante et déroutante au départ.

La réalisation d'une maquette de plante statique leur pose peu de problème. Ils la représentent avec des racines, des tiges et des feuilles. La difficulté apparaît quand il s'agit d'indiquer comment la plante grandit et en particulier quand il s'agit d'incorporer les éléments prélevés dans le milieu. La réalisation des modèles dynamiques oblige les élèves à passer du stade de besoin (= fait grandir) au stade besoin nutritif et change ainsi le statut du besoin. Elle favorise donc l'émergence et l'appropriation du problème.

La réalisation des maquettes a abouti à plusieurs modèles contradictoires (modèle "tige-racine-feuille", modèle "entre-lardé", modèle "mélange") sous-tendus par les différentes conceptions dont disposent les élèves à cette étape. La réalisation de ces maquettes permet donc la prise en compte des conceptions et plus précisément la verbalisation de ces conceptions qui acquièrent ainsi un véritable statut de "première modélisation" au sens scientifique. La validité de chacun des modèles sera ensuite discutée. Cette activité de modélisation oblige les élèves à passer d'une activité verbale à une concrétisation et l'action joue un rôle fondamental.

- Le sujet observe sa propre "pensée", il la "re-présente" en la simulant.

- Il est mis face à la difficulté qu'il a de concevoir le vivant comme constitué des mêmes éléments que l'inerte et obéissant aux mêmes lois. En effet les élèves sont capables de dire que la plante a besoin d'eau, de sels minéraux pour grandir et ne pas les faire pénétrer dans la plante. Ils vont même jusqu'à affirmer que la plante est faite d'eau, de sels minéraux (de manière verbale) et n'incluent pas ces éléments dans la plante qu'ils réalisent. Le support matériel (*Légo*, ...) permet de discuter des difficultés rencontrées ou du moins de voir (peut-être ?) les écarts entre le discours et la pensée. Il reste ensuite à en faire prendre conscience à l'élève sans qu'il ne ressente cela comme une faute.

les conceptions
sont des
prémodèles
sur lesquels
on travaille

• Sur les matériaux utilisés il lui est possible d'appliquer les lois du monde inerte : si on fait "grandir" la maquette-plante en l'étirant (on n'ajoute donc pas de matière), on ne respecte pas la règle "toute augmentation de masse s'accompagne d'une augmentation de la quantité de matière".

Cette étape a pour but d'assurer la compréhension de la solution, d'accompagner la verbalisation, de vérifier la représentation, d'identifier les transformations du réel et d'assurer la cohérence et la lisibilité de la représentation pour autrui.

on applique
au vivant les lois
de l'inerte, la vie
et la forme
sont laissées
de côté

Enfin, dans cette phase de modélisation, l'élève laisse de côté la vie et la forme et se focalise sur la matière. La procédure de "sélection des événements" est ainsi mise en œuvre (39) et il peut raisonner comme sur la matière inerte.

on peut ainsi
aborder
les problèmes
d'hérédité
avec des élèves
de sixième

Ces maquettes permettent aussi d'aborder le problème de l'hérédité. Un des modèles, par exemple, fait apparaître côte à côte la "matière plante" et la matière minérale et pose ainsi le problème de l'origine de la matière vivante. Il fait prendre conscience à certains élèves qu'ils juxtaposaient les deux types de matière et à partir de là s'est posé le problème de la transformation. Les élèves raisonnent d'abord sur les constituants de la matière elle-même.

Amandine : *dans le 3 on voit pas que la plante grandit on voit juste que les sels minéraux et que l'eau se mélangent.*

Guillaume : *ben non c'est sous-entendu que ce mélange forme la plante et que ça fait grandir.*

Puis Guillaume va aborder le problème de l'arrangement de cette matière :

Guillaume : *c'est la plante qui l'a mélangé pour avoir ce résultat.*

Florent : *en fait ouais y a la plante et puis y a les trois trucs et puis elle les prend et puis elle les prend... (mouvements des mains en rond comme pour mélanger).*

....

La discussion se poursuivant, on est arrivé à un consensus : "la plante prélève les éléments et c'est la plante qui fait le mélange". On a donc un premier niveau de formulation de l'hérédité : cette spécificité c'est la plante qui en est responsable. La plante a le pouvoir de provoquer cette transformation.

Cette activité a permis d'induire une double rupture dans l'esprit des élèves :

- la matière-plante n'est plus présentée comme préexistante mais comme fabriquée avec de l'eau, des sels minéraux et du dioxyde de carbone ;
- la matière vivante doit obéir aux lois de l'inerte même si elle possède des propriétés qui lui sont propres et en particulier elle est capable de transformer les éléments prélevés à l'extérieur en sa propre substance.

(39) LEMEIGNAN Gérard, WEIL-BARAIS Annick (1993), *Construire des concepts en physique*, Paris, Hachette Éducation, p. 34.

4.3. Des matériaux : "aides à la pensée"

le choix
du matériau
est révélateur
de difficultés
conceptuelles

Des matériaux différents ont été mis à la disposition des élèves dans la classe : de la pâte à modeler, des *Légo*, des cotillons mais quand ils ont réalisé les maquettes chez eux, ils ont aussi utilisé de la laine, des morceaux de branche et de feuille etc. Le choix du matériau est révélateur des difficultés conceptuelles. Les élèves qui choisissent les brins de laine font circuler les matières nutritives dans la plante et ne les intègrent pas à la matière plante. Ceux qui utilisent des fragments de végétal font une différence nette entre matière produite par les êtres vivants et aliments.

La réalisation de ces maquettes permet donc de modéliser l'idée que la matière des plantes se fait en intégrant les substances qui proviennent du milieu. Mais, par le fait qu'elles utilisent un modèle où une particule (une brique de *Légo*, une couleur de pâte à modeler) représente une substance, ces maquettes ne permettent pas de rendre compte des réactions chimiques. En effet les *Légo*, les cotillons ou les gommettes favorisent l'idée d'accumulation-juxtaposition-conservation, mais ne matérialisent pas celle de transformation. Les *Légo* ou les cotillons favorisent l'idée de conservation mais ne matérialisent pas celle de transformation de la matière : ils restent tels quels dans la maquette réalisée par contre ils vont favoriser l'idée de décomposition ou du moins ils rendent possible cette idée. La matière sous l'action des êtres vivants est décomposée en ses éléments d'origine. La pression qu'il faut exercer sur les différentes briques peut simuler l'énergie nécessaire pour provoquer les transformations, cette énergie étant libérée lors de la décomposition sous forme de chaleur.

les différents
matériaux
sont une aide
à la pensée
mais présentent
des limites

La pâte à modeler par contre montre cette idée de transformation : une matière différente est obtenue à partir des éléments mis au départ. En mélangeant des morceaux de pâte à modeler de couleurs différentes on obtient une couleur différente mais dans ce cas-là, la décomposition n'est pas possible. Elle permet aussi de donner la valeur du modèle et en particulier de préciser son rôle à savoir qu'il a une valeur explicative mais il n'est pas la réalité.

L'utilisation de ces matériaux favorise peut-être la substantialisation de la lumière à moins qu'elle ne favorise l'expression de cette idée. Par rapport à ce problème, des arguments sont avancés par les élèves eux-mêmes "*la lumière n'est pas une matière (on ne peut pas la mettre dans la main)...*", il faudrait donc les exploiter davantage. Par contre, ils ne favorisent pas l'émergence de la représentation "les gaz ne sont pas de la matière" puisque leur symbolisation - brique ou pâte à modeler - ne fait pas prendre conscience aux élèves qu'ils ne les considèrent pas comme de la matière.

La présentation conjointe des différentes maquettes permet de discuter des imperfections de chacun des modèles et ainsi servir d'entrée à ces problèmes. Les discussions entre élèves montrent qu'ils sont conscients que les maquettes ne

sont là que pour les aider à penser mais que cela ne représente pas exactement la réalité.

Nous avons résumé ce que nous venons de dire à propos de l'intérêt et des limites dans le tableau ci-dessous.

Activités proposées	Intérêts	Limites
1 - Peser la plante	Changement de critère de mesure - critère plus pertinent : la masse faisant intervenir la matière.	
2 - Peser la pâte à modeler en faisant varier la forme	Création d'un pont entre le vivant et le non vivant : mobiliser à propos du vivant les lois que l'on fait fonctionner sur le non vivant.	
3 - Modéliser	<p>Verbalisation, explicitation des conceptions.</p> <p>Focalisation sur la matière (la vie et la forme sont laissées de côté).</p> <p>Simulation de la pensée "Concrétisation" des difficultés.</p>	<p>Le Légo permet de penser la matière comme discontinue.</p> <p>Le Légo permet de penser la conservation de la matière mais ne permet pas de penser les réactions chimiques.</p> <p>La pâte à modeler favorise l'idée de transformation mais pas l'idée de conservation ni celle de discontinuité de la matière.</p>
4 - Débat entre pairs : choix du modèle le plus pertinent	<p>Modèle de la science acte social</p> <p>Choix d'un modèle socialement accepté</p> <p>Prise de conscience du domaine de validité d'un savoir</p>	

CONCLUSION

Basant notre séquence sur la connaissance des obstacles liés à la croissance et sur la notion d'objectif-obstacle, nous devons faire passer les élèves de la formulation "la crois-

le passage
d'un niveau
de formulation
à l'autre ne peut
pas se faire
par une simple
accumulation
de faits

sance est dans l'ordre des choses" à la formulation "la croissance est construction de matière". Un tel passage nécessite un changement de paradigme explicatif et ne peut se faire par simple accumulation de faits. Il est nécessaire de faire prendre conscience aux élèves que des expressions telles que "c'est normal" ou "c'est naturel" ne relèvent pas du discours scientifique. Encore faut-il les mettre en situation pour montrer que ce genre de réponse ne permet pas de résoudre le problème posé ; le problème devant être leur problème et non la question du professeur. Nous avons choisi dans cette perspective d'appropriation du problème de prendre comme "pré-modèle" leur conception et de montrer leurs limites. Cette phase de modélisation permet d'intégrer que quand la plante grandit, sa masse augmente, que cette augmentation de masse se fait par addition de matière et que cette matière qui s'ajoute est ce dont la plante a besoin. Elle permet aussi de poser le problème de la relation entre cette matière ajoutée et la matière propre de la plante. La matière plante résulte de la transformation de la matière ajoutée. Comme le dit une élève de Cinquième *"Un tas d'eau, de sels minéraux, de dioxyde de carbone ne fait pas une plante."*

Marcelle GOIX
Lycée Pape Clément
Pessac (Gironde)

L'IDENTIFICATION D'OBSTACLES PAR LES ÉLÈVES

Brigitte Peterfalvi

Des situations de travail mettant en jeu une réflexion distanciée des élèves sur leurs propres procédures ont été expérimentées il y a quelques années, dans une perspective de développement de compétences méthodologiques. Quel intérêt la transposition d'un tel type de travail, comportant une dimension métacognitive, peut-elle présenter dans le cadre d'un travail sur les obstacles épistémologiques ? Face au caractère résistant de ces obstacles, l'objectif est de développer la capacité de reconnaître leurs manifestations pour être en mesure de les éviter lors de leurs réapparitions. Des essais réalisés en classe permettent de préciser les caractéristiques des obstacles susceptibles d'être identifiés par les élèves et, parmi celles-ci, celles dont le repérage semble le plus fécond. Ils permettent de donner quelques pistes sur les situations susceptibles de favoriser l'émergence de telles formulations sur les obstacles.

La prise en compte didactique des obstacles épistémologiques et leur "franchissement" par les élèves a donné lieu à un courant important de recherches depuis une dizaine d'années. Diverses modalités de travail ont été explorées, notamment celles qui mettent au premier plan des stratégies par conflit cognitif ou socio-cognitif. Les difficultés de mise en œuvre de ces stratégies et le caractère parfois aléatoire de ce qu'elles produisent du point de vue de l'évolution des idées ont souvent été soulignés (par exemple Johsua, 1989 ; Blaye, 1989 ; Monteil, 1989...). C'est une des raisons pour lesquelles une recherche de l'INRP, intitulée "Objectifs-obstacles et situations d'apprentissage autour du champ conceptuel des transformations de la matière" (en biologie et en physique-chimie), tente une diversification des stratégies de travail sur les obstacles, dans une perspective d'"objectifs-obstacles" telle que l'a proposée Martinand (Martinand, 1986 ; Astolfi, Peterfalvi, 1993).

À partir d'un cadrage théorique commun, une vingtaine d'enseignants des niveaux école, collège et lycée élaborent des situations diversifiées d'enseignement/apprentissage visant à travailler les obstacles qui se manifestent dans ce champ conceptuel. À côté de travaux mettant en jeu des situations-problèmes et diverses situations de confrontations des idées, une des directions amorcée s'inspire de travaux sur la métacognition comme ceux de Flavell (1985) ou de Cauzinille et Melot (1993) qui s'intéressent à l'impact de tels processus cognitifs sur l'optimisation des apprentissages, et de travaux d'orientation plus épistémologique comme ceux de Larochelle et Désautels (1992) qui proposent des activités suscitant une réflexion des étudiants sur

favoriser la prise
de conscience
d'obstacles

leur cadre épistémique (1). Sous la dénomination d'“identification d'obstacles”, cette direction de travail cherche à créer des situations susceptibles de favoriser la prise de conscience par les élèves d'obstacles intervenant dans leur propre pensée. On y retrouve aussi, sous une forme transposée, l'idée de psychanalyse de la connaissance de Bachelard, avec certains aménagements bien sûr, liés à ce que les contraintes scolaires rendent possible et aux caractéristiques de la pensée en développement de jeunes élèves.

réfléchir sur
ses méthodes

Cette orientation reprend une problématique développée il y a quelques années par la même équipe à propos de l'acquisition de compétences méthodologiques (Astolfi, Peterfalvi, Vérin, 1991). Dans le cadre de ce travail, par une alternance de phases immergées dans l'action (organisées autour d'une question scientifique à résoudre) et de phases distanciées (organisées autour du réexamen comparatif du travail accompli et des démarches mises en œuvre), les élèves étaient engagés de façon active dans un apprentissage méthodologique. Cette modalité de travail associait pour les élèves la possibilité d'éprouver l'efficacité et les limites de leurs propres méthodes et celle de développer de façon réflexive une prise de conscience et une conceptualisation susceptible d'intervenir dans la régulation de démarches ultérieures (Peterfalvi 1991).

réfléchir sur
ce qui s'oppose à
la compréhension

Pour l'identification d'obstacles, le processus est globalement le même. Comme l'étaient les moments de réflexion distanciée sur une méthode, l'identification d'obstacles par les élèves constitue un détour qui s'ancre dans le travail d'élaboration conceptuelle et s'y réinvestit. Elle prend appui sur d'autres phases où les conceptions des élèves ont été mises à l'épreuve, ou bien où des constructions conceptuelles ont été opérées. Un tel type de travail n'est possible qu'*a posteriori*, lorsque sur un problème donné, l'obstacle a été dépassé, ou du moins suffisamment travaillé pour ne pas s'opposer à la résolution de ce problème. C'est là la condition d'une distanciation réflexive car c'est alors seulement qu'un obstacle devient repérable en tant que tel (Fabre, 1995) (2). Bien entendu, nous ne concevons pas ce type de travail de façon substitutive à celui de la construction de concepts, qui demeure la finalité principale de l'enseignement scientifique. Au contraire, il contribue à la

-
- (1) Pour Désautels, “*les éléments constitutifs du cadre épistémique comprennent des postulats épistémologiques et/ou métaphysiques, des règles méthodologiques qui sont mis en œuvre, plus ou moins consciemment, pour construire des explications à propos des phénomènes dits naturels*” (Désautels J., 1989).
- (2) “... Penser, c'est se tromper et corriger ses erreurs. Aussi l'erreur n'est-elle reconnaissable qu'après coup : c'est le passé de la pensée quand elle se retourne pour se juger” (Fabre M., 1995, p. 31) ; “*Dès lors, une psychanalyse de l'esprit scientifique prend tout son sens : le passé intellectuel, comme le passé affectif doit être connu comme tel, comme un passé... L'ancien doit être pensé en fonction du nouveau...*” (Bachelard G., 1938, cité par Fabre).

un détour réflexif, à articuler aux autres modalités de travail

consolider et la structurer. Car la formulation de ce contre quoi se construit le concept est déterminante pour le délimiter. Comme le dit Fabre à propos du projet bachelardien, "*Il faut une conscience du non rigoureux pour parvenir à la pleine conscience de la rigueur*" (Fabre, *ibid.*). Une articulation avec les autres modalités de travail est donc à rechercher. Mais en réalité, le danger n'est pas vraiment du côté d'une dérive métacognitive où la réflexion distanciée viendrait remplacer les apprentissages scientifiques *stricto sensu*. Ceux-ci constituent en effet la préoccupation première des enseignants et c'est plutôt le travail réflexif qui aurait tendance à être minoré lorsqu'on cherche à le développer.

Quel intérêt y a-t-il donc à conduire les élèves à constituer un tel savoir sur leur fonctionnement intellectuel ? Quelles en sont les possibilités réelles ? C'est autour de ces deux questions que nous proposerons quelques hypothèses et quelques pistes à partir d'une étude de cas.

1. DU FRANCHISSEMENT DES OBSTACLES À LEUR RECONNAISSANCE

1.1. Intérêt d'un travail "réflexif" sur les obstacles

Les travaux engagés en didactique sur le problème de la prise en compte des obstacles épistémologiques conduisent à moduler une problématique qui se donnerait pour but leur "franchissement" définitif par les élèves.

Nous le savions déjà, c'est le propre des obstacles épistémologiques d'être "résistants", par définition pourrait-on dire, et puisque ce sont les cadres mêmes de la pensée qui y sont en jeu. Comme le disent Marie Larochelle et Jacques Désautels à propos de la dynamique du fonctionnement des conceptions spontanées :

des obstacles difficilement dépassés

"Si les conceptions spontanées retiennent l'attention, ce n'est pas parce qu'elles sont fausses ou immatures, mais parce qu'elles sont viables. Leur intérêt se mesure à leur succès pragmatique, dans un contexte donné, à se maintenir en tant que structure et à permettre ainsi à un sujet de fonctionner de manière satisfaisante dans son environnement." (Larochelle et Désautels 1992).

C'est ce qui explique en bonne partie leur maintien et la fonction d'obstacle qu'elles jouent dans l'évolution conceptuelle.

Mais ce que ces travaux (White et Gunstone, Gauld, 1989, cités par Désautels 1992) apportent de plus c'est que, même malgré les efforts ciblés d'enseignement dans cette direction, notamment lors de stratégies qui tentent d'instaurer des conflits socio-cognitifs, les obstacles réapparaissent lorsque l'on s'éloigne du problème précis à propos duquel ils ont été

même lorsqu'on
cherche à les traiter

travaillés ou après un certain temps, lorsqu'on ne les attend plus. Et qui plus est, sur le contenu à propos duquel on les travaille lui-même, ils ne sont souvent que partiellement dépassés. Pour notre part, nous avons pu observer fréquemment, à la suite de tels travaux, des productions de compromis entre l'assise ancienne familière et ce que l'enseignant vise à faire construire. Par exemple des élèves intègrent le CO₂, parmi les entrées nutritives des végétaux après en avoir contesté la possibilité, ce qui représente un recul certain du nœud d'obstacles en jeu dans ce problème, mais ils le font pénétrer par les racines, comme la terre dans leur système de représentations précédent. Nous avons pu observer aussi des jeux de déplacements des obstacles, qui oscillent entre manifestations symétriques (par exemple *tout peut se transformer en n'importe quoi et rien ne se transforme*), ou qui se réfugient dans des systèmes de représentations de plus en plus élaborés. Par exemple, le vitalisme, c'est-à-dire la conception du vivant comme entité magique et sacrée, se manifeste dans ce même champ conceptuel pour des élèves de Sixième d'abord par l'idée que la matière du vivant a pour propriété intrinsèque de croître, sans nécessité d'ajout de matière extérieure ; puis, après travail sur cet aspect de l'obstacle, par l'idée d'une nécessité d'adjonction de matière extérieure mais qui reste juxtaposée, sur le mode du remplissage ou de l'enrobage, sans s'intégrer à la matière du vivant qui conserve ainsi ses propriétés valorisées et fondamentalement différentes de celle du non vivant ; et plus tard encore, par l'idée d'une force vitale responsable de l'organisation spécifique de la matière dans le vivant, qui d'elle-même organise les substances contre les règles de la physique et de la chimie du monde minéral (Goix, 1996, Monchamp, 1993). Dans tous ces cas, les obstacles cèdent suffisamment de terrain pour permettre des structurations conceptuelles auxquelles ils s'opposaient. Mais, dans une certaine mesure, ils subsistent.

les identifier pour
surveiller sa pensée

Ces considérations nous conduisent à penser que, quel que soit le travail accompli pour les dépasser, les obstacles seront toujours encore à travailler (Rumelhard, 1996), dans un processus qui rappelle le travail du deuil. Dans ces conditions, conduire les élèves à reconnaître les manifestations des obstacles peut constituer une parade intéressante, puisque cela peut leur fournir un moyen de les éviter dans les situations où elles se manifestent de nouveau. C'est cette capacité de reconnaissance que vise le travail réflexif sur les obstacles, qui pourrait conduire au développement d'une vigilance critique des élèves vis-à-vis des obstacles mis à jour. Nous retrouvons là l'idée bachelardienne de surveillance de la pensée : l'important est de développer une sensibilité à l'obstacle qui permette d'en surveiller et pointer les nouvelles occurrences.

1.2. Le jeu du local et du transversal

Une distinction semble importante pour la compréhension du caractère résistant, toujours présent des obstacles et de la façon dont on peut envisager de les traiter. Ceux-ci sont souvent désignés et travaillés d'une façon "locale", dépendant étroitement d'un contenu. Or, de notre point de vue, il s'agit là plutôt de *manifestations de l'obstacle* que de l'obstacle lui-même qui toucherait des modes de pensée beaucoup plus transversaux.

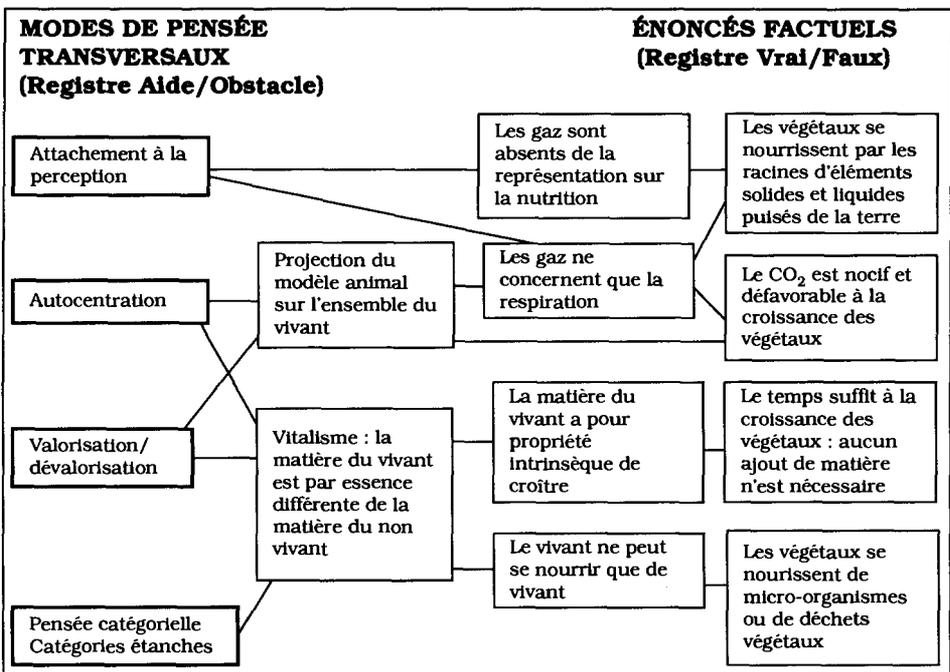


Figure 1.

Le réseau de la figure 1 tente de rendre compte de la façon dont des modes de pensée généraux pourraient contribuer à générer des représentations locales concernant un domaine de contenu spécifié (la nutrition et la croissance des végétaux verts) (3). Ces dernières peuvent être jugées en termes de vrai/faux et relèvent plutôt du registre de l'erreur. C'est

(3) Ce réseau, construit de façon interprétative à partir de formulations d'élèves sur la nutrition végétale, ne se veut pas exhaustif. Certains modes de pensée susceptibles d'intervenir dans des formulations concernant le domaine n'y figurent pas (par exemple ceux qui concernent la pensée causale). Nous le présentons ici pour illustrer l'idée de détermination possible des représentations par des modes de pensée transversaux, sans prétendre épuiser l'analyse.

l'obstacle
explique
l'erreur

le cas pour les formulations qui figurent à droite dans ce réseau, proches de celles que fournissent les élèves lorsqu'ils sont amenés à exprimer leurs idées sur un contenu, et que les enseignants jugent fausses ou partiellement fausses. À l'inverse, les modes de pensée, figurant à gauche dans le même réseau, qui présentent un caractère interprétatif par rapport aux productions des élèves, ne peuvent être jugés que par rapport à une dynamique de la pensée, en termes d'aide à la compréhension (en tant que support disponible pour l'intelligibilité des phénomènes) ou d'empêchement (comme produisant un arrêt de la pensée ou des représentations erronées) (4). Aucun des modes de pensée mentionnés n'est intrinsèquement obstacle. On pourrait même dire qu'ils sont nécessaires à la pensée. Ainsi, la projection du modèle animal sur l'ensemble du vivant relève du raisonnement par analogie, souvent fécond dans la pensée scientifique. Elle peut être source de questionnements fructueux sur le vivant. C'est dans la mesure où elle est implicite et utilisée de façon substitutive à une explication qu'elle se constitue en obstacle, dans la mesure où elle clôt la réflexion, en suscitant des réponses plutôt que des questions.

prendre conscience
des liens entre
erreur locale et
obstacle transversal

Si le travail sur les obstacles se limite à un niveau local, bien sûr nécessaire puisqu'il constitue l'entrée dans les problèmes scientifiques, il n'est pas étonnant que de nouvelles manifestations se produisent sur d'autres contenus. L'obstacle peut sembler "franchi" sur un contenu donné (ne plus oublier par exemple le CO₂ comme source nutritive pour les végétaux). Il n'est pas pour autant "franchi" à un niveau plus global (faire fonctionner par exemple comme repère premier la référence au sensible), mais seulement "fissuré". On pourrait même dire qu'à un tel niveau il n'est jamais entièrement franchissable. Il peut en revanche, dans certaines conditions être identifié. On peut raisonnablement penser qu'une reconnaissance de l'obstacle à un niveau plus transversal est favorisée pour le transfert d'un type de contenu à un autre. À la condition toutefois que le sujet y rattache effectivement des manifestations locales, faute de quoi, les désignations transversales risquent de rester dépourvues de sens. En somme, ce qui semblerait le plus intéressant, n'est ni de l'ordre du local ni de celui du général, mais plutôt de l'établissement de liens entre ces deux niveaux, dans leur relation dialectique. C'est dans le jeu du passage de l'un à l'autre, où des formulations intermédiaires comme celles du centre du réseau peuvent jouer un rôle important, qu'on peut s'attendre à trouver les conditions optimales du développement de la vigilance souhaitée.

(4) Les catégories figurant le plus à gauche, tout à fait indépendantes des contenus, sont proches des catégories piagétienne. Celles de la colonne suivante en partant vers la droite, tout en étant très générales, sont plus régionales : elles se rapprochent davantage des catégories bachelardiennes.

2. QU'EST-CE QU'IDENTIFIER UN OBSTACLE DANS LE CADRE DE LA CLASSE ?

L'obstacle constitue un processus complexe dont la compréhension n'est pas immédiate. Aussi convient-il de s'interroger sur ce qui est identifiable à son sujet dans le contexte scolaire, étant donné, bien sûr, que de grandes variations sont susceptibles d'intervenir en fonction de l'âge, du milieu socio-culturel et du niveau scolaire des élèves. Nous pourrions nous interroger ensuite sur les conditions qui favorisent l'émergence de tel ou tel type de formulation.

2.1. Les différentes dimensions de l'identification d'obstacles

Des situations d'«identification d'obstacles» ont été mises en œuvre à titre exploratoire à différents niveaux de classe (en fin d'école élémentaire, au collège en Sixième et en Troisième, et au lycée en Seconde). Nous verrons plus loin certains aspects de leur mise en œuvre. Elles ont été l'occasion de diverses formulations autour des obstacles, produites selon les cas par les élèves, par l'enseignant à l'adresse des élèves ou dans une interaction entre enseignants et élèves.

Nous avons distingué sur quelques axes (ou dimensions), différents aspects de ces formulations. Leurs combinaisons déterminent des registres dans lesquels on parle de l'obstacle, plus proches d'une désignation d'erreur pour certains, plus proches d'une désignation d'obstacle comme fonction dans la pensée pour d'autres. Il peut être intéressant de s'interroger sur ce que l'émergence de tel ou tel registre permet d'attendre quant à la reconnaissance du même obstacle dans des situations ultérieures. Évidemment, il faut s'attendre, pour des formulations semblables, à un degré d'adhésion plus important si la formulation a été produite par le sujet lui-même, plutôt que par l'enseignant ou par d'autres élèves et donc à une plus grande probabilité de mobilisation ultérieure (Cauzinille, Melot, 1993).

- ***La dimension réflexive, condition de l'activité métacognitive***

L'identification d'un obstacle suppose sa désignation, sous une forme ou une autre dont nous examinerons plus loin les variantes et les implications. Mais une condition préalable est requise : c'est celle d'une distanciation réflexive. La référence au sujet pensant dans un énoncé en est un indicateur. Elle manifeste en effet une sorte de dédoublement du sujet, celui qui formule la proposition et celui que la proposition désigne comme sujet de la pensée énoncée. Il peut s'agir de soi-même dans le passé ou de toute autre personne, individuelle ou collective. C'est l'indice d'un regard

un dédoublement
du sujet ...

extérieur, au second degré, qui permet à la personne qui parle de se démarquer de l'idée désignée. C'est en cela que l'identification d'obstacles se différencie d'un simple repérage de représentations tel qu'il apparaît dans certaines phases initiales de travail lorsque les élèves sont conduits à expliciter leurs idées à propos d'un problème donné, sans s'en démarquer.

Dans les formulations produites en situation de classe, cette référence apparaît plus ou moins explicitement.

Référence explicite au sujet	<i>"On croyait qu'il n'y avait qu'un état par matière"</i>	CM2
	<i>"Si elle dit cela, je pense que c'est par analogie avec l'être humain"</i>	2 ^{de}
	<i>"Pour eux, le gaz carbonique ne peut pas devenir liquide et solide"</i>	CM2
	<i>"Je n'avais pas compris qu'une plante ne pousse pas toute seule"</i>	6 ^{ème}
Référence implicite au sujet	<i>"L'eau était toujours liquide"</i>	CM2

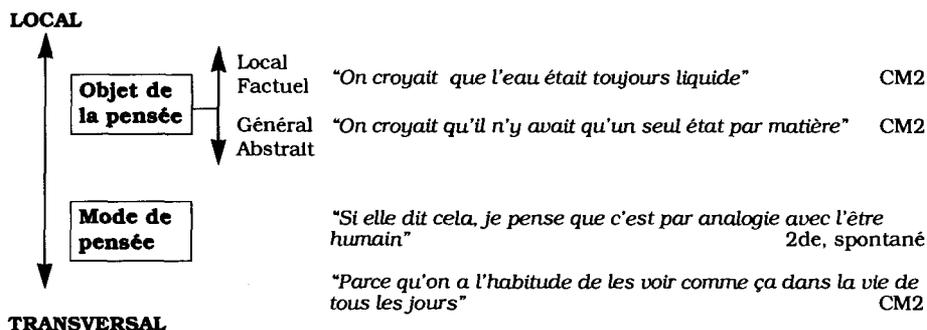
... qui permet une relativisation

Par la relativisation qu'il introduit, ce mouvement d'attribution des idées à des personnes s'oppose à la dogmatisation. En effet, les idées ne sont plus prises comme absolues ou désignant des vérités en soi. Ce changement de point de vue en autorise l'examen critique. Il facilite en outre un déplacement de considérations adhérent trop exclusivement à un contenu donné vers des considérations concernant le sujet pensant dans sa relation à ce contenu. C'est peut-être un pas vers une reconnaissance des obstacles comme dynamique de pensée, plutôt que comme idée fausse.

Pour amorcer le processus d'identification d'obstacle dans une classe et orienter les élèves vers ce type de formulation, les enseignants emploient parfois de telles désignations du sujet, dans les consignes de départ ou leurs reformulation en cours de travail ("*qu'est-ce qu'on pensait, nous, au départ et qui nous empêchait de comprendre ?*").

• Du local au transversal

Nous avons déjà évoqué plus haut cette dimension du caractère local-transversal des obstacles. Nous avons noté l'importance de l'établissement de liens dialectiques entre ces deux niveaux. Mais il nous semble intéressant de montrer comment cette dimension apparaît dans les formulations d'identification d'obstacles, combinée avec la dimension réflexive que celle-ci suppose. Le tableau qui suit peut donner une idée de la façon dont diverses formulations prennent en compte cette dimension.



Le lecteur aura vu que nous découpons deux zones sur cet axe.

- La première, plus locale, concerne l'objet de la pensée. De l'expression "On croyait que l'eau était toujours liquide" à l'expression "On croyait qu'il n'y avait qu'un seul état par matière", on passe d'une formulation locale d'ordre factuel, à une formulation qui, bien que toujours factuelle, fait intervenir des concepts plus généraux. C'est un degré de transversalité moyen, dont l'intérêt est certain puisqu'il permet potentiellement de repérer cette même croyance dans des situations variées de changement d'état.

- La seconde, plus transversale, concerne le mode de pensée. Elle regroupe des formulations qui s'intéressent au mode de relation entre le sujet et l'objet plutôt qu'à l'objet lui-même. On se rapproche d'un registre qui désigne plutôt l'obstacle que l'erreur. À la condition qu'il ait vraiment du sens pour le sujet, c'est-à-dire qu'il évoque pour lui des situations précises où il s'applique, on peut penser que ce type de formulation pourra être réévoqué dans un plus large champ de situations.

Comme les formulations les plus spontanées se situent plutôt du côté local, on a intérêt à chercher à susciter des déplacements vers le transversal, ou des multi-exemplifications susceptibles de les amorcer. Mais cette transversalité est susceptible de degrés et outre la recherche d'une dialectique entre local et transversal, il convient de s'interroger dans chaque situation sur le degré de transversalité qui semble à la fois atteignable par les élèves et le plus fécond quant à des repérages ultérieurs. Ce n'est pas toujours le plus transversal qui est le plus pertinent de ce double point de vue. Par exemple prendre conscience qu'on ne prend pas vraiment en compte les gaz comme matière peut être plus fécond que prendre conscience qu'on se réfère préférentiellement au sensible.

de l'objet
à la relation entre
le sujet et l'objet

• **De la désignation de l'idée qui fait obstacle aux considérations sur sa dynamique de fonctionnement**

Nous avons noté que la distance réflexive instaurée par l'attribution des idées à un sujet libère une dimension d'examen critique de celles-ci. Cet examen peut donner lieu à des jugements, mais aussi à des explications sur leur émergence et leur maintien. Ce tableau nous aidera à comprendre comment ces aspects interviennent dans les formulations sur les obstacles.

Expression de jugements	Valeur de vérité	<p>"On <u>croyait</u> qu'il n'y avait qu'un état par matière" CM2</p> <p>"On <u>pensait</u> que ce qui était invisible n'existait pas, <u>c'est faux</u>" CM2</p> <p>"<u>Ce n'est pas</u> le corps simple qui se conserve dans une réaction chimique, ce sont les éléments" 2^{de}</p>
	Jugements fonctionnels : induit en erreur, empêche de comprendre	<p>"La confusion entre mélange et réaction chimique <u>empêche de comprendre</u> qu'une oxydation puisse se faire à partir d'autre chose que du dioxygène de l'air" Prof. sur un travail de 3^{ème}.</p>
Expression d'aspects dynamiques de l'obstacle	Justifications, explications	<p>"<u>C'est aussi vrai</u>, parce que les plantes poussent aussi avec de la terre" 6^{ème}</p> <p>"<u>Si elle dit cela</u>, je pense que <u>c'est par analogie</u> avec l'être humain" 2^{de}</p> <p>"<u>C'est plus facile</u> de penser à un simple déplacement du groupement O₂ de l'air" Prof. 3^{ème}.</p>
	Résistance de l'obstacle	<p>"Parce que on croyait ça au début puis on l'a cru tellement longtemps que maintenant il faut que ... qu'on sait que c'est pas ça ... des fois, sans y penser, des fautes d'inattention, on dit "air" au lieu de vapeur" CM2</p>

La dimension du jugement recouvre partiellement celle de l'expression d'aspects dynamiques ou fonctionnels de l'obstacle. Mais partiellement seulement.

Des jugements peuvent être émis en effet quant à une proposition, sans mettre en jeu une quelconque considération dynamique. C'est le cas des jugements de vérité, c'est-à-dire de l'attribution d'une valeur en termes de vrai ou faux, comme cela apparaît à travers le terme "croire" dans notre première formulation. Ceci constitue une étape intéressante et nécessaire, mais proche de la désignation de l'erreur.

du vrai/faux...

aux aspects
dynamiques
de la pensée

C'est lorsqu'on fait apparaître en sus des éléments précisant en quoi l'obstacle empêche de comprendre, que l'on commence à aborder les aspects dynamiques de la pensée. On exprime par là un jugement négatif, comme dans le cas précédent. Mais, on adopte un registre qui s'éloigne davantage du repérage d'erreur, pour aborder plus spécifiquement la compréhension de l'obstacle comme fonction dans la pensée.

Lorsque l'on porte des jugements positifs, comme dans la phrase "*C'est aussi vrai, parce que...*", on aborde l'expression, quelque peu paradoxale, du double aspect dynamique des obstacles : si une représentation se constitue en obstacle, c'est que sur certains plans, elle est aussi pertinente.

un retournement :
l'erreur comme
objet intéressant
à comprendre

Un autre aspect dynamique du fonctionnement de la pensée apparaît lorsqu'on évoque des justifications ou explications de la production de propositions reconnues comme fausses. Celles-ci se trouvent ainsi en quelque sorte dédouanées. C'est le cas lorsqu'on évoque des modes de pensée généraux en eux-mêmes légitimes, en tant qu'explication d'erreurs, comme dans la proposition "*si elle dit cela, je pense que c'est par analogie avec l'être humain*". Ce qui est repéré ici est de l'ordre de l'origine et de la dynamique de production de l'erreur. On quitte le domaine du jugement pour aborder un registre interprétatif, qui constitue un retournement de l'attitude vis-à-vis de l'erreur : au lieu de la désigner comme telle, avec la nuance de faute qui lui est attachée, on cherche à la considérer comme objet intéressant à comprendre.

Ces considérations sur le processus qui explique l'erreur sont aussi importantes pour la compréhension de la dynamique de fonctionnement de l'obstacle que celles qui portent sur ce que l'obstacle empêche, par ailleurs moins fréquentes. Elles amorcent en effet la compréhension de son maintien. Il est probable en outre que la prise de conscience de la résistance elle-même, comme elle apparaît dans la dernière formulation de notre tableau, contribue à favoriser la vigilance critique visée.

• À la limite de l'identification d'obstacle

L'obstacle est parfois évoqué d'une manière indirecte, dans des formulations conceptuelles positives, mais qui explicitent certains aspects en relation avec l'obstacle. C'est le cas pour cette phrase produite par un enseignant :

"Le dioxyde de carbone gazeux contribue à la formation de la matière solide de la plante."

ne pas désigner
l'obstacle lui-même
pour éviter
l'insécurité ?

L'obstacle n'est pas désigné en tant que tel, mais c'est en référence à l'obstacle, qui consiste à traiter les gaz comme une classe étanche de matière, que les termes "gazeux" et "solide" sont introduits. Si cet enseignant préfère ce type de formulation à une formulation plus directe de l'obstacle, c'est selon ses propres termes avec la préoccupation d'éviter de heurter les élèves en les renvoyant à leurs propres insuf-

fisances ; parce que les situations de travail sur les obstacles suscitent parfois des réactions émotionnelles fortes.

L'expression directe de l'obstacle (du type "*on ne pensait pas qu'un gaz puisse contribuer à former de la matière solide*") a en revanche le mérite de pointer plus explicitement ce qui fait problème, elle fournit l'assurance qu'on a bien pris conscience de l'obstacle, et donne un support explicite à des reconnaissances ultérieures de sa manifestation. Car, si les termes "*gazeux*" et "*solide*" de notre formulation précédente sont bien présents dans l'attention de l'enseignant, il n'est pas évident qu'il en soit de même pour les élèves. On est donc ici dans la gestion d'une tension entre deux difficultés, pour laquelle des solutions sont à rechercher.

Dans cet esprit, on a pu proposer, plutôt que faire identifier explicitement un obstacle par les élèves, de ritualiser des formulations inverses de l'obstacle : "*À chaque fois que vous écrirez "dioxyde de carbone", vous écrirez "gazeux".*"

Les formulations qui suivent offrent un autre type de solution : "*Ce qui se conserve dans une réaction chimique, ce n'est pas le corps simple, c'est l'élément.*" (prof., 2^{de}) ou "*Ce n'est pas comme pour nous, le dioxyde de carbone entre ; il n'est pas nocif.*" (élève de 6^{ème}). Elles combinent dans un même énoncé une formulation directe de l'obstacle, sous la forme "*ce n'est pas*" et une formulation de la connaissance visée. Ce type de formulation présente l'intérêt de montrer explicitement l'articulation entre construction de connaissance et évitement de l'obstacle, comme deux faces d'un même processus de différenciation.

• **Des registres qui n'apparaissent pas en classe**

Cette analyse nous éclaire sur les aspects selon lesquels les obstacles apparaissent effectivement dans les formulations produites en classe par les élèves ou les enseignants. Certains registres, qui auraient été pourtant intéressants quant à l'identification des obstacles, n'y apparaissent pas, pour la simple raison qu'ils n'ont émergé dans aucune séquence de classe.

- Un registre épistémologique ; au sens général et "noble" du terme, tel que le définissent les épistémologues : on ne s'interroge pas, par exemple, sur le caractère "réaliste" ou "empiriste" de la pensée. On s'interroge en revanche sur le rôle de la perception dans le processus d'émergence des idées, sur le rôle de la pensée par analogie... Si le cadre épistémique, comme structure globale organisant le point de vue sur le savoir, n'est pas examiné, certains aspects le concernant apparaissent de façon partielle. Cela constitue déjà une avancée significative dans un nombre important de cas.

- Un registre relevant des déterminations inconscientes et chargées affectivement dont Bachelard et Canguilhem ont souligné l'importance. C'est en cela qu'on s'écarte de la perspective bachelardienne. Ce même processus a été repéré

des zones
d'ombres
inévitables ?

par C. Orange (1993) de façon plus générale dans la conception quelque peu réductrice des obstacles qui s'exprime dans les milieux didactiques lors des tentatives de prise en compte des obstacles. S'agit-il d'impossibilités intrinsèques, liées à la culture scolaire et à la dynamique du travail en classe ou encore à l'âge des sujets lorsqu'il s'agit d'élèves jeunes, ou bien d'un investissement insuffisant dans cette direction de la part des didacticiens ? Faute de réponse possible à cette question, on peut affirmer en revanche que ces registres sont ceux qui émergent le moins spontanément dans ce contexte. Et que le repérage des autres aspects des obstacles constitue tout de même des avancées substantielles.

Il est important par ailleurs de ne pas perdre de vue que quel que soit l'éventail des registres dans lesquels l'obstacle est repéré, étant donné son caractère multiforme, tout ne sera jamais identifié. Des zones d'ombre persisteront inévitablement et on ne peut attendre un effet mécanique de cette identification sur l'évitement des obstacles. Il s'agit plus modestement de l'amorce d'un processus de surveillance de certains aspects de la pensée.

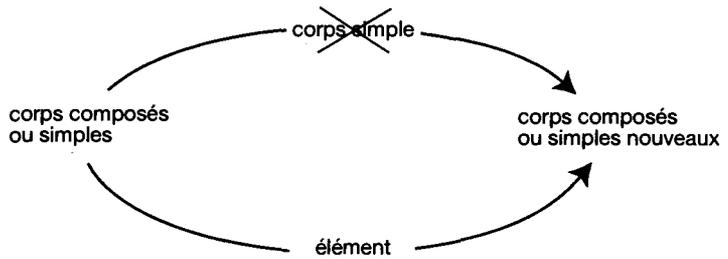
2.2. Les supports symboliques

des changements
de supports pour
un regard distancié

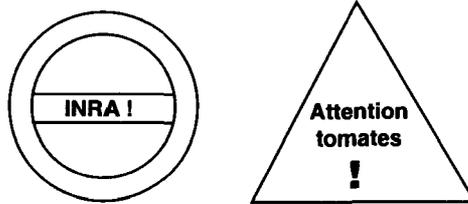
Les supports symboliques employés jouent des rôles spécifiques dans la dynamique de l'identification d'obstacles (Vérin, 1995). Nos travaux antérieurs nous incitent à penser que l'alternance entre parole orale et production d'écrits, par le support mutuel qu'elles constituent l'une vis-à-vis de l'autre, facilite l'émergence et la structuration d'une pensée distanciée (Astolfi, Peterfalvi, Vérin, 1991). Les moments de discours oraux, dans des situations d'échanges en petits groupes, favorisent la fluidité des idées, la consignation de la parole dans des écrits les structure et permet d'en garder des traces sur lesquelles un regard nouveau peut être porté dans une autre phase du travail. Cela permet la prise de conscience d'évolutions ou de contrastes et facilite une posture réflexive. D'une manière plus générale, nous avons pu observer que passer d'un support symbolique à un autre favorise cette prise de distance. Parler sur de l'écrit, écrire sur de la parole, schématiser un discours, expliciter un schéma, tous ces passages incitent à un point de vue de second degré par rapport au support de départ.

La production d'organigrammes ou de schémas joue un rôle spécifique dans l'économie de l'identification d'obstacles.

- La fonction première de certains d'entre eux est d'explicitier l'idée qui fait obstacle. Par exemple celui-ci, produit dans une classe de Seconde, qui propose un raccourci figuré de l'obstacle à éviter quant à la compréhension de la réaction chimique, en regard d'une expression de la connaissance à intégrer. Le schéma introduit ici un système de correspondance qui apparaît moins directement dans un discours.



- Dans d'autres cas, leur fonction première est le rappel de l'idée obstacle, dans des situations nouvelles. C'est le cas de ces deux figurations, produites en biologie, en classe de Sixième, après une séquence qui s'appuyait sur un problème de cultures hors sol de tomates par l'INRA (5) :



des schémas
comme
déclencheurs
pour réévoquer
l'obstacle

Ce sont des déclencheurs qui réfèrent à un souvenir commun d'explicitation d'obstacle. Ce sont des aspects circonstanciels, évocateurs de la situation dans laquelle l'obstacle a été explicité, qui sont ici sélectionnés. Contrairement au schéma précédent, ceux-ci n'expriment en rien la représentation qui constitue l'obstacle. Le deuxième fait toutefois référence à la fonction obstacle et appelle directement à la vigilance.

L'intérêt de l'emploi d'images ou de schémas dans ce processus réside principalement dans leur caractère rapidement réévocable. Ils peuvent de ce fait jouer un rôle important dans la mobilisation et la reconnaissance de l'idée obstacle et dans le choix de registres de pensée qui l'évitent. Ceux qui sont ici donnés en exemples ont été effectivement réévocés par les enseignants ou les élèves, à l'occasion de réapparitions des mêmes obstacles.

(5) Institut National de Recherches Agronomiques

3. À LA RECHERCHE DE SITUATIONS FAVORISANTES

Les premiers essais de mise en œuvre de situations d'identification d'obstacles ont permis de repérer quelques problèmes et de suggérer quelques pistes sur les modalités de travail qui favorisent la prise de conscience d'obstacles et son réinvestissement dans des situations nouvelles.

3.1. Appropriation de la problématique par les enseignants

Bien que présente au niveau du principe dès les premières phases de la recherche, l'idée de l'identification d'obstacles par les élèves a mis un certain temps avant de s'imposer pour les enseignants. Peut-être en raison de sa distance à la coutume didactique, un temps leur a été nécessaire pour s'approprier une telle problématique. Ce n'est qu'après avoir éprouvé la résistance des obstacles à travers des modalités de travail dont ils attendaient une influence décisive que les enseignants ont reconnu l'intérêt de principe d'un tel type de travail. Des problèmes de mise en œuvre se sont alors aussi posés, la construction de telles situations s'avérant loin d'être évidente. Les enseignants ont tenté de résoudre ces problèmes au fur et à mesure de leur apparition dans les essais successifs. Pour faciliter la construction des situations de classe, nous avons consigné les modalités de travail des essais successifs dans un tableau, dans le but de faciliter les emprunts mutuels et les recompositions dans des situations nouvelles (6). Cet outil distingue trois "principes dynamiques" pour l'identification d'obstacle, pour chacun desquels il propose une variété de situations favorisantes.

une pratique étrangère à la coutume

- L'explicitation de l'obstacle, où les différentes dimensions examinées plus haut interviennent.
- La symbolisation de l'obstacle, visant à intégrer le repérage effectué dans le réseau des évocations familières.
- L'entraînement à reconnaître l'obstacle dans ses nouvelles occurrences.

La plupart des activités proposées concernent toutefois le niveau de l'explicitation de l'obstacle.

3.2. Quelques exemples de situations proposées

Ces situations où les élèves sont conduits à produire des formulations sur les obstacles ne sont possibles, rappelons-le, qu'*a posteriori*. Elles peuvent s'appuyer sur des phases antérieures où des conflits cognitifs ou socio-cognitifs ont

(6) Peterfalvi dir. (1993), Recherche objectifs-obstacles et situation d'apprentissage, Document 3, INRP, (document interne) pp. 125-132.

été vécus et ont laissé des traces, en mémoire ou dans des documents écrits. Elles peuvent s'appuyer, plus simplement, sur un enseignement antérieur plus classique. On peut citer à titre d'exemples quelques modalités de travail des premiers essais.

- Après un travail sur les obstacles concernant les problèmes de nutrition végétale dans une perspective de situation problème, se reporter à ses premières productions écrites pour prendre conscience du chemin parcouru et de la différence avec la construction actuelle.

- Choisir dans une série de formulations d'obstacles proposées par l'enseignante celles qui semblent correspondre aux obstacles qu'on a rencontrés et en proposer d'autres, plus conformes.

- Dans un texte historique (un texte de Lavoisier, puis de Berthelot), rechercher ce qui s'écarte des conceptions actuelles de la chimie, "corriger" ces textes (de façon ludique), et chercher les points communs avec des erreurs repérées dans des copies d'élèves (un effet de miroir est ici recherché).

- Après un travail sur la nutrition des animaux et des végétaux, écrire ce qu'on en a retenu et compléter la phrase : *"Cela m'étonne, parce que je pensais..."*

Mais voyons les types de difficultés rencontrées dans ces mises en œuvre et les solutions imaginées.

3.3. Difficultés rencontrées dans la mise en œuvre

Le premier type de problème a été d'engager les élèves dans cette activité métacognitive, rarement spontanée, et de les conduire à produire par eux-mêmes des formulations d'obstacles. Deux difficultés symétriques apparaissent, selon la modalité de travail adoptée.

- Dans le premier cas de figure, c'est l'enseignant qui propose aux élèves des formulations de ce en quoi consiste, selon lui, l'obstacle. Les élèves sont alors réduits à une certaine passivité et ne reprennent pas vraiment à leur propre compte ce que dit l'enseignant.

- Dans le deuxième cas, l'enseignant au contraire, avec des consignes de travail ouvertes du type *"Pourquoi avez-vous oublié le CO₂ comme aliment des végétaux ?"* (ou bien *"Pourquoi tout le monde a tendance à oublier ?"*) confie aux élèves le soin de formuler eux-mêmes ce qui pourrait constituer l'obstacle sous-jacent. Dans la plupart des cas, les élèves ne comprennent alors pas où on veut en venir et ne proposent aucune formulation d'obstacle, mais donnent des réponses décevantes du type "je n'avais pas assez appris".

Des solutions intermédiaires, visant à éviter des formulations de l'obstacle qui soient trop exclusivement à la charge

comment engager
les élèves
dans l'activité
métacognitive ?

de l'enseignant ou des élèves, ont été recherchées : demander aux élèves de repérer dans des formulations d'autres élèves la manifestation d'un obstacle plus transversal formulé par l'enseignant, rechercher des points communs entre plusieurs erreurs, ce qui peut permettre de dégager des aspects plus transversaux, ou bien encore, comme dans le deuxième exemple que nous avons cité plus haut, une liste d'obstacles étant proposée par l'enseignant, choisir ceux qui correspondent à ce qu'on pense avoir rencontré et en proposer d'autres. Ces solutions donnent une place certaine à l'activité propre des élèves mais les guident étroitement, de façon à orienter leur activité. Ce type de solution a souvent été proposé comme travail individuel écrit ayant une allure d'exercice. Ont-elles été vécues comme trop scolaires, et ont-elles été vraiment investies par les élèves ? Des solutions ont été recherchées par la suite pour créer un enjeu plus important dans la situation. Nous en verrons un exemple dans l'étude de cas que nous développerons plus loin.

comment faire
comprendre
que l'obstacle
n'est ni erreur
ni lacune ?

Le deuxième type de problème est lié à la compréhension du concept d'obstacle. Le travail d'identification d'obstacle a souvent été confondu avec le repérage d'erreurs. On est alors dans une logique du vrai/faux, alors que pour qu'une prise de conscience des obstacles puisse avoir ultérieurement une répercussion, il semble plus pertinent, nous l'avons vu, que le niveau de la dynamique de pensée sous-jacente soit évoqué. Le passage du registre du vrai/faux local ou du "je ne savais pas" au registre de l'aide/obstacle plus transversal ne se fait pas de façon aisée. Les activités déjà évoquées de repérage de points communs entre erreurs différentes tentent une solution pour ce type de problème. Mais, dans la plupart des cas, des reformulations multiples des consignes ont été nécessaires pour orienter vers les registres visés.

Le troisième type de difficulté réside dans les manifestations affectives violentes rencontrées dans certains cas lorsque des élèves sont confrontés matériellement à leurs propres productions antérieures, qu'ils jugent *a posteriori* mauvaises. Tout se passe alors comme s'ils étaient affectés maintenant par la mauvaise opinion qu'ils ont actuellement de leur production antérieure, à la surprise des enseignants qui escomptaient une valorisation liée à la conscience des progrès accomplis. "Ah, vous êtes bien contente, madame, on s'était tous plantés !" s'écrie un élève lors d'une de ces situations en classe de Sixième. Ces manifestations s'opposent à un regard distancié qui demande une certaine sérénité. Dans la situations évoquée en classe de Sixième, l'enseignante entreprend, après cette manifestation négative collective, de "réhabiliter" leurs premières productions aux yeux de ses élèves. Elle leur fait pour cela rechercher en quoi ces idées les "empêchaient de comprendre" mais surtout en quoi ces idées leur "étaient aussi utiles", cherchant

comment éviter
la dévalorisation ?

par là à justifier à leurs yeux le fait qu'ils puissent avoir eu légitimement cette idée. On peut remarquer en passant que cette modalité de travail constitue une solution simultanée à deux problèmes : rétablir une image positive des élèves quant à leurs capacités intellectuelles, mais aussi les orienter vers un registre qui prenne en compte les aspects dynamiques du fonctionnement de l'obstacle. L'utilisation de textes historiques, comme nous l'avons évoquée plus haut, constitue aussi un moyen de distanciation permettant d'éviter ce type de remise en cause personnelle. Elle contribue à faire considérer les obstacles non pas comme des manquements personnels, mais comme une caractéristique universelle de la pensée en construction. D'autres types de médiations ont été imaginés par la suite, comme celui que nous verrons dans notre étude de cas.

Cette dédramatisation nous semble importante par rapport à l'esprit de notre projet. Comme le dit Michel Fabre : *"L'inconscient bachelardien n'est pas tragique (comme celui de Freud), il est plutôt comique."* (Fabre, *ibid.*). Dans un autre registre, Larochelle et Désautels évoquent cette même préoccupation lorsqu'ils écrivent : *"En somme, il s'agit de favoriser l'occasion d'exercer une "démocratie épistémologique" en prenant conscience qu'il y a des points de vue, une diversité d'argumentations, etc., et non de provoquer un dérangement épistémologique sur un mode personnel et avec des intentions d'"enfoncer" sur le plan cognitif les personnes. Ce n'est donc pas une sorte de provocation psychologique délibérée, qui, sous prétexte de faire bouger les personnes, les blesse."* (Larochelle et Désautels, *ibid.*).

2.4. Quelques pistes pour résoudre ces problèmes

Pour résumer, les premiers essais nous ont appris que les écueils à éviter sont les suivants : le désinvestissement des élèves, la proposition de formulations qui ne correspondent pas au registre des obstacles, les réactions affectives dévalorisantes.

Le but est de parvenir à ce que les élèves contribuent à formuler eux-mêmes des considérations sur ce qui les induit en erreur ou arrête leur pensée, d'une façon qui mette en relation des modes de pensée plus ou moins transversaux (*"on a tendance à ne pas penser à ce qui ne se voit pas"*) et des jugements sur des erreurs d'ordre local (*"on croyait que les végétaux verts ne se nourrissaient qu'à partir d'eau et de sels minéraux"*). On vise également à ce qu'ils détachent leurs errements initiaux de leur propre personne pour les considérer comme un processus partagé, et surtout nécessaire à la construction de la pensée. Enfin, il s'agit de faire en sorte que ces considérations restent au maximum disponibles pour d'autres situations.

Les aspects suivants des situations peuvent contribuer à atteindre ces objectifs :

finalisation
de l'activité,
long terme
et médiations

- finaliser les activités : c'est une façon d'obtenir un investissement réel des élèves dans la tâche proposée ;
- s'inscrire dans le long terme : c'est une façon de pouvoir repérer des manifestations différentes de l'obstacle dans des contextes différents et de pouvoir accéder à des formulations plus transversales ; cela favorise aussi la prise de conscience du caractère à la fois fonctionnel et résistant de l'obstacle ; cette conscience peut contribuer au développement de la vigilance critique souhaitée ;
- rechercher des décalages ou des médiations : le fait de chercher à identifier les obstacles dans la pensée d'autrui plutôt que directement dans la sienne propre (autres élèves, documents de vulgarisation, textes historiques) permet d'éviter l'autodévalorisation et le retrait liés aux fortes réactions émotionnelles.

Le dispositif qui suit, élaboré après les premiers essais, tente d'intégrer ces dimensions.

4. UN DISPOSITIF POUR L'IDENTIFICATION D'OBSTACLES AUTOUR DES CHANGEMENTS D'ÉTAT, À L'ÉCOLE PRIMAIRE

après une suite
d'activités sur
les changements
d'état

Cette situation est proposée à des élèves d'une classe de CM2 (fin de l'école élémentaire) (7), après un travail à longue échéance sur l'évaporation de l'eau, la dissolution et les changements d'état, selon une logique d'objectif-obstacle. On s'y est centré sur le traitement d'un réseau d'obstacles liés à la difficulté de concevoir l'existence de ce qui n'est pas directement perceptible, à l'étanchéité des catégories correspondant aux différents états de la matière (une substance liquide est par nature liquide et ne peut pas se transformer en solide ou en gaz) et aux problèmes de vocabulaire correspondants (l'utilisation du terme "glace" par exemple pour désigner l'eau à l'état solide, qui renforce l'obstacle précédent). Ce travail a mis en jeu un ensemble d'activités qui ont conduit les élèves à expliciter leurs représentations sur ces phénomènes, à poser une série de problèmes en relation avec ces obstacles et à les résoudre au moins partiellement, avec le support d'activités expérimentales. Après un travail reposant sur des aspects essentiellement phénoménologiques, des activités de modélisation ont contribué à fournir des explications aux phénomènes étudiés. C'est à l'issue de cet ensemble d'activités qu'une séquence d'identification des obstacles par les élèves est proposée.

(7) Cette séquence de classe a été imaginée et réalisée par Claude Simonnot et Elisabeth Plé.

4.1. Le principe de la séquence

Elle utilise un principe dont l'intérêt a été souligné par plusieurs auteurs : celui de l'enseignement par les élèves à d'autres élèves (Bachelard, 1938, Barnier, 1994). Dans la présentation qu'il propose d'une "utopie scolaire", Bachelard l'exprime en ces termes :

"Voici, d'après nous, le principe fondamental de la pédagogie objective : Qui est enseigné doit enseigner. Une instruction qu'on reçoit sans la transmettre forme des esprits sans dynamisme, sans autocritique. Dans les disciplines scientifiques surtout, une telle instruction fige en dogmatisme une connaissance qui devrait être une impulsion pour une démarche inventive. Et surtout, elle manque à donner l'expérience psychologique de l'erreur humaine.[...] Nous croyons en effet qu'il court toujours un jeu de nuances philosophiques sur un enseignement vivant : un enseignement reçu est psychologiquement un empirisme ; un enseignement donné est psychologiquement un rationalisme. Je vous écoute : je suis toute ouïe. Je vous parle : je suis tout esprit." (Bachelard, 1938, pp. 244-246)

Nous avons, dans une recherche précédente qui étudiait de telles modalités de travail (Peterfalvi et Adamczewski, 1985), retrouvé l'effet fortement structurant de ce type de situation pour l'élève mis en position d'enseigner. Par la dynamique intellectuelle qu'il suscite, les élèves s'engagent dans une activité qui articule un regard rétrospectif sur leurs conceptions de départ et la structuration de leurs connaissances. Ces situations favorisent un regard rationnel et réflexif.

La situation expérimentée reprend ainsi ce principe pour l'identification d'obstacles : on annonce aux élèves qu'ils auront à enseigner à une autre classe ce qu'ils ont appris depuis deux années à propos de l'évaporation de l'eau. On les invite dans ce but à explorer leurs propres idées de départ sur la question et les problèmes de compréhension qu'ils ont rencontrés, *"parce qu'il est probable que les copains auront les mêmes idées, rencontreront les mêmes problèmes, et qu'il faudra les aider à comprendre"*. Ainsi, la recherche de leurs propres représentations et obstacles surmontés est référée à ceux que rencontreront les autres élèves et sans le support matériel de leurs propres productions antérieures erronées. On évite ainsi l'autodévalorisation. Cette recherche est aussi de ce fait finalisée ce qui suscite un engagement important dans la tâche. Cette dynamique est renforcée par la forme donnée au travail écrit : les élèves écrivent à plusieurs un seul texte et chacun formule aussi bien les obstacles repérés chez soi que chez les autres. Celui qui a manifesté l'idée autrefois n'a pas d'importance dans cette tâche, par contre, le fait de repérer un obstacle est vécu comme un apport positif pour le travail du groupe. Notons que l'ensemble de cette réflexion ne peut se faire que parce que les élèves ont eu l'occasion d'exprimer préalablement leurs idées, de les confronter entre elles, de repérer

revisiter
ses obstacles
pour enseigner
à d'autres

des divergences, des contradictions, de poser des problèmes susceptibles de les résoudre, de réaliser des manipulations en rapport avec ces problèmes, etc. C'est dans cette mesure qu'ils peuvent réfléchir maintenant en s'appuyant sur le souvenir de conflits plus ou moins résolus, mais exprimés en tant que tels dans une période antérieure.

4.2. Les étapes de l'activité

Voyons les étapes successives de l'activité proposée. Nous y suivrons l'évolution des formulations issues des premières propositions d'un groupe de quatre élèves.

①	②	③	④	⑤	⑥
Repérage d'idées obstacles	Récapitulation collective des obstacles repérés	Constitution de familles d'obstacles : vers le transversal	Établissement de liens entre local et transversal	Intégration des obstacles repérés à la préparation du cours	Séquence d'enseignement à une autre classe : reconnaissance d'obstacles

① Repérage d'idées obstacles

En petits groupes, les élèves réfléchissent sur ce qui les a eux-mêmes gênés et sur ce qui les a aidés à comprendre, dans le but d'utiliser cette réflexion pour l'organisation de l'enseignement qu'ils auront à mener. Chaque groupe sait qu'il aura la charge de l'enseignement à un autre petit groupe. Cette phase de travail donne lieu à de nombreuses reformulations de la consigne, qui vise à orienter les élèves vers le registre des obstacles, loin d'être spontanément adopté par tous (*"on cherche ce qui nous a embêtés"*, *"ce qu'on croyait"*, *"qui nous gênait"*, *"nous empêchait de comprendre"*, *"l'idée qui nous empêchait de comprendre"*, etc.). Chaque petit groupe doit réaliser une affiche qui portera sur *"ce qui nous a gênés"* et *"ce qui nous a aidés à comprendre"* qu'ils liront au cours de la phase collective qui doit suivre.

"ce qui nous empêchait de comprendre"

Un groupe de quatre propose dans la discussion cette suite de propositions quant à une difficulté qu'ils ont rencontrée pour comprendre l'évaporation de l'eau :

"On croyait que l'eau était toujours liquide... que la roche était toujours solide... ça dépend des matières... parce que c'est comme ça qu'on a l'habitude de les voir... c'est une mauvaise habitude."

On peut remarquer la richesse de ces propositions quant aux dimensions de l'expression de l'obstacle que nous avons définies plus haut.

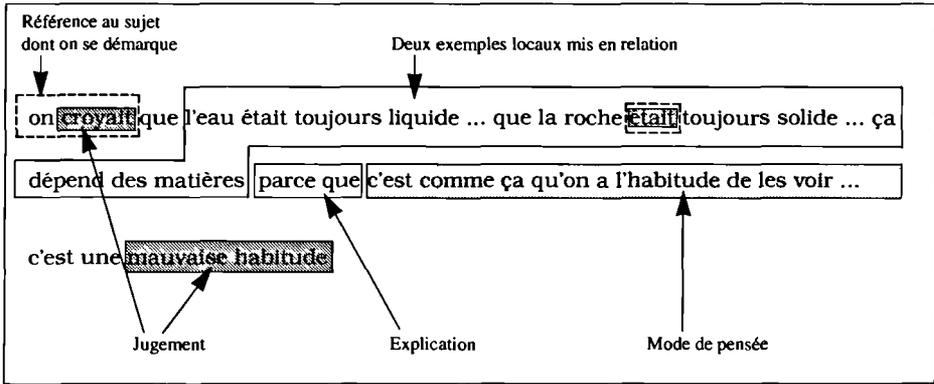


Figure 2.

La référence explicite au sujet, une amorce de généralisation, des jugements et des aspects dynamiques concernant un mode de production des idées s'y expriment. La dimension de justification de la croyance abandonnée apparaît sous la forme de l'explication par un mode de production des connaissances considéré comme légitime (c'est comme ça qu'on a l'habitude de la voir) ; un jugement négatif sur ce mode de production apparaît simultanément. Le double aspect positif-négatif des obstacles est donc exprimé ici de façon complexe.

une explication complexe

Le texte produit à la suite de cet échange oral – “On croyait que l'eau était que liquide à force de la voir dans la vie de tous les jours.” – reprend l'obstacle qui consiste à attribuer un seul état à chaque substance, mais l'exprime seulement pour l'eau, c'est-à-dire le sujet de l'enseignement prévu. Le début de généralisation manifesté oralement (que la roche était toujours solide, ça dépend des matières) est donc perdu. L'obstacle plus transversal qui était exprimé oralement, à savoir que la compréhension des phénomènes s'appuie sur l'expérience sensible quotidienne, s'y retrouve également. Mais le jugement porté sur cette modalité de la pensée “c'est une mauvaise habitude” disparaît à l'écrit. On retrouvera cependant les idées abandonnées à ce stade dans des phases orales ultérieures.

② Récapitulation collective des obstacles repérés

balayer l'ensemble des obstacles

Au cours de cette phase, l'enseignant écrit au tableau les phrases proposées par les élèves sur “ce qui les a embêtés” (par exemple : “l'eau était toujours liquide”, “l'eau était-elle toujours là quand elle devenait invisible ?”, “la matière n'était qu'à l'état solide”, “l'eau devenait de l'air”, etc.). Par la complémentarité de ce que disent les différents groupes, il s'agit de cerner l'ensemble des difficultés possibles et qui pourront se présenter chez leurs futurs élèves. L'enseignant fait

remarquer quelques ressemblances entre les phrases et n'écrit qu'une fois celles qui expriment la même idée. Il les modifie légèrement après négociation avec leurs auteurs et privilégie les formulations qui se rapprochent davantage du registre des obstacles aux dépens de celles qui se réfèrent au "on ne savait pas que...". Cette façon de procéder permet d'aller plus loin dans le degré de généralité des formulations qui seront progressivement construites. En contrepartie, l'adhésion des élèves à ces formulations sera probablement moins forte que s'ils les avaient produites eux-mêmes telles quelles.

Le même groupe dit dans la discussion : "On croyait que l'eau était que liquide parce qu'on la voit comme ça dans la vie de tous les jours." L'enseignant écrit au tableau : "L'eau était toujours liquide." C'est une expression condensée de la première partie de la phrase. Comment interpréter que l'enseignant n'ait pas retenu ici l'explication par l'expérience sensible quotidienne ? Visait-il d'abord à identifier séparément chaque idée obstacle, dans un souci de clarté pour l'ensemble des élèves ? Cherchait-il une homogénéité dans les types de formulations proposées ? La logique du balayage global obligeait-elle à une simplification ? Craignait-il que ce type de considération soit trop difficile à comprendre ? Quelle qu'en soit la raison, cet aspect référant à la justification des idées dépassées et à la compréhension de la résistance de l'obstacle n'est pas mise ici au premier plan.

une formulation simplifiée

③ Constitution de familles d'obstacles : vers le transversal

Dans un second temps, sur un mode dialogué, l'enseignant propose aux élèves de chercher des "familles" de propositions parmi celles qui sont inscrites au tableau, tentant par là de faire émerger des formulations plus transversales des obstacles. S'appuyant sur la discussion instaurée dans la classe, l'enseignant entoure de couleurs différentes les phrases correspondant aux différentes "familles". Ainsi "l'eau évaporée était-elle toujours de l'eau ?" est regroupé avec "l'eau devenait de l'air" et avec une série d'autres propositions sous l'appellation "les états". On arrive alors à trois "familles" : "les états", "parce que c'était invisible", "le sens de certains mots", qui ne désignent pas vraiment, on peut le voir, des formulations d'obstacles.

④ Établissement de liens entre local et transversal

Dans le but d'obtenir cette fois des formulations transversales d'obstacles, une nouvelle discussion en groupe classe est proposée à partir de trois phrases d'élèves jugées représentatives, inscrites au tableau : "une matière qui change d'état change de matière", "l'eau était-elle toujours là quand

chercher
des exemples
des équivalences...

elle devenait invisible ?”, “*la matière n’était qu’à l’état solide*”. Les élèves sont invités à rechercher des relations entre ces phrases, à les exemplifier, à les rapprocher d’autres propositions données ou non la fois précédente. Le jeu des recherches d’équivalences (par exemple : “*une matière qui change d’état change de matière*” est-il équivalent à “*une matière n’avait qu’un état*” ?), des reformulations, des différentes exemplifications conduit les élèves à s’approprier les propositions d’autrui et à mettre en relation les aspects généraux évoqués et leur manifestation dans des exemples variés. L’enseignant modifie le texte au tableau au fur et à mesure de la discussion.

Ainsi l’obstacle exprimé précédemment par le petit groupe dont nous avons suivi les formulations est-il repris et développé dans la discussion en mettant en relation liquide et gaz :

Jean-Louis : - *Ben aussi, quand on voit de l’eau... on savait pas avant que ça pouvait devenir du gaz vu que dans la vie de tous les jours on voyait que l’eau elle était liquide ! Donc on la voyait moins souvent en gaz !*

puis reformulée en employant le terme “état”, plus général :

Jean-Louis : - *Ben on savait pas, avant que l’eau avant... elle pouvait être en gaz ! On la voyait dans la vie de tous les jours à l’état liquide !*

et rattachée, sur l’incitation de l’enseignant, à un obstacle plus général par comparaison avec un autre exemple :

P. : - *Alors qu’est-ce que c’est que cette idée qu’est en train de dire Jean-Louis... parce qu’on pourrait la prendre pour d’autres matières que l’eau d’ailleurs ! C’est que Jean-Louis était en train de dire que pour lui finalement...*

Guillaume : - *que ça voulait dire que... qu’il croyait que c’était qu’à l’état liquide parce que on la voyait dans la vie de tous les jours, tandis que l’état gazeux on le voyait pas souvent !*

P. : - *Oui, d’accord, mais là on ne parle que de l’eau. Et si on voulait essayer de donner une idée plus générale ?*

E. : - *Ben c’est pareil aussi pour la bougie ! Dans la vie de tous les jours, on la voit solide, mais... on peut aussi la rendre à l’état liquide !*

P. : - *Maintenant on le sait ! Donc l’eau pour nous c’était toujours liquide, la cire c’était toujours solide, on pourrait prendre encore d’autres exemples, alors ça ce serait quelle grande idée si on essayait de la trouver en une phrase ?*

E. : - *Les matières... plusieurs changements ?*

P. : - *Plusieurs ? plusieurs quoi ?*

E. : - *Plusieurs états.*

P. : - *Plusieurs états. Maintenant c’est ce qu’on dit, mais avant qu’est-ce qu’on croyait, nous ?*

E. : - *Qu’il y avait qu’un seul état par matière !*

P. : - *Oui donc si on propose une phrase... “Avant on pensait qu’une matière ... (écrit sur le tableau) ...n’avait qu’un état”.*

... des formulations
générales

À la fin de la séance, deux formulations générales sont conservées et écrites au tableau : *“une matière qui change d'état se transforme en une autre matière”* (considérée comme équivalente à la dernière phrase du dialogue ci-dessus) et *“ce qui est invisible n'existait pas”*, comme désignant ce qui empêchera probablement les camarades de comprendre. Ce sont ces formulations qui seront conservées comme référence commune pour la suite du travail.

Si l'on se reporte aux premières formulations de notre petit groupe, on peut repérer que la formulation générale en germe au départ a maintenant été effectivement produite, que d'autres élèves se la sont appropriée et qu'elle a été mise en relation avec d'autres obstacles comme celui qui est attaché au caractère invisible des gaz. Des régressions ont eu lieu dans l'explicitation des idées (abandon transitoire d'une formulation généralisante, et d'une formulation référant à la justification de l'idée de départ), mais ces régressions ont été compensées par d'autres avancées.

5 Intégration des obstacles à la préparation du cours

Les élèves sont maintenant invités par petits groupes à imaginer des situations qui aideront leurs “élèves” à surmonter ces incompréhensions. Les projets de travail sont consignés sur l'affiche élaborée lors de la première séance de préparation.

6 Séquence d'enseignement à une autre classe : reconnaissance d'obstacles

Chaque groupe de départ, comportant quatre élèves, est chargé d'un petit groupe équivalent d'enseignés (élèves d'une classe de CM1). Deux des élèves devront enseigner, les deux autres seront “surveillants d'obstacles” : ils devront écouter les formulations des élèves enseignés du point de vue de la manifestation des obstacles repérés et devront inscrire sur une feuille divisée en deux colonnes, correspondant aux deux formulations générales d'obstacles retenues, les manifestations particulières correspondantes chez les élèves enseignés. Il s'agit cette fois d'un entraînement à la reconnaissance d'obstacle dans ses manifestations locales et à la mise en relation du particulier et du général. Il faut bien comprendre qu'une telle consigne de travail, qui peut paraître ambitieuse, a été élaborée dans un dialogue entre l'enseignant et les élèves, et n'est compréhensible pour ces derniers qu'en référence au travail accompli au cours des phases précédentes.

Quelques groupes d'élèves font fonctionner ces catégories conformément au projet, bien que la place de certaines formulations témoigne de la difficulté de la tâche comme dans la figure 3 : les premières formulations de chaque colonne, exprimant la même idée, renvoient à la convergence de plu-

surveiller
l'expression
d'obstacles
chez les novices

mettre en relation
l'obstacle et
sa manifestation

sieurs obstacles sur une même représentation ; d'autres, inclassables selon les critères retenus, comme "l'eau liquide c'est mou", semblent avoir été placées n'importe où ; ou encore, des erreurs, comme la vraisemblable inversion entre "se rassemblent" et "sont desserrées" dans les formulations de la dernière ligne des deux colonnes, témoignent d'un défaut de stabilité de la nouvelle construction. Toutefois, ce tableau fonctionne.

<p>Ce qui est invisible n'existe pas ?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ils ne croient pas qu'on peut récupérer l'eau quand elle évapore • Ils croient que la vapeur ne peut pas devenir de l'eau liquide • L'eau liquide c'est mou. • L'eau solide c'est dur Un crayon ^{de papier} VC est une matière • Les molécules se rassemble quand on fait évaporée 	<p>une matière qui change d'état se transforme en une autre matière ?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ils pensent qu'on ne peut pas récupérer l'eau • L'eau qui devient solide c'est encore de l'eau et quand l'eau est gazeux elle change de matière • Pour eux le gaz carbonique ne peut pas devenir liquide et solide • Les molécules de gaz ne sont pas les mêmes que ceux de l'eau • Les molécules sont disséminés dans l'eau
--	--

Figure 3.

D'autres, ne parvenant pas à reconnaître dans ce que disent leurs "élèves" les manifestations de ces formulations, réorganisent leur outil en relevant élève par élève la suite des propositions. Deux autres groupes ne remplissent pas ce tableau, soit que la tâche se soit avérée trop difficile pour eux, soit qu'ils se soient par trop identifiés à l'élève qui "faisait le cours". Quant aux élèves-professeurs, ils prennent leur rôle très au sérieux et certains d'entre eux désignent eux-mêmes les obstacles : "vous croyez peut-être qu'elle a disparu quand on ne la voit plus ? (l'eau qui s'est évaporée)

et sont parfois déçus lorsque l'obstacle attendu ne se manifeste pas, tout comme les enseignants dans les situations de travail sur les obstacles. On peut citer pour exemple ce commentaire un peu dépité à une réponse jugée exacte d'un élève enseigné : "ce n'est pas faux !" C'est que les élèves-professeurs, à l'intérieur de leur fonction, jouent aussi le rôle de surveillants d'obstacles. Ce qui était bien le but recherché ! À la suite de cette séance, lors d'entretiens avec une partie des élèves, ceux-ci axent spontanément leurs discours sur les idées qu'ils jugent étonnantes de leurs élèves, signe d'une reconnaissance et en même temps d'une mise à distance des obstacles.

Notons que cette séance, outre le repérage d'obstacles pour laquelle elle a été imaginée, a été l'occasion d'une synthèse importante et d'une structuration des idées sur les phénomènes évoqués. Certains élèves ont à cette occasion ressorti les documents qu'ils avaient élaborés les années précédentes. Certains ont évoqué des activités de deux années auparavant (sur la dissolution du sel) pour indiquer que l'obstacle était le même que pour l'évaporation de l'eau maintenant évoquée : le sel semblait disparaître, tout comme l'eau qui s'évapore ! C'est un exemple de la façon dont peuvent s'épauler structuration des connaissances et identification des obstacles.

articuler
identification
d'obstacles
et structuration
des connaissances

4.3. En guise de conclusion

Le fait, pour les élèves, de rechercher les obstacles auxquels ils ont été confrontés dans le but d'enseigner à d'autres présente un double intérêt :

- d'une part, la réflexion engagée est finalisée ; on gagne ainsi en investissement dans la tâche proposée, et une dynamisation importante des processus ;
- d'autre part, le fait de réfléchir à leurs propres obstacles à propos des obstacles que rencontreront d'autres permet de dédramatiser la situation et d'éviter les remises en question personnelles impliquant un niveau émotionnel dévalorisant.

Plusieurs modalités de travail sont proposées pour susciter la mise en correspondance d'obstacles vus sous un jour transversal avec leurs manifestations particulières : la constitution de "familles" de propositions portant sur des idées repérées et référant à un niveau local, l'exemplification de formulations générales d'obstacles, et l'utilisation de l'outil que constitue la référence à deux obstacles transversaux pour observer dans un discours en train de se constituer les manifestations de ceux-ci. En revanche, l'exploration des aspects "positifs" de l'obstacle, amorcée comme nous l'avons vu dans la justification de l'idée reconnue maintenant comme fautive (qu'à chaque matière ne correspond qu'un état) par un mode de production légitimant (on les voit comme ça dans la vie de tous les jours) n'est peut-être pas développée à la mesure de l'intérêt qu'il aurait pu revêtir. La

peut-on mettre
l'accent sur
les aspects positifs
de l'obstacle ?

réflexion devra se poursuivre à l'occasion d'autres essais pour nous renseigner sur le caractère réalisable de cet aspect du travail.

5. QUELQUES QUESTIONS

La fécondité des situations que nous avons tenté de mettre en œuvre doit être questionnée à différents niveaux.

Les dimensions de l'identification d'obstacles que nous avons évoquées ont émergé de façon effective en situation de classe. Cela indique que la production de tels types de formulations est possible et même parfois dans des classes d'école primaire, comme nous l'avons vu dans l'exemple que nous avons développé. Cela écarte la crainte que l'on aurait pu avoir quant au caractère inaccessible d'un tel type de travail. Il reste à voir, bien entendu, quel type de formulation émerge effectivement dans telle ou telle situation, au cas par cas.

une activité
accessible
à tous ?

On peut se demander si ce travail est accessible à tous les élèves, en fonction de l'âge, des styles cognitifs, des milieux socioculturels et s'il convient mieux à certains élèves qu'à d'autres. Une première réponse peut être donnée quant au problème de l'âge. Les difficultés n'ont en effet pas été plus grandes à instaurer de telles situations et à obtenir des formulations intéressantes au niveau de l'école primaire qu'en classe de Seconde. Faut-il interpréter cela comme une plus grande perméabilité des enfants de cet âge à ce qui s'éloigne de la coutume scolaire ? En ce qui concerne les styles cognitifs et le niveau scolaire, il est vraisemblable que des différences vis-à-vis de ce type d'activités se manifestent. On peut toutefois avancer que si la capacité de distanciation est moins développée au départ chez certains, c'est justement ce type d'activité qui permet de l'accroître. Par ailleurs, notre analyse des différentes dimensions des formulations des obstacles en a fait apparaître les variations possibles et les différents niveaux de complexité. Il est possible d'adapter le type de formulation aux possibilités de chacun. Nous avons repéré en revanche une sensibilité particulière des enfants issus de milieux défavorisés au sentiment de faute attaché à l'erreur : ils se sentent plus facilement dévalorisés et les précautions à prendre quant à la déculpabilisation de l'erreur sont particulièrement importantes pour ces élèves.

Mais des interrogations subsistent. Les justifications ou explications de l'erreur changent la nature du contrat, donnent confiance, déculpabilisent. Mais ceci joue différemment selon les élèves. Les enseignants se sont en effet parfois heurtés à une indifférence de la part de "bons élèves" : "*ce n'est pas leur problème, disent-ils, ils comprennent et ne produisent pas les erreurs dont on parle*". Pour les élèves faibles,

cette identification de la source de l'erreur joue sur le plan affectif, en *excusant leur faute*, mais on peut se demander si elle joue sur ce plan seulement ou si elle fournit effectivement un outil pour repérer et éviter l'obstacle dans ses nouvelles occurrences.

quel réinvestissement ultérieur ?

D'une façon plus générale, que produisent effectivement ces activités par rapport à la capacité de reconnaître ultérieurement l'obstacle et de l'éviter ? Quelle en est la fécondité pour le travail sur l'obstacle et son évitement ultérieur ? Notre analyse ne permet pas pour le moment de préjuger des réinvestissements réels auxquels ces formulations peuvent donner lieu. Nous avons vu que certaines d'entre elles permettent d'attendre davantage que d'autres. On peut par ailleurs imaginer des procédures de travail facilitant un tel transfert, comme les symbolisations que l'on peut facilement réévoquer en classe, la construction d'outils écrits visant à consigner des manifestations d'obstacles dans des situations nouvelles comme le tableau à deux colonnes de nos "surveillants d'obstacles" ... Mais cet aspect du travail restera à compléter dans des études ultérieures.

une pratique lourde ou incidente ?

Comment ce type d'activité peut-il s'insérer dans l'organisation globale d'une année scolaire, du point de vue du temps, de la complémentarité avec les autres modalités de travail ? Nous avons souligné la nécessité de ne pas substituer l'identification des obstacles à l'élaboration des connaissances scientifiques, mais de les articuler. Pour esquisser une réponse à ce type de question, nous aimerions attirer l'attention sur le fait que ces activités peuvent se concevoir de façons très différentes : sous des formes systématiques et relativement lourdes, organisées à cet effet dans le détail comme dans la séquence que nous avons rapportée, ou au contraire sous des formes légères, incidentes, et pouvant se réduire à un bref moment choisi selon l'opportunité du moment ou apparaissant même de façon spontanée au détour d'une activité autre. Si des formes lourdes ne sont pas toujours réalisables, pour des raisons de contraintes du système scolaire, elles sont pourtant importantes à expérimenter par les enseignants au moins une fois. Ceux-ci acquièrent en effet par cette expérience une compétence à provoquer des moments d'identification d'obstacles de façon plus incidente et légère.

La mise en œuvre de situations d'identification d'obstacles amorce de notre point de vue une piste nouvelle pour la prise en compte didactique des obstacles. Les situations le plus souvent proposées dans ce but combinent en effet débat entre élèves et mise à l'épreuve du réel dans une optique de résolution de problème scientifique. Or, ce que nous proposons ici, bien que complémentaire à ce type de démarche, est d'un ordre différent. Ce n'est pas nécessairement par une démarche expérimentale qu'on travaille les obstacles à la construction de concepts scientifiques.

D'autres démarches sont possibles, à la condition qu'elles soient articulées avec des démarches scientifiques.

Brigitte PETERFALVI,
Équipe de didactique des sciences
expérimentales, INRP.

BIBLIOGRAPHIE

ALLEN V.L. (1976), *Children as teachers*, New-York : Academic press.

ASTOLFI J.-P., PETERFALVI B., VÉRIN A. (1991), *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*, Paris : INRP.

ASTOLFI J.-P., PETERFALVI B. (1993), "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", *Modèles pédagogiques 1*, Aster n° 16.

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

BARNIER G. (1994), *L'effet tuteur dans une tâche spatiale chez des enfants d'âge scolaire*, Thèse de doctorat, Université de Provence.

BLAYE A. (1989), "Interactions sociales et constructions cognitives : présentation critique de la thèse du conflit socio-cognitif", in Bednarz N. et Garnier C. (eds), *Construction des savoirs, obstacles et conflits*, Ottawa, CIRADE, Agence d'Arc.

CAUZINILLE E., MELOT A.-M. (1993), "Métacognition et acquisition de connaissances", *Cahiers de Beaulieu* n° 16.

DÉSAUTELS J. (1989), "Développement conceptuel et obstacle épistémologique", in Bednarz N., Garnier C. (eds), *Construction des savoirs, obstacles et conflits*, Ottawa, CIRADE, Agence d'Arc.

FILLON P. (1991), "Histoire des sciences et réflexion épistémologique des élèves", in *L'élève épistémologue*, Aster n° 12.

FLAVELL J.H. (1985), "Développement métacognitif", in Bideau J. & Richelle M. éd., *Psychologie développementale : problèmes et réalité*, Brussels : Mardaga.

FABRE M. (1995), *Bachelard éducateur*, Paris : PUF.

GOIX M. (1996), *Les concepts de croissance et de développement en biologie. Obstacles et représentations chez des élèves de collège. Propositions de situations didactiques*, thèse de doctorat, université Paris VII.

- JOHSUA S., (1989), "Les conditions d'évolution des conceptions d'élèves", in Bednarz N., Garnier C. (eds) *Construction des savoirs, obstacles et conflits*, Ottawa, CIRADE, Agence d'Arc.
- LAROCHELLE M., DÉSAUTELS J. (1992), *Autour de l'idée de science*, Université de Laval et Bruxelles : De Boeck.
- MARTINAND J.-L. (1986), *Connaître et transformer la matière*, Berne : Peter Lang.
- MARTINAND J.-L. (1984), "La référence et le possible dans les activités scolaires", *Actes de l'atelier international de didactique de la physique* (La Londe des Maures, 1983).
- MELOT A.-M., N'GUYEN XUAN A. (1981), "La connaissance des phénomènes psychologiques" in OLERON *et al.*, *Savoirs et savoir-faire psychologiques chez l'enfant*, Bruxelles : Mardaga.
- MONCHAMP A. (1993), chapitre "Biologie", in COLOMB J. (dir.), *Les enseignements en troisième et seconde : ruptures et continuité*, Paris : INRP.
- MONTEIL J.-M. (1989), *Éduquer et former, perspectives psycho-sociales*, Grenoble : presses universitaires de Grenoble.
- NOIRFALISE R., (1990), "Arguments pour un modèle du fonctionnement cognitif en termes de connaissances, métaconnaissances et traitement de l'expérience", *Bulletin IREM de Clermont Ferrand* n° 41.
- NUSSBAUM J., NOVICK S. (1982), "Alternative frameworks, conceptual conflict and accomodation : toward a principled teaching strategy", *Instructional Science*, 11.
- ORANGE C. (1993), "Le concept d'obstacle en didactique des sciences : nécessité d'une approche plurielle", in *Le problème et l'obstacle en didactique des sciences*, Documents du CERSE, Université de Caen, n° 60.
- PETERFALVI B., ADAMCZEWSKI G. (1985), *Les possibilités d'entraide pédagogique entre élèves*, Paris : INRP.
- PETERFALVI B. (1991), "Apprentissage de méthodes par la réflexion distanciée", in *L'élève épistémologue*, Aster n° 12, Paris : INRP.
- PETERFALVI B. (1995), "Activités réflexives d'élèves en classe de sciences", in Giordan A. Martinand J.-L. et Raichvarg D. (éd.), *Que savons-nous des savoirs scientifiques et techniques ? Actes JIES, XVII*, Chamonix.
- PIAGET J. (1972), "Inconscient affectif et inconscient cognitif", in *Problèmes de psychologie génétique*, Paris : Denoël.
- PIAGET J. (1974), *La prise de conscience*, Paris : PUF.

PIAGET J. (1974), *Réussir et comprendre*, Paris : PUF.

PLÉ E. (1995), "Attaquer un obstacle par ses différentes faces à l'école élémentaire : l'air n'est pas de la matière", in Giordan A., Martinand J.-L., Raichvarg D. (éd.), *Que savons-nous des savoirs scientifiques et techniques ? Actes JIES, XVII*, Chamonix.

POSNER G. J. *et al* (1982), "Accommodation of a scientific conception : towards a theory of conceptual change", *Science Education*, 66.

RUMELHARD G. (1996), "Représentations et travail résistant. Obstacles et conditions de possibilité pour l'assimilation du savoir en biologie et géologie", *Biologie Géologie*, Bulletin de l'APBG n° 4.

VÉRIN A. (1993), "Didactique des sciences et apprentissages méthodologiques", *Cahiers de Beaulieu* n° 16.

VÉRIN A. (1995), "Mettre par écrit ses idées pour les faire évoluer en sciences", *Repères* n° 12.

WHITE R.T., GUNSTONE R.F. (1989), "Metalearning and conceptual change", *International Journal of Science Education*, 11 (numéro spécial) : 577-586.

TRANSFORMATION DE LA MATIÈRE À L'ÉCOLE ÉLÉMENTAIRE : DES DISPOSITIFS FLEXIBLES POUR FRANCHIR LES OBSTACLES

Élisabeth Pié

Dans le champ conceptuel "des états de la matière et leurs transformations" à l'école élémentaire, plusieurs obstacles épistémologiques entravent la construction des concepts par les élèves. Après avoir analysé les caractéristiques de deux d'entre eux "l'eau s'évapore en air" et "l'air n'est pas de la matière", nous décrivons en prenant en exemple le traitement de ce dernier obstacle, une stratégie qui consiste à attaquer l'obstacle par ses différentes faces. Nous dégagons les caractéristiques de ce dispositif qualifié de flexible, qui sans perdre de vue le cap conceptuel fixé par l'objectif-obstacle, s'infléchit en permettant aux élèves de mettre en jeu leurs propres idées. Ces situations d'enseignement sont particulièrement exigeantes. Afin de déterminer les compétences pédagogiques qu'elles requièrent, nous analysons les difficultés rencontrées par deux enseignants en situation de reprise de ce dispositif à partir d'un scénario "clefs en main".

principes de
fonctionnement
d'un dispositif
flexible...

La prise en compte didactique des obstacles épistémologiques a donné lieu à de nombreuses recherches depuis plusieurs années. Une des modalités de travail de l'obstacle, par conflit cognitif ou socio-cognitif, séduisante *a priori*, se révèle assez difficile à mettre en œuvre (Bednarz, Garnier, 1989) et d'un effet non garanti pour contribuer au franchissement des obstacles. En vue de diversifier les stratégies de travail sur les obstacles, l'équipe sciences expérimentales de l'INRP, à travers la recherche "*Objectifs-obstacles et situations d'apprentissage*", a conçu, réalisé et analysé des stratégies diverses pour s'attaquer aux obstacles du champ conceptuel "transformation de la matière". Un de ces dispositifs, qualifié de flexible, tient compte des conditions pour que s'installe un réel conflit socio-cognitif contribuant au franchissement de l'obstacle. Dans le cadre de cet article, nous présenterons plus spécialement ce type de dispositif, mis en place au cycle 3 de l'école primaire, pour franchir des obstacles générés par le mode de pensée "primat de la perception" (1) : le sel disparaît dans l'eau, l'eau s'évapore en air, l'air n'est pas de la matière. En prenant pour exemple ce

- (1) Cette expression, adoptée par l'équipe de recherche, réfère à la fois aux aspects sensualistes de la pensée tels que les évoque Bachelard à propos de l'obstacle de l'expression première, et aux fonctions figuratives de la pensée (la perception et ses substituts), par opposition aux fonctions opératives (l'action et ses substituts) telles que les définit Piaget, et qui dominent la pensée pré-opératoire.

et faisabilité
didactique

dernier obstacle, nous présenterons comment ce dispositif s'intègre dans une stratégie globale qui consiste à attaquer l'obstacle par ses différentes faces et nous analyserons ses principes de fonctionnement. De plus, nous examinerons les difficultés liées à la gestion pédagogique d'un tel dispositif.

1. DES OBSTACLES GÉNÉRÉS PAR LE "PRIMAT DE LA PERCEPTION"

Le mode de pensée, que nous avons qualifié de "primat de la perception", c'est-à-dire "je ne conçois que ce que je perçois", est très prégnant chez les enfants de 9-11 ans. À travers le champ conceptuel "états de la matière et leurs transformations" restreint au cycle 3, ses manifestations sont nombreuses.

le sel disparaît
dans l'eau...

Ainsi, le sel, substance blanche et solide pour ces enfants, est difficilement concevable à l'état invisible sous forme dissoute dans l'eau. À cet âge, l'invariant du poids n'est pas construit (Piaget, Inhelder, 1978), et face au problème de la disparition du sel dans l'eau, les idées sont diverses : pour certains il n'y a que le goût qui subsiste, pour d'autres le sel est toujours là, d'autres enfin pensent qu'il n'y en a pas autant dans l'eau que ce qui a été introduit. Ceux-là concilient les tendances à la conservation avec le fait constaté de la non perception du sel.

l'air n'est pas
de la matière...

De même l'air, représente chez ces enfants quelque chose qui existe mais qui ne peut être ni vu, ni touché (Séré, 1985). Sa présence dans une enceinte n'est pas souvent reconnue, surtout si celle-ci est fermée. L'air n'est généralement perçu spontanément que lorsqu'il est en mouvement. Comment, dans ces conditions, le considérer comme une substance au même titre que les solides et les liquides ?...

l'eau s'évapore
en air

Enfin, l'eau, prototype du liquide pour l'enfant de cet âge, n'est pas pensée à l'état invisible. Pour lui, lors de l'évaporation ou de l'ébullition, "*l'eau s'évapore en air*". Nous verrons que cette idée-obstacle est confortée par d'autres modes de pensée que celui du "primat de la perception", ce qui en assure une cohérence encore plus grande. Pour cet obstacle, nous examinerons, à la lumière des différents essais pratiques dans des classes, l'origine de cette résistance et nous nous contenterons de proposer quelques éléments pour orienter d'éventuelles actions pour le franchir.

1.1. Caractéristiques de l'obstacle "l'air n'est pas de la matière"

La stratégie didactique, que nous décrirons par la suite, est centrée sur le franchissement de l'obstacle "l'air n'est pas de la matière", par des élèves de 10-11 ans. Si l'enfant de cet âge n'entend pas le terme matière dans son acception scientifique – ce mot évoque pour lui : la matière grasse, les

...un projet de construction pour l'enseignant

"Dans la mesure où ces obstacles ont une signification épistémologique profonde, je crois qu'ils fournissent la clé pour formuler les buts les plus essentiels de l'éducation. Autrement dit, il s'agit d'exprimer les objectifs en termes d'obstacles franchissables, car parmi la diversité des objectifs possibles, les objectifs intéressants sont les objectifs-obstacles."

C'est dans cet esprit qu'Astolfi et Peterfalvi suggèrent de traiter les obstacles, "non pas négativement comme ce qui empêche l'apprentissage, mais plutôt de les considérer comme l'enjeu conceptuel", à condition bien sûr, "de se donner les moyens de les penser d'une manière qui rende possible leur dépassement".

1.2. L'obstacle "l'eau s'évapore et donne de l'air"

• Ses caractéristiques

On peut définir, pour cette idée-obstacle, deux niveaux : un niveau d'existence de l'eau à l'état invisible, et un niveau de conservation de la substance. Mais ici, au mode de pensée "primat de la perception", s'adjoignent d'autres obstacles générés soit par d'autres modes de pensée, pensée catégorielle, finalisme, ou par le langage commun. L'idée "l'eau donne de l'air" se situe donc au nœud d'un réseau d'obstacles qui se confortent l'un l'autre pour assurer la cohérence de cette idée.

- *"Quand on chauffe l'eau, elle donne de la vapeur, puis disparaît."*
 - *"Dans la classe il n'y a pas d'eau puisqu'il y a de petits trous aux fenêtres et dans les portes. L'eau, elle part dans les nuages."*

- *"De l'eau c'est liquide."*
 - *"De la roche c'est solide."*
 - *"Du gaz de ville c'est gazeux."*

Primat de la perception		Pensée catégorielle
<i>L'eau donne de l'air</i>		
Langage		Finaliste

- *"Quand on chauffe de l'eau, ça donne de la vapeur, puis de l'air."*
 - *"De la glace ce n'est pas de l'eau solide, un glaçon ça casse, ça fond."*

- *"L'eau ça donne l'air... parce qu'on respire l'air."*

Document 2. Formulations d'enfants recueillies à travers diverses situations et caractéristiques des quatre "Pôles-Obstacles" du réseau

le langage
commun ...

- Dans le langage commun l'eau et l'air sont les prototypes respectivement du liquide et du gaz. La vapeur désigne un brouillard et le terme solide fait référence à une substance dure, consistante et non fragile.

la pensée
catégorielle...

- L'usage de la pensée catégorielle se manifeste ici par la conception de l'étanchéité des états de la matière : "*l'eau c'est liquide, la roche est solide, le gaz de ville est gazeux...*". Les enfants attribuent à la substance concernée, l'état dans lequel ils l'observent quotidiennement à température ambiante.

le finalisme....

- Le finalisme s'émousse certes avec l'âge, mais reste encore très présent chez certains enfants de 9-11 ans. C'est un obstacle sur lequel on a peu de prise : nos travaux ont montré, qu'après de multiples attaques pour déconstruire le réseau d'obstacles, c'est celui qui est le moins ébranlé. Ainsi certains enfants, minoritaires il est vrai, continueront à affirmer que "*l'eau donne de l'air*" en justifiant par l'argument "*parce que l'air, ça sert à respirer*".

le primat
de la perception

Les travaux menés pour tenter de franchir cet obstacle, nous ont permis d'affiner nos connaissances sur la résistance de cet obstacle. Si la conservation de la substance ne semble pas être mobilisée quand les enfants disent que "*l'eau donne de l'air*", elle est utilisée pour interpréter certains faits expérimentaux, en n'ébranlant aucunement l'obstacle. Ainsi, lorsque les enfants expliquent ce qui se passe quand on porte à ébullition l'eau contenue dans une casserole, ils disent que "*ça donne des petites fumées, ou de la vapeur, puis de l'air*". Le "primat de la perception" les conduit à nier la présence de l'eau dans la pièce. Pour eux, l'eau est forcément sous une forme visible, elle est maintenant dans le nuage. À la remarque de l'enseignant qui s'étonne que l'eau puisse sortir de la pièce, ils objectent qu'il y a "*des trous et des fentes, c'est par là que l'eau est sortie*"...

recupérer de
l'eau que l'on
a fait évaporer,
une opération
normale...

La forme générale du cycle de l'eau ne leur pose pas problème. L'eau, à la surface du sol (elle est alors visible), va s'évaporer. On la retrouvera sous une forme visible dans le nuage, et on pourra l'observer tombant du nuage vers le sol sous forme de pluie. Voilà une forme qui tourne bien et qui est bien conforme à l'observation. En revanche, l'existence de l'eau sous une forme invisible n'est pas conçue autrement qu'à l'état d'air, c'est-à-dire quelque chose qui existe mais invisible, donc doté pourquoi pas de pouvoir magique. L'air est là aussi utilisé (Piaget, 1927) pour expliquer des phénomènes impalpables. De même, le fait de récupérer de l'eau qui s'était vaporisée, en la faisant par exemple se recondenser avec un dispositif du type de celui dessiné par Lise sur le document 3 semble tout à fait normal pour les élèves, et ne contribue pas à un quelconque travail sur l'obstacle. Il est d'ailleurs remarquable de constater que certains enfants (doc. 3) utilisent ces deux exemples pour argumenter en faveur du fait que l'eau donne de l'air.

mais expliquer
"l'apparition
spontanée"
d'eau sur une
paroi, ça pose
des problèmes !

Par contre l'apparition d'eau, par condensation sur un objet froid, est difficilement explicable par les enfants autrement que *"c'est l'eau de la bouteille* (dans le cas où l'objet froid est une bouteille sortie du réfrigérateur) *qui sort*" ou bien, dans le cas d'un objet quelconque, *"le chaud et le froid, ça fait de l'eau"*. En effet, comment imaginer que rien, ou si peu s'il s'agit de l'air, puisse donner de l'eau, c'est-à-dire de la matière ?...

• **Des éléments pour aider au franchissement de cet obstacle**

Le caractère protéiforme de cet obstacle lui confère une résistance particulière à toute tentative de travail : attaqué par l'un de ses pôles, il ressurgit, comme renforcé par les trois autres...

Cependant, sans avoir la prétention de le franchir totalement, ce qui n'est pas impossible, mais nécessite de mettre en place une stratégie élaborée et coûteuse en temps, on peut franchir, à moindre coût, le premier niveau, celui que nous avons qualifié d'existence d'une forme invisible d'eau.

mettre en
relation les
2 disparitions,
celle de l'eau,
celle du sel...

Ce premier niveau, tout comme l'obstacle de "la disparition du sel dans l'eau", est engendré par le primat de la perception. C'est avec le projet de faire, à terme identifier l'origine de ces deux idées que nous avons mis en place une activité fonctionnelle que nous avons appelée "dessaler l'eau". Celle-ci fonctionne sur le principe du dispositif flexible qui sera présenté par la suite. Les élèves sont mobilisés par le projet de réussite qu'ils ajustent par tâtonnements successifs, alors que l'enseignant oriente les actions et la réflexion par le travail sur l'obstacle. Ainsi les moments où on se pose les questions – y a-t-il du sel dans l'eau, tout le sel ? Pouvons-nous le vérifier ? Allons-nous récupérer tout le sel ? Vérifions-le. Pouvons-nous récupérer l'eau qui s'est évaporée ?... – sont-ils des moments-clés. Mais c'est la mise en relation des deux disparitions apparentes – celle du sel, qui ne fait plus problème après la "pesée discutée" et celle de l'eau dans l'air, que l'on récupère par condensation – qui est déterminante pour identifier l'obstacle (Peterfalvi, 1995) et contribuer ainsi à son franchissement. Des expressions du type *"comme pour le sel, on pensait que l'eau avait disparu, mais elle est toujours là, on ne la voit pas"* en sont le témoignage.

...pour identifier
l'obstacle

Aller plus loin dans le traitement de l'obstacle, c'est s'attaquer aux autres pôles-obstacles, en particulier ceux de la pensée catégorielle et du langage. L'eau et l'air étant considérés comme des substances prototypiques respectivement des liquides et des gaz, les attaques et les reconstructions nécessaires ne peuvent se faire sans l'usage de la comparaison des changements d'états de l'eau avec ceux d'autres substances. Mais c'est aussi dépasser le cadre actuellement tracé par les programmes qui ne suggèrent pas d'étudier le comportement d'autres matières que celle très familière, mais aussi très particulière qu'est l'eau...

2. LES PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DU DISPOSITIF DIDACTIQUE POUR ATTAQUER L'OBSTACLE "L'AIR N'EST PAS DE LA MATIÈRE"

2.1. Articuler déconstruction/reconstruction

Le passage d'un réseau d'idées confortables pour l'élève, à un autre, insoupçonné *a priori* par celui-ci, mais considéré comme plus performant pour l'enseignant, exige un double travail :

- une déconstruction des idées existantes ;
- une reconstruction de nouvelles conceptions qui devront, à terme, se révéler au moins aussi confortables que les premières pour l'élève.

La nécessité de prendre en compte les représentations des apprenants pour les faire évoluer, ayant été largement diffusée en formation des maîtres, les enseignants sont maintenant assez volontiers prêts à faire émerger ces conceptions par différentes techniques. Mais pour en faire quoi ? Les confronter à la "réalité" par le biais expérimental suffit-il pour fissurer l'obstacle et contribuer à sa déconstruction ? Les travaux réalisés dans ce domaine révèlent que la contradiction entre des idées et un fait expérimental n'entraîne pas un conflit cognitif automatique, et qu'à la limite plus la conviction des élèves est éloignée du nouveau modèle explicatif, plus le risque de fuite du conflit est grand. Ce qui fait dire à Johsua (1989) : *"tant que les sujets ne changent pas de paradigme interprétatif, l'expérience en elle-même ne suffit pas à ébranler leur conviction... Il n'y a pas de conflit cognitif, bref d'expérience cruciale"*. Faut-il pour autant abandonner le concept de conflit socio-cognitif ? Nous avons pris le parti d'en explorer les limites, c'est-à-dire d'examiner les causes de fuite du conflit cognitif (Astolfi, Peterfalvi, 1993) pour mettre en œuvre les conditions d'installation d'un réel conflit cognitif.

Par ailleurs, le pôle construction semble valorisé par une majorité d'enseignants. Ainsi, confrontés au problème de construire à terme le fait que l'air est de la matière, la plupart des enseignants observés dans des situations de formation préconisent de lister les attributs du concept de matière (*"il faut bien leur donner puisqu'ils ne savent pas ce qu'est la matière"* disent-ils) et de démontrer, preuves expérimentales à l'appui, que l'air possède bien ces propriétés.

Cette stratégie qui délaisse la déconstruction pour travailler d'emblée à une nouvelle construction néglige la notion d'obstacle ou plutôt ne considère de cette notion que l'écart entre le modèle explicatif de l'enfant et celui à construire. Si cette stratégie est efficiente dans bien des cas (Barth, 1987), elle ne semble pas opérante à long terme dans le traitement d'un obstacle car celui-ci *"n'est pas un vide, mais un trop plein de connaissances"* (Fabre, 1995)... qui risque de revenir au galop une fois le "vide" comblé.

une illusion
perdue : le conflit
cognitif ne naît
pas d'une simple
contradiction
logique

une conception
de l'obstacle
en creux pour
l'enseignant...

... alors que
l'obstacle est
un trop plein
de connaissances

Nous avons donc choisi de mettre en place des situations didactiques qui articulent déconstruction et reconstruction conceptuelles. Ces dispositifs ont été qualifiés de *"souple-dur"* dans la mesure où ils favorisent l'expression des idées des élèves en s'infléchissant en fonction des différentes propositions, tout en maintenant le cap conceptuel fixé. Ils sont particulièrement exigeants car ils mettent en œuvre des procédures qui sont habituellement antagonistes.

• **Objectif conceptuel et souplesse adaptative**

L'enseignant doit conjuguer deux logiques : celle du savoir à construire fixé par l'objectif-obstacle visé, et la logique de pensée des élèves. Pour prendre en compte cette dernière, l'enseignant doit être capable d'infléchir son dispositif pour permettre un véritable enrôlement (Bruner, 1983). La simple contradiction logique ne suffisant pas à amorcer le conflit, celui-ci ne sera effectif que si ces élèves se "prennent au jeu", s'ils peuvent s'investir affectivement dans un débat d'idées (Brousseau, 1986), si on les prend au sérieux, ou bien encore si on leur donne la possibilité de défendre leur point de vue en leur offrant la possibilité de résoudre un problème pour trancher entre différentes idées.

Ainsi le dispositif sera-t-il suffisamment rigide pour éviter les dérives, tout en laissant du jeu pour permettre un investissement des élèves.

• **Opposition par le conflit et coopération entre élèves**

La gestion d'un conflit socio-cognitif a ceci de paradoxal, c'est qu'elle oblige l'enseignant à créer une situation d'opposition, en rendant explicite les deux termes de la contradiction, tout en développant un climat favorable à la coopération entre élèves. L'enjeu social est déterminant : *"mais le problème à résoudre n'est cependant pas réductible à un problème individuel. C'est parce qu'il est social que les enfants sont conduits à coordonner leurs points de vue en un nouveau système qui permette un accord entre eux. La recherche d'un dépassement du déséquilibre cognitif inter-individuel provoque alors un dépassement du déséquilibre cognitif intra-individuel."* (Gilly, 1989 à partir de Doise et Mugny, 1981)

C'est en installant le droit à l'erreur, en dédramatisant la situation, ou encore, en accompagnant affectivement l'élève dans la défense de son point de vue, que l'enseignant contribue à installer ce climat favorable.

• **Déstabilisation et reconstruction conceptuelle**

Chacune des phases contribue à fissurer l'obstacle, c'est-à-dire à faire prendre conscience à l'élève que ses connaissances du moment ne sont pas opérantes pour résoudre le problème proposé. La fissuration est d'autant plus profonde que les élèves sont engagés dans un travail mettant en jeu

faire du
problème du
maître l'affaire
des élèves

installer le droit
à l'erreur

déconstruire
mais
pas anéantir

leurs idées personnelles tout en les confrontant à celles des autres. Elle sera d'autant plus efficace qu'elle amènera les enfants à reconsidérer leur savoir et à construire, à travers les différentes séquences, les attributs du concept de matière dans le cas de l'air, comme la seule alternative possible. L'ordre de construction des attributs et leur vitesse d'élaboration ne sont pas quelconques : l'attaque ne doit pas avoir un effet d'anéantissement qui créerait la peur du vide donc une fuite, ni un effet de surprise trop important engendrant une adhésion immédiate sans travail véritable sur l'obstacle. C'est ainsi que le fait que l'air est pesant sera le dernier attribut à construire.

le franchissement
de l'obstacle
suppose
des activités
de reconstruction

Le franchissement de l'obstacle ne sera effectif que si le nouveau modèle est intériorisé (Vygotski, 1985), ce qui nécessite des activités complémentaires d'appropriation pour utiliser le savoir nouvellement (re)construit.

2.2. Multiplier les angles d'attaque

des supports
variés

Le caractère résistant de cet obstacle ne laissant aucune illusion quant à son franchissement au cours d'une seule séance, nous avons adopté une stratégie didactique qui consiste à mettre successivement l'élève face à différentes situations (le verre vide, le tube à patates, la bouteille d'air de la cour, les moulinets...) qui n'ont pour lui, en apparence pas de relation. Les acquisitions nouvelles, systématisées de manière provisoire à chaque séance, sont remises à l'épreuve sur des problèmes nouveaux.

des enjeux
multiples

Pour éviter que l'élève se sente pris au piège dans un rituel de fonctionnement qui tourne à chaque fois à son désavantage – sa tâche consisterait alors à déjouer le piège –, l'attaque de l'obstacle ne se fait pas toujours avec les mêmes armes ; les entrées dans les situations à étudier sont variées :

- prévoir des résultats d'expériences proposées par le maître,
- résoudre un problème constaté par tous (faire monter l'eau),
- résoudre un problème en apparence saugrenu (aller chercher un litre d'air de la cour),
- donner son avis (est-ce que l'air pèse ?),
- comparer des propriétés.

des stratégies
diverses

Cela ne se fait pas toujours avec la même stratégie :

- logique de conflit cognitif ou socio-cognitif,
- résolution de problème,
- réinvestissement pour utiliser des acquis précédents.

2.3. L'écrit comme aide à l'installation d'un conflit

La production d'écrit intervient comme un des moyens pour favoriser l'installation d'un réel conflit (Vérin, 1996) et éviter la négation d'un des deux termes de la contradiction. Ses formes et ses fonctions sont diverses.

• **Lors de la prévision du résultat d'une expérience**

l'écrit
pour éviter
l'oubli...

Chaque élève est sollicité et formule par écrit son idée. C'est une manière d'engager personnellement chaque individu dans le débat scientifique qui en découlera. Ainsi, en empêchant l'oubli grâce à "la chose écrite", on évite le refuge vers une position consensuelle et confortable comme le génèrent souvent les sollicitations uniquement orales.

• **À l'occasion de la recherche d'un procédé pour résoudre un problème**

préciser
sa pensée
et favoriser
les échanges...

Cette procédure est organisée en deux temps : une recherche par groupe, où les élèves imaginent des solutions et doivent s'accorder pour les présenter aux autres sous forme de posters, suivie d'une mise en commun où les affiches sont examinées et critiquées par la classe entière.

Ce dispositif permet :

- d'organiser l'action prévue et d'éviter à l'avance certaines propositions qui, une fois précisées sur le papier et discutées, paraissent inadaptées au problème ;
- de favoriser les échanges entre les élèves : au-delà des désaccords dans le groupe, il faut élaborer une production commune à transmettre ; il permet ainsi de créer un climat de coopération positif à la gestion du conflit ;
- de contribuer à l'explicitation des idées de chacun, ce qui est propice au déclenchement de débats scientifiques et à l'investissement personnel.

Son usage ne peut cependant pas être systématique car les débats préalables risquent de démobiliser certains élèves qui ont besoin d'une expérimentation concrète.

• **Pour expliquer et tirer des conclusions**

faire le point

Ce type d'écrit, individuel présente une double fonction : pour l'élève, il est l'occasion d'explicitier sa pensée, de reformuler ses idées après coup, pour l'enseignant, c'est un moyen privilégié de savoir où en est l'obstacle pour chacun des élèves.

3. LE DÉROULEMENT DES ACTIVITÉS

3.1. Le verre vide/

L'air s'oppose à l'entrée de l'eau !

La première séance est centrée sur une activité expérimentale qui consiste à enfoncer un verre en plastique transparent, au fond duquel on a collé un sucre, dans un bac transparent rempli d'eau, tout en le maintenant bien verticalement, l'ouverture vers le bas. Cette expérience sera réalisée par l'enseignant, mais on demande aux élèves d'anticiper ce qui va, selon eux, se passer.

La présence du sucre donne à la situation un caractère inattendu, propice à la mobilisation des idées. Les réponses, dans une grande majorité, 19/23, prévoient que l'eau montera dans le verre :

- dans l'eau le sucre va fondre ;
- le sucre tombe en petits morceaux ;
- l'eau ira dans le pot et le sucre se détachera.

fuite du conflit
par les élèves

On réalise l'expérience, mais le fait *a priori* surprenant sur lequel l'enseignant espérait s'appuyer pour créer le conflit – l'eau ne monte effectivement pas dans le verre – est nié. Certains affirment voir monter l'eau, d'autres demandent de refaire l'expérience en enfonçant plus rapidement le verre, ou bien à l'inverse, plus lentement... L'argument de la non dissolution du sucre n'est pas pour eux une preuve pour montrer que l'eau ne monte pas ("*peut-être que l'eau monte à ras du sucre, sans le mouiller*"). La plupart affirment ne pas bien voir. Manifestement, la contradiction apportée par l'enseignant par l'intermédiaire de l'expérience n'est pas perçue comme telle : les élèves fuient le conflit cognitif, ils tiennent trop à leur représentation de départ et préfèrent mettre en doute le fait observé.

stratégie
d'évitement
de fuite
du conflit par
l'enseignant...

Face à cette situation, l'enseignant met au point une stratégie d'évitement de fuite du conflit : il entre dans le jeu des élèves et leur donne le droit au doute. "*C'est vrai on ne voit pas bien.*" Il les met alors au défi de trouver par eux-mêmes, en petits groupes, une expérience pour prouver que l'eau monte. Cette phase joue sur le mode de la dévolution du problème : l'imperfection de la situation qui n'est pas favorable au projet de l'enseignant est utilisée positivement pour enrôler les élèves. Sans perdre de vue le cap conceptuel fixé, l'enseignant permet une négociation entre son projet et les idées des enfants : il infléchit son projet en impliquant les élèves dans l'explicitation de leur arguments. Bien sûr, hélas pour eux, toutes les expériences qu'ils proposent (colorer l'eau, mettre un bouchon en liège comme flotteur, introduire un mouchoir en papier dans le verre..) vont à l'encontre de leur prévision (voir doc. 4). Cette réactivation du conflit amène les élèves à reconsidérer le problème et à accréditer le fait *a priori* inacceptable. Ils y sont d'autant plus disposés que ce sont eux qui ont conçu et réalisé les expériences pour le vérifier.

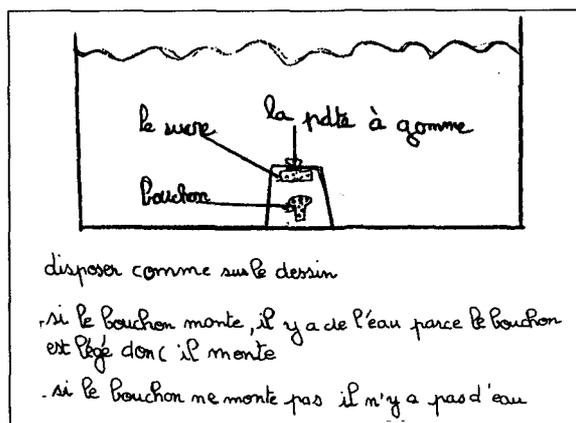
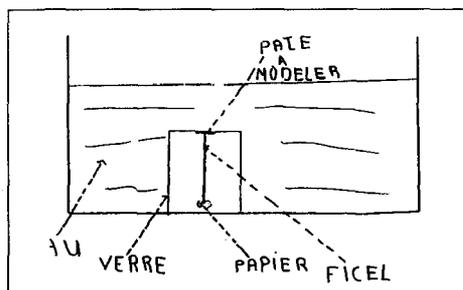
nouvelle
construction

Il faut bien admettre que ce "verre vide" contenait de l'air qui s'oppose à l'entrée de l'eau. Cette solution que les élèves formuleront individuellement par écrit dans des termes divers – "*parce qu'il y a de l'air dans le pot*", "*l'air met l'eau sur les côtés*", "*l'air forme un bouchon*" – est la seule alternative possible. Il a bien fallu se rendre à l'évidence !

On peut donc douter de la consistance de la nouvelle construction.

Le scénario de cette séance peut être découpé en actes, chacun jouant une fonction précise dans le traitement de l'obstacle.

Activités	Projet didactique de travail sur l'obstacle	Où en est l'obstacle ?
<ul style="list-style-type: none"> - Anticipation sur le résultat de l'expérience (écrit individuel) et prise de conscience des divergences (discussion collective). - Confrontation avec le fait observé (expérience réalisée par l'enseignant) et expression du doute. - Vérification du fait observé par expériences-tests proposées par les élèves. - Recherche d'explication (individuelle). 	<ul style="list-style-type: none"> - Engendrer un conflit. - Éviter l'évitement du conflit. Dévolution et investissement affectif des élèves. - Faire prendre en charge le problème par les élèves et activer le conflit par explication du second terme de la contradiction. - Construire une nouvelle représentation. 	<ul style="list-style-type: none"> - Non conscience de l'existence de l'air dans la situation présentée. - Fissuration de l'obstacle et nouvelle construction.



Document 4. Propositions d'élèves pour prouver que l'eau monte ou non dans le verre

3.2. Faire monter l'eau/ C'est bien l'air qui empêche l'eau de monter !

Pour faire fonctionner la nouvelle idée, l'enseignant demande de proposer, par écrit et en groupe, des moyens pour faire entrer l'eau dans le gobelet (celui-ci étant toujours maintenu verticalement dans l'eau, l'ouverture vers le bas) (voir doc. 5).

Les résultats de chaque groupe sont communiqués à toute la classe au moyen de posters. Chaque groupe propose plusieurs solutions, dont faire des trous. Seul le groupe dont un des éléments avait prévu et expliqué, en faisant intervenir l'air, que l'eau ne monterait pas, propose un dispositif pour aspirer l'air. Un groupe propose de faire un trou sur une partie non immergée. L'explicitation de cette proposition par le groupe, à la demande de l'enseignant, déclenche une très vive réaction et relance le précédent conflit : *"Ça ne marchera pas, l'eau ne pourra pas entrer : quand un bateau est percé l'eau rentre, mais il faut que le trou soit dans l'eau, autrement ça ne fait rien."* Ils semblent penser que c'est seulement la paroi du verre qui empêche l'eau de rentrer et ne mobilisent plus l'idée formulée à la fin de la séance précédente. Ils n'attribuent pas à l'air assez d'existence pour s'opposer à l'eau.

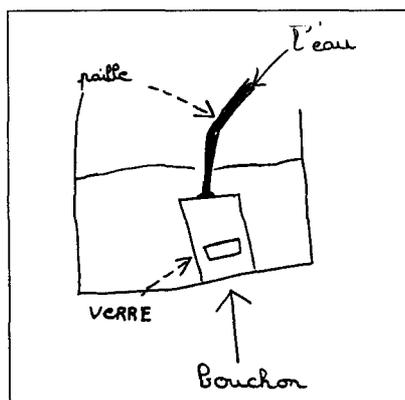
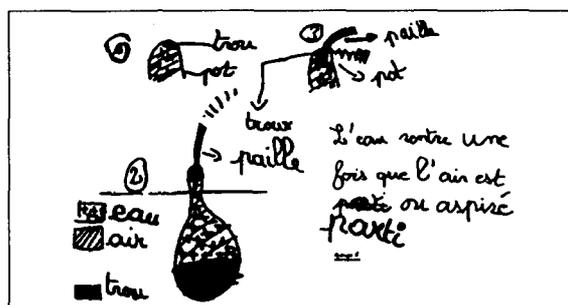
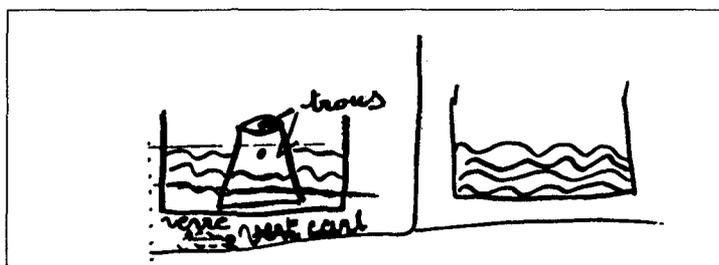
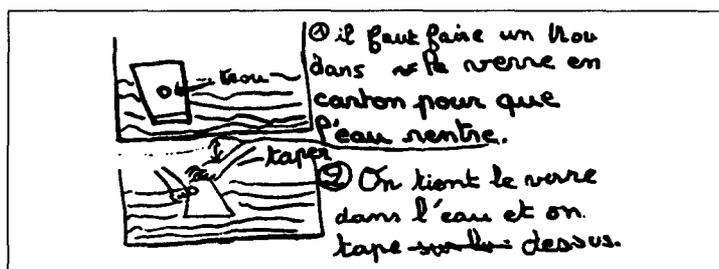
renforcer
la nouvelle
construction
en situation
de résolution
de problème

Après un vif débat, c'est l'expérience qui départagera les enfants. Leur attention se focalisera sur la sortie de l'air par le trou, que celui-ci soit immergé ou pas. Certains se pencheront même sur le gobelet pour sentir avec leur joue l'air sortir. Un nouveau travail d'écrit individuel stabilise le nouveau paradigme : l'air existe et peut résister à quelque chose reconnu implicitement comme de la matière : l'eau.

utiliser l'écrit pour
créer un conflit
socio-cognitif

Sans l'utilisation de l'écrit avant expérimentation, la réussite de la tâche : "faire monter l'eau", aurait bien sûr été tout aussi satisfaisante, mais sans travail sur l'obstacle. L'écrit joue ici un rôle déterminant comme support pour fixer l'idée autour de laquelle s'engagera le débat scientifique. L'enseignant, guidé par l'objectif-obstacle, a improvisé ce débat dans l'instant et a ainsi permis de réactiver le conflit socio-cognitif.

Activités	Projet didactique de travail sur l'obstacle	Où en est l'obstacle ?
<ul style="list-style-type: none"> - Conception d'expériences pour faire monter l'eau (par écrit). - Confrontations des propositions - Débat. - Expérimentation. 	Réactiver le conflit socio-cognitif autour des avis divergents.	<ul style="list-style-type: none"> - Réapparition des représentations de départ. - Renforcement du nouveau paradigme.



Document 5. Propositions d'élèves pour faire monter l'eau dans le verre

**3.3. Le tube à patates/
L'air peut pousser de la matière solide !**

tous les élèves
n'en sont pas
au même stade

On présente aux élèves un tube transparent fermé aux deux extrémités par des bouchons de pomme de terre, et on leur demande, individuellement et par écrit, de prévoir ce qui va se passer lorsqu'on appuie sur l'un des bouchons. Seuls sept enfants évoquent dans leur explication la présence d'air entre les deux bouchons (doc. 6).

Certains, comme Aurore n'évoquent pas la présence de l'air. D'autres, comme Damien pensent que l'air subit l'action, mais n'a pas la capacité de mettre en mouvement un solide. Émilie est représentative de ceux pour qui l'air a la capacité de transmettre un mouvement.

les événements
imprévus
sont exploités
pour travailler
l'obstacle

La réalisation de la manipulation remporte évidemment un grand succès, mais c'est un aspect, là aussi imprévu, qui est exploité par l'enseignant pour travailler l'obstacle. Certains canons ne fonctionnent pas : les élèves sont invités à rechercher la cause de la panne et à résoudre le problème :

- *"Peut-être que la pomme de terre est trop petite et que l'air part sur le côté."*
- *"Peut-être qu'il y a un trou dans la pomme de terre."*
- *"Il n'y a peut-être pas assez d'air pour pousser."*

Certains refusent d'adhérer à l'idée commune qui est en train de se construire et s'étonnent par exemple que l'air sorte du tube pour aller vers la classe et pas l'inverse. Cette résistance est encore un signe d'évitement du conflit : ces élèves avancent cette idée en apparence saugrenue car ils perçoivent qu'elle est à la limite du réfutable par l'enseignant.

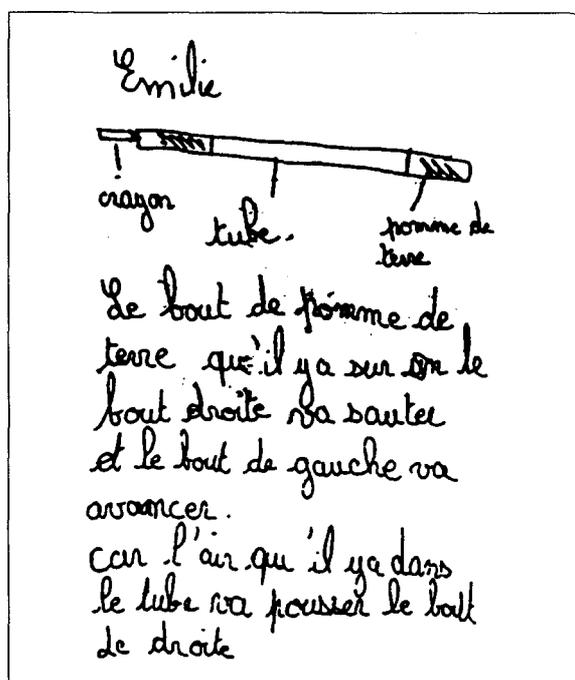
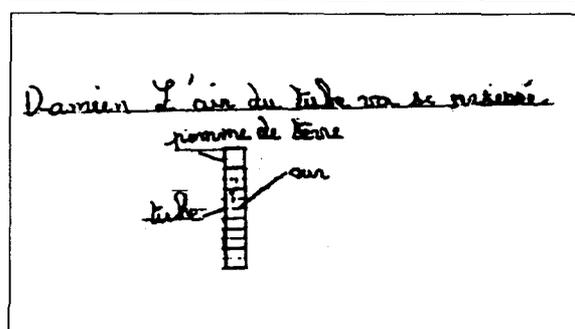
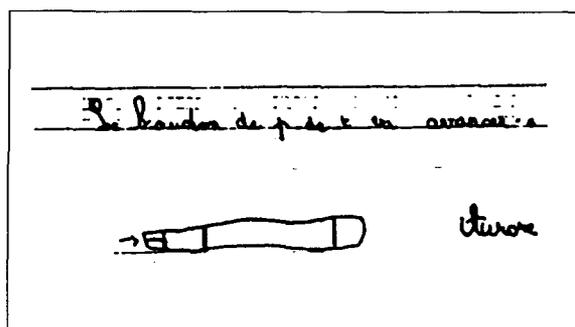
Enfin la nouvelle propriété – l'air peut pousser un solide – est discutée et généralisée à travers différentes situations pour lui faire acquérir le statut d'attribut du concept de matière.

Activités	Projet didactique de travail sur l'obstacle	Où en est l'obstacle ?
<ul style="list-style-type: none"> - Anticiper le résultat de l'expérience. - Expérimenter. Trouver la cause des pannes. - Donner une explication. - Généraliser. 	<p>Confronter les prévisions à la réalité et attribuer une nouvelle caractéristique à l'air</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fissuration de l'obstacle. - Nouvelle construction : " L'air peut pousser de la matière solide. "

3.4. L'air pèse !

fissuration
décisive
de l'obstacle

Le fait que l'air pèse sera un argument massue pour donner à l'air le statut de matière. Cette constatation arrive, d'une part après plusieurs phases de fissuration de l'obstacle qui ont déstabilisé les enfants, d'autre part, à un moment où les constructions nouvellement élaborées font s'interroger les enfants sur la nature de l'air.



Document 6. Prévisions d'élèves sur ce qui se passera quand on appuie sur un des bouchons de pomme de terre

intériorisation
du nouveau
modèle

Pour introduire ce problème, l'enseignant pose directement la question : *"est-ce que l'air pèse ?"*. Seuls deux sur 23 répondront affirmativement. La vérification expérimentale ne sera pas contestée, mais créera une franche surprise et des interrogations : *"mais alors, on en a lourd sur les épaules", "c'est bizarre qu'on ne le sente pas quand on bouge. Quand on saute dans l'eau de la piscine, on la sent, ça fait un plaqué..."*.

Une information complémentaire sera apportée par l'enseignant *"ce qui pèse s'appelle de la matière"*.

Activités	Projet didactique de travail sur l'obstacle	Où en est l'obstacle ?
- Interrogations sur la nature de l'air. - Question de l'enseignant <i>"est-ce que l'air pèse ?"</i> - Vérification expérimentale.	Utiliser un critère déterminant pour attribuer un caractère matériel à l'air.	- Fissuration décisive de l'obstacle. - Nouvelle construction : <i>l'air est pesant</i> .

3.5. L'air, qu'est-ce que c'est ?

structuration
des idées

L'interrogation des enfants sur la nature de l'air a été réactivée par l'activité précédente. Un élève dira *"oui mais l'air, c'est quoi ?"*, et une autre *"moi je crois que c'est un gaz solide"*... Cependant si l'air leur apparaît comme une matière bien surprenante, ils ne sont pas capables de définir spontanément ses caractéristiques. Un travail de réflexion est mené pour faire le point : *Que savons-nous sur l'air ? Comment le savons-nous ?* Cette activité de structuration permet de dépasser le fait expérimental, l'anecdotique, l'émotionnel, pour aller vers le conceptuel et déterminer les attributs du concept de matière dans le cas de l'air.

évaluation en
situation action
du franchissement
de l'obstacle

Pour évaluer les acquisitions, le maître demandera aux enfants de trouver une solution pour aller chercher une bouteille "d'air de la cour". Certes, les élèves jugeront la demande un peu saugrenue, mais proposeront tous des réponses satisfaisantes dont remplir la bouteille d'eau et la vider dans la cour... elle se remplira d'air de la cour.

Activités	Projet didactique de travail sur l'obstacle	Où en est l'obstacle ?
- Structuration des idées : + l'air pèse + l'air pousse l'eau + l'air se comprime, se tasse, pousse la pomme de terre. - Évaluation : aller chercher une bouteille d'air de la cour.	- Définir les attributs du concept de matière dans le cas de l'air. - Mettre à l'épreuve le nouveau paradigme.	- Vérification du franchissement de l'obstacle.

3.6. Comparer les propriétés de l'air à celles des solides et des liquides

Montrer que l'air a des propriétés communes aux solides et aux liquides est une des conditions de franchissement de l'obstacle (Piaget, 1971). La comparaison a commencé à se faire au cours des phases précédentes – l'air peut pousser un objet, l'air pèse, l'air occupe un volume, il peut être transvasé – mais elle demeure plus ou moins implicite. Pour l'exprimer clairement nous proposons aux enfants les deux problèmes suivants à résoudre :

- trouver toutes les solutions pour faire tourner un moulinet ;
- reprendre l'expérience de la pomme de terre en mettant autre chose que l'air entre les deux bouchons.

Au premier problème, les élèves proposeront diverses solutions : courir, souffler, le mettre au vent, faire couler de l'eau, faire tomber un stylo, le frotter par terre. Ils solutionneront le second en mettant de l'eau entre les deux bouchons de pomme de terre.

Là aussi, la manipulation seule n'est pas suffisante pour permettre un travail sur l'obstacle, si elle n'est suivie d'une phase de discussion, impliquant les élèves, pour mettre explicitement en relation les propriétés de l'air avec celles des solides et des liquides. L'enseignant pilote ce débat avec en tête son objectif-obstacle et invite les élèves à affiner leurs explications pour dégager le point commun.

La masse apparaît comme le critère déterminant pour définir la classe matière, mais la limite de cette classe reste floue. En effet, le franchissement de l'obstacle a demandé un tel effort aux enfants que ce qui a été reconstruit prend une valeur universelle. L'air devient le prototype de la matière et la nouvelle construction conforte un autre obstacle celui du substantialisme qui se manifeste quand ils sont prêts à tout considérer comme de la matière : *"alors tout est matière, les rêves, les sentiments, la lumière..., car comme l'air on ne peut pas les toucher"*. On retrouve là, le constat que faisait Piaget (1927) : les enfants de cet âge se servent de l'air pour expliquer la pensée, les rêves ou la mémoire. Il n'est donc pas étonnant que cette idée resurgisse ici. Mais, la démarche mise en place depuis le début a fait acquérir des compétences aux élèves qui leur permettent d'évacuer rapidement cette nouvelle idée : ils proposeront, et réaliseront une expérience pour *"voir si la lumière pèse"*(2)...

l'air devient le prototype de la matière

(2) Ils éclaireront fortement l'un des plateaux d'une balance dont le second est placé dans l'obscurité.

Activités	Projet didactique de travail sur l'obstacle	Où en est l'obstacle ?
- Recherche de divers moyens pour solutionner deux problèmes. - Discussion pour comparer les moyens trouvés. Trouver le point commun - Vérification expérimentale : la lumière est-elle de la matière ?	- Construire la classe matière pour consolider le franchissement de l'obstacle. Délimiter cette classe.	- Franchissement de l'obstacle. - Apparition d'un nouvel obstacle rapidement franchi sous sa forme locale.

fissuration ou franchissement, ça dépend des élèves...

Il est toujours difficile de qualifier une phase donnée de fissuration ou de franchissement. D'abord parce qu'on peut définir deux niveaux d'obstacle : un niveau d'existence, et un niveau de matérialité, ces deux niveaux n'ayant pas de valeur hiérarchique. Peut-être que l'existence est d'abord conçue comme matérielle, même si le concept de matière n'est pas totalement construit. Une même activité peut alors jouer comme phase de franchissement pour un niveau (existence) et fissuration pour un autre (nature matérielle). C'est le cas de l'activité "faire monter l'eau" ou encore "le tube à patates". Ensuite, parce que tous les élèves n'en sont pas au même stade. Pour les enfants qui prévoient que le bouchon de pomme de terre sera expulsé, il n'y a pas de conflit cognitif. Cette phase joue comme consolidation. Par contre, pour les autres, c'est bien une phase de fissuration de l'obstacle. Les élèves travaillent donc ensemble à des phases différentes du franchissement de l'obstacle.

4. DIFFICULTÉS DE GESTION D'UN DISPOSITIF FLEXIBLE

4.1. Variations sur un même scénario : étude de cas

Avec l'idée d'explorer la possibilité de reprise dans des classes différentes d'une même "invention didactique", celle décrite dans la "séquence du verre vide", des enseignants ont repris cette démarche en s'en tenant autant que possible au scénario initial. Nous analyserons deux cas de reprise de ce même scénario.

- **Cas n°1 : effet de leader non contrôlé**

Dans cette classe, les prévisions individuelles du résultat de l'expérience sont analogues à celles de la classe de référence : 4 élèves seulement sur 21 pensent que l'eau ne montera pas. Mais au cours de la phase de discussion, un élève, leader de la classe, propose cette réponse d'une manière argumentée. Celle-ci remporte l'adhésion d'un bon nombre d'élèves sans que leurs idées initiales soient réelle-

les élèves
adhèrent à l'idée
du leader
et fuient le conflit

ment remises en jeu et modifiées. Le conflit cognitif est ainsi occulté : certains élèves qui restent en désaccord ne s'expriment plus face au revirement de situation, d'autres, se réfugient vers une position confortable celle de l'avis de l'élève qui a peu de chance de se tromper. Cette explication faisant intervenir l'air, la phase de travail de groupe sur la montée ou non de l'eau est détournée vers un nouveau problème : l'air peut-il s'opposer à l'entrée de l'eau ? Le débat est vif et les élèves évoquent, à l'appui des idées qu'ils avancent, des situations variées (cloche des plongeurs, fusée à eau gonflée à l'air comprimé, lavage des verres...) où l'eau et l'air interviennent.

déphasage entre
le projet de
l'enseignant et le
projet des élèves

L'enseignant tout mobilisé qu'il est par l'idée de tenir son scénario n'a pas pris la mesure de ce déplacement et a proposé, comme c'était prévu, de réaliser des expériences pour mettre en évidence la montée ou non de l'eau. Cette proposition, qui reste dans le registre du perceptif, est déphasée par rapport au projet majoritairement exprimé par la classe, qui a basculé vers l'explicatif : il s'agit de comprendre le rôle de l'air. Il n'est pas étonnant de constater que les élèves résistent à l'invitation. Et on voit l'enseignant réajuster à plusieurs reprises la consigne de travail et invoquer le doute sur la réalité du fait surprenant, pour tenter d'entraîner, en vain, les élèves vers des procédures de vérification.

Heureusement pour le traitement de l'obstacle, cette phase fait malgré tout l'objet de vifs débats à l'intérieur des groupes sur la capacité de l'air à s'opposer à l'eau et permet aux élèves de progresser dans la connaissance de l'air. Pourtant elle modifie considérablement la dynamique escomptée par le scénario, du fait du déphasage entre le projet de l'enseignant et ce qui se passe effectivement dans la classe. De plus elle débouche sur une impasse et une partition de la classe : d'un côté les convaincus mais sans preuve expérimentale, de l'autre les irréductibles qui ne se sont pas rangés à la position du leader et continuent à penser que l'eau monte, totalement ou partiellement. Pour ces derniers l'expérience-test sera la preuve qu'ils avaient tort, alors que dans le dispositif de référence, elle fonctionnait comme un jeu, où bien sûr le risque de perdre n'était pas absent mais où personne n'était mis en position d'être disqualifié. Dans ces conditions, ce n'est pas étonnant si les élèves se démobilisent dès la deuxième séance, car ce dispositif "souple-dur" leur paraît décidément bien dur et difficilement infléchissable en fonction de leurs idées.

• **Cas n°2 : stratégie pédagogique hésitante par survalorisation de la construction conceptuelle**

Si dans le cas précédent, on aboutit à une démobilisation de la classe par déphasage entre le projet de l'enseignant et celui des élèves, dans celui-ci, la non mobilisation est due à l'absence de problème pour les élèves : la maîtresse de la classe, survalorisant la construction conceptuelle au détri-

ment d'une logique de conflit cognitif, doit faire des marches arrière pour tenir le déroulement du scénario prévu.

Après avoir demandé aux élèves d'exprimer individuellement et par écrit leurs prévisions, l'enseignant les écrit au tableau sous leur dictée : "le sucre ne tombe pas", "le sucre va fondre", "le sucre et la pâte à modeler vont tomber dans l'eau", "il va y avoir une bulle d'air et le sucre ne va pas fondre". On pourrait penser que son intention est de renforcer le conflit cognitif visé en donnant plus de poids aux idées initiales des élèves avant l'apport de la contradiction expérimentale, de façon à éviter qu'elles ne soient trop rapidement abandonnées, comme cela s'est produit dans l'exemple précédent. Cependant, la suite montre que son projet est orienté par la rectification des idées fausses. Elle réalise l'expérience sous les yeux des élèves, puis les invite à reconsidérer les prévisions émises et raye au fur et à mesure les propositions non conformes à la réalité. Cette stratégie de démonstration ne laisse bien sûr aucune place au doute et les élèves qui n'avaient pas prévu "la bonne réponse" (ils sont majoritaires) n'ont plus voix au chapitre.

confrontation
logique sans
investissement
des élèves

Le conflit existe, mais reste intra-personnel et ne peut s'exprimer car la solution a été institutionnalisée par l'enseignante. Pour tenir son scénario, la maîtresse est obligée de créer la contestation.

M - *Qu'est-ce que vous avez vu ?*

E - *Une bulle d'air.*

M - *Mais est-ce que l'eau monte ou ne monte pas ? Je refais l'expérience.*

E - *Il faut aller plus vite.*

E - *C'est un trucage, vous êtes magicienne...*

l'enseignant est
contraint à
suppléer à la
contradiction
manquante

Après cette phase où les élèves tentent malgré tout de mettre en question la réalité du phénomène surprenant, et commencent à s'investir, l'enseignante reprend les commandes :

M - *Alors tout le monde est d'accord maintenant ?*

Comme personne n'ose contester, elle ajoute : "Toi, tu n'as pas l'air d'accord. Alors vous allez essayer de trouver une expérience pour me prouver que l'eau monte ou pas."

Évidemment, le problème posé n'a maintenant plus de sens pour les enfants : pourquoi vérifier expérimentalement ce que la maîtresse a validé en l'écrivant au tableau ? À quoi bon se dévaloriser un peu plus en prouvant expérimentalement qu'on avait tort ? Ainsi, seul le groupe qui avait prévu que l'eau ne monterait pas propose des expériences.

démobilisation
des élèves

4.2. Difficultés de reprise d'un dispositif flexible

Ces exemples montrent à quel point le scénario en lui-même n'a pas d'efficacité garantie. Il ne joue son rôle que si toutes les décisions de l'enseignant concourent à créer un climat de construction collective de connaissances. La même histoire, la même succession des tâches correspond, dans la

séquence de référence et dans ces deux cas de reprise, à des faits didactiques différents (Brousseau, 1986), et les effets différent également.

être capable
de prendre
des décisions
sur le champ

Dans le premier cas, c'est l'objet du débat qui change au cours de la séance, sans que l'enseignant soit conscient du dérapage. Le scénario est centré sur le problème "*est-ce que l'eau monte ou pas dans le verre ?*" alors que les élèves débattent du problème "*l'air peut-il s'opposer à l'eau ?*". Face à cet événement, la prise de décision doit se faire sur le champ (Charlier, 1989). Elle nécessite, d'une part, que l'enseignant prenne conscience du dérapage, d'autre part, qu'il soit capable d'imaginer des réponses alternatives possibles et d'en évaluer les conséquences. Faire en sorte que le leader n'occupe pas le "devant de la scène" en minimisant son intervention pour permettre un investissement des autres sans stériliser le débat nécessite de sérieuses compétences dans la conduite de discussions. Infléchir le scénario et se centrer sur le deuxième problème aurait favorisé la dévolution, mais il faut être en mesure d'imaginer d'autres moyens pour faire ressurgir les idées-obstacles et les travailler dans ce nouveau contexte.

être capable
d'adapter le
mode d'activité
didactique en
fonction de
l'objectif fixé

Dans le deuxième cas, les interventions de l'enseignant sont tiraillées dans deux directions contradictoires : la logique de conflit cognitif, qui est le moteur sur lequel joue le scénario suivi par l'enseignant ; la logique de la construction conceptuelle par démonstration, qui est probablement son mode de fonctionnement habituel et qu'il adopte sans en avoir conscience et surtout sans se rendre compte qu'il annule la tentative de mise en jeu des idées propres des élèves.

Un point commun à ces deux cas : face à l'occultation du conflit les "*enseignants sont contraints à suppléer à la contradiction manquante*" (Dupin, Johsua, 1991). Cette stratégie ne se révèle pas efficace ici, car elle intervient trop tardivement, comme une solution pour sauver la suite du déroulement prévu. Ces enseignants sont peut-être trop convaincus du succès automatique du scénario qui leur a été présenté, de sorte qu'ils ne se l'approprient pas suffisamment. Or l'investissement personnel du professeur est certainement une des conditions indispensables pour que fonctionne la négociation didactique dans les dispositifs flexibles.

EN CONCLUSION

l'enseignement
des sciences
n'est pas une
course
d'obstacles

Ces situations d'enseignement, centrées sur le franchissement d'obstacles, ne représentent qu'un mode d'activités didactiques parmi beaucoup d'autres possibles dans le cadre de l'enseignement des sciences. C'est un choix à faire pour l'enseignant s'il estime nécessaire de traiter un *nœud de difficulté*. Ce traitement est certes délicat, mais il

des situations exigeantes

conduira l'élève à un progrès intellectuel décisif. On peut même faire le pari que cette transformation intellectuelle rendra bien plus faciles des acquisitions qui pourront se faire ensuite de manière plus classique.

Elles sont cependant exigeantes. Leur conception demande de maîtriser et de combiner des savoirs relevant de domaines différents, épistémologiques, psychologiques, sociologiques, didactiques, pour :

- analyser les caractéristiques de l'obstacle, et envisager les *conditions de possibilité* à créer pour que la représentation évolue, pour que l'obstacle soit franchi ;
- connaître les processus mentaux mis en œuvre par les élèves ;
- élaborer des stratégies pour déconstruire l'obstacle en mettant en jeu tous les élèves d'une classe ;
- planifier son action dans le temps.

le franchissement d'obstacle, un progrès intellectuel décisif pour l'élève

Leur gestion exige une bonne maîtrise de compétences pédagogiques : gérer le groupe classe, le travail en groupe, faire utiliser l'écrit et l'oral à bon escient, alterner les formes de travail, animer des débats scientifiques... Cette mise en œuvre est particulièrement délicate car elle mobilise des procédures qui sont habituellement antagonistes :

- objectif conceptuel et souplesse adaptative ;
- opposition par le conflit et coopération entre élèves ;
- déstabilisation et reconstruction conceptuelle.

apporter des outils, bien sûr

Bien sûr, ce ne sont pas des situations au quotidien, et elles méritent probablement un traitement particulier. Fournir aux enseignants des "aides didactiques" sous forme de scénario pédagogique faisant part de "l'invention didactique", et accompagné de différents outils informatifs et prescriptifs, semble une idée séduisante. Son efficacité est loin d'être garantie ! Si l'on se réfère aux deux cas que nous avons présentés, qui certes se situent dans un contexte particulier puisque les enseignants ont pour mission de tester la faisabilité du dispositif, nous constatons que les dérives sont nombreuses et que l'écart entre les intentions des concepteurs du scénario et l'usage qui en est effectivement fait, est grand. Alors, pour reprendre le questionnement de Brousseau (1986) ; "*le maître doit-il refaire chaque fois un texte autour d'un canevas comme dans la commedia dell'arte, ou doit-il s'en tenir à un texte bien éprouvé ?*" Ce qui semble acquis c'est que les enseignants "lisent" et "jouent" le "texte" avec leur propre *habitus* (Bourdieu, 1972) c'est-à-dire cette "*grammaire génératrice de nos pratiques*" (Perrenoud, 1996). Transformer l'*habitus* des enseignants c'est développer de nouvelles compétences professionnelles. Cette entreprise nécessite, non pas d'injecter des doses de savoir didactique, mais d'élaborer de véritables dispositifs de formation qui prennent en compte, eux aussi, les obstacles à la modification des pratiques des enseignants. Quels sont ces obstacles que rencontrent les enseignants en formation initiale et continue ? Sont-ils franchissables ? Quelles sont

mais l'occasion
de repenser
la formation
professionnelle

les stratégies de formation les plus efficaces à mettre en œuvre pour les franchir ? Quelle contribution peut avoir la formation générale des professeurs d'école (qui sont, comme le souligne Martinand (1995), des *spécialistes de l'éducation à l'école* et non des spécialistes des disciplines) au développement des compétences pour gérer de tels dispositifs ? À l'inverse, en quoi ce type de formation en didactique peut-il contribuer au développement de compétences générales ? Voilà bien des problèmes à résoudre pour les formateurs et didacticiens, si toutefois ils estiment que "le jeu en vaut la chandelle" ! Mais, tout comme le franchissement des obstacles par les élèves facilite la tâche pour les autres activités, on peut faire l'hypothèse que le franchissement de ces obstacles par les enseignants aiderait à leur formation. Essayer, c'est peut-être l'occasion de donner du relief à la formation des maîtres !...

Élisabeth PLÉ,
IUFM de Reims. Centre de Troyes.
Équipe sciences expérimentales
de l'INRP.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASTOLFI, J.-P. (1992). *L'école pour apprendre*. Paris : ESF.
- ASTOLFI, J.-P. & PETERFALVI, B. (1993). "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", in *Modèles pédagogiques 1*, Aster n° 16. Paris : INRP.
- AUMONT, B. & MESNIER, P.-M. (1992). *L'acte d'apprendre*. Paris : PUF.
- BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : PUF.
- BARTH, B.M. (1987). *L'apprentissage de l'abstraction*. Paris : Retz.
- BEDNARZ, N. & GARNIER, C. (dir.) (1989). *Construction des savoirs, obstacles et conflits*. Ottawa : Cirade, Ed. Agence d'Arc Inc.
- BOURDIEU, P. (1972). *Esquisse d'une théorie de la pratique*. Genève : Droz.
- BROUSSEAU, G. (1986). *Théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques*. Thèse de doctorat d'état, Université de Bordeaux 1.
- BRUNER, J. (1983). *Le développement de l'enfant : savoir faire, savoir dire*. Paris : PUF.

CHARLIER, E. (1989). *Planifier un cours c'est prendre des décisions*. Bruxelles : De Boeck.

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

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

DRÉVILLON, J. (1980). *Pratiques éducatives et développement de la pensée opératoire*. Paris : PUF.

FABRE, M. (1995). *Bachelard éducateur*. Paris : PUF.

GILLY, M. (1989). "À propos de la théorie du conflit socio-cognitif et des mécanismes psycho-sociaux des constructions cognitives : perspectives actuelles et modèles explicatifs", in N. Bednarz & C. Garnier, *Construction des savoirs, obstacles et conflits*. Ottawa : Cirade, Ed. Agence d'Arc Inc.

JOHSUA, S. (1989). "Les conditions d'évolution de conceptions d'élèves", in N. Bednarz, C. Garnier, *Construction des savoirs, obstacles et conflits*. Ottawa : Cirade, Ed. Agence d'Arc Inc.

JOHSUA, S. & DUPIN, J.-J. (1991). "Démarches de modélisation et interactions sociales en classe : un exemple en physique", in C. Garnier, N. Bednarz, I. Ulanovskaya, *Après Vygotski et Piaget*. Bruxelles : De Boeck.

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

MARTINAND, J.-L. (coord.) (1995). *Découverte de la matière et de la technique*. Paris : Hachette Éducation.

PERRENOUD, P. (1996). *Enseigner, agir dans l'urgence, décider dans l'incertitude*. Paris : ESF.

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

PETERFALVI, B. (coord.) (1992). *Recherche ROOSA, documents n° 1 et n° 2*. Paris : INRP (documents internes).

PETERFALVI, B. (1995). "Activités réflexives d'élèves en classe de sciences : des compétences méthodologiques au travail sur les obstacles", in A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg (Éds), *Actes des 17èmes Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la culture Scientifiques et Industrielles*. Université de Paris 7.

PIAGET, J. (1926/1993). *La représentation du monde chez l'enfant*, Paris : PUF, coll. Bibliothèque de philosophie contemporaine.

- PIAGET, J. (1967). *Le jugement et le raisonnement chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- PIAGET, J. & GARCIA, R. (1971). *Les explications causales*. Paris : PUF, coll. Études d'épistémologie génétique.
- PIAGET, J & INHELDER, B. (1978). *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- PLÉ, E. (1995). "Attaquer un obstacle par ses différentes faces à l'école primaire : l'air n'est pas de la matière", in A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg (Éds), *Actes des 17èmes Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la culture Scientifiques et Industrielles*. Université de Paris 7.
- PLÉ, E. (1995). "Objectif-Obstacle et gestion du conflit socio-cognitif : difficultés liées à la reprise d'un dispositif flexible", in *Actes du 5ème séminaire national de recherche en didactique de la physique*. Reims.
- SÉRÉ, M.-G. (1986). *Analyse des conceptions de l'état gazeux qu'ont les enfants de 11 et 13 ans, en liaison avec la notion de pression, et propositions de stratégies pédagogiques pour en faciliter l'évolution*. Thèse de doctorat d'état. Paris 6.
- VÉRIN, A. (1996). "Mettre par écrit ses idées pour les faire évoluer en sciences", in *Repères* n° 12. Paris : INRP.
- VYGOTSKI, L. (1934/1985). *Pensée et langage*. Éditions sociales.

XX^{es} Journées Internationales sur la Communication,
l'Éducation et la Culture Scientifiques et Industrielles

Chamonix, 23-27 mars 1998

FORMATION
À LA MÉDIATION ET À L'ENSEIGNEMENT :
enjeux, pratiques, acteurs

La médiation et l'enseignement des sciences et des techniques exigent une double compétence : en sciences et techniques, et en communication et éducation. C'est pourquoi la formation aux métiers de la médiation et de l'enseignement présente des caractères spécifiques qui prennent d'autant plus de relief que ces métiers participent d'un mouvement général de diversification des disciplines, des médias, des organisations, ainsi que de technicisation et professionnalisation. En même temps, l'élargissement et la différenciation des publics, la technicité croissante du travail et des activités domestiques, civiques ou de loisirs, les rythmes, les risques mais aussi les possibilités qui marquent les mutations techniques, culturelles et sociales, imposent de se former et de s'informer tout au long de la vie. Enseignants et médiateurs doivent donc faire face à des demandes de plus en plus lourdes de formation initiale et continue, de diffusion et de développement, conjuguées à des réticences et même des refus pour des formes et des contenus qui paraissent pourtant pertinents et légitimes. Eux aussi doivent changer.

- *Comment penser des modèles de formation et de développement qui répondent aux besoins, aux demandes, aux publics, aux ressources ?*
- *Comment aider ou orienter, outiller les formateurs pour concevoir et mettre en œuvre les formations dans leurs rapports à la pratique, aux normes, aux valeurs, à la théorie ?*
- *Quels sont les conditions et les conséquences, les avantages, et les dangers d'une formation à la médiation et à l'enseignement qui devient elle-même métier ?*
- *Quels sont les apports récents des recherches à la formation et quelles recherches sur la formation pour la formation faut-il développer : investigations empiriques, actions-recherches, élaborations théoriques ?*

Sur ces interrogations, sur ce qui se fait déjà dans les établissements, dans les entreprises, les associations et les collectivités, nous souhaitons rassembler un ensemble de communications et de productions issues d'expériences pratiques, de recherches empiriques et de réflexions afin d'alimenter une confrontation ouverte et informée entre praticiens de l'enseignement et de la médiation, chercheurs, décideurs et formateurs à différents niveaux et dans différents lieux.

Informations complémentaires et inscriptions :

D. RAICHVARG,
G.H.D.S.O., Bât 407
Université Paris Sud
F - 91405 ORSAY cedex

Tél : 01 69 15 78 25 - Fax : 01 69 85 54 93 - Int. 33 1 69 15 78 25