

4^{es} rencontres de l'ARDIST

10-15 octobre 2005

didactique des sciences et des techniques
contributions

Le comité d'organisation

Catherine Bruguière (LIRDHIST)
Pierre Clément (LIRDHIST)
Jean-François Le Maréchal (UMR-ICAR)
Karine Robinault (UMR-ICAR)
Naoum Salamé (INRP)
Éric Sanchez (INRP)

Le comité scientifique

Présidents

Andrée Tiberghien (UMR -ICAR)
Bernard Tribollet (LIRDHIST)

Membres

Jean-Pierre Astolfi, Bernard Darley, Alain Dumon,
Jean-Michel Dusseau, Jacques Ginestié,
Wanda Kaminski, Claudine Larcher,
Joël Lebeaume, Martine Méheut, Pierre Savaton,
Patricia Schneeberger, Laurence Simonneaux,
Jacques Toussaint

Le comité d'organisation et le comité scientifique remercient toutes les personnes et les institutions qui ont permis la réalisation de cet ouvrage ainsi que la tenue des 4^{es} rencontres de l'ARDIST. Il remercie tout particulièrement le personnel administratif et technique l'INRP, ainsi que les étudiants des universités Lyon 1 et Lyon 2 qui ont œuvré pour le bon déroulement de ces rencontres.

4^{es} rencontres de l'ARDIST

Avec le concours

de l'**UMR ICAR** (Unité mixte de recherche « Interactions, corpus, apprentissages, représentations », CNRS - ENS-LSH - ENS Lyon - université Lyon 2 - INRP - université Montpellier 3)

et de l'**équipe LIRDHIST** (« Laboratoire interdisciplinaire de recherche en didactique et en histoire des sciences et techniques », université Lyon 1).

**4^{es} rencontres
de l'ARDIST
10-15 octobre 2005**

didactique des sciences et des techniques
contributions

ASSOCIATION POUR LA RECHERCHE
EN DIDACTIQUE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES
INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE PÉDAGOGIQUE

© INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE PÉDAGOGIQUE, 2005
Réf. BD139 • ISBN 2-7342-1015-0

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes des paragraphes 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies et reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, sous réserve de mention du nom de l'auteur et de la source, que « les analyses et les courtes citations justifiées par le caractère critique, polémique, pédagogique, scientifique ou d'information », « toute représentation ou reproduction totale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (article L. 122-4). Une telle représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

De l'étude des interactions parents-enfants dans un contexte muséal scientifique à une proposition d'intervention innovante auprès des parents

AILINCAI Rodica, doctorante, Laboratoire Education & Apprentissages, Université Paris 5
WEIL-BARAIS Annick, Professeur, Université d'Angers
CAILLOT Michel, Professeur, Laboratoire Education & Apprentissages, Université Paris 5

Contexte et questions de recherche

Concernant les apprentissages des jeunes enfants, plusieurs travaux ont souligné l'importance des interactions qui s'établissent entre les parents et les enfants, notamment dans l'approche des objets techniques (François et Weil-Barais, 2003 ; Pourtois, 1979). C'est pourquoi une institution muséale comme la *Cité des sciences et de l'industrie*, à Paris qui comporte une exposition spécifiquement destinée aux jeunes enfants (*la Cité des enfants*, conçue selon un modèle d'environnement interactif) a suscité plusieurs études. Celles-ci ont analysé les conduites des enfants à l'égard des dispositifs, seuls ou accompagnés d'un adulte (Piani et Weil-Barais, 1993 ; Piani et Weil-Barais, 1995 ; Guichard, 1998 ; Cité des Sciences et de l'Industrie, 1995). Les résultats ont montré que l'enfant qui est livré à lui-même, sans un adulte à ses côtés peut s'amuser avec le dispositif y exerçant une action pendant un court instant, sans y passer le temps nécessaire à la compréhension de son fonctionnement. Les enfants qui prennent le temps d'observer sont ceux qui sont en interaction avec l'adulte. Ces études ont confirmé que, dans ce cas, les activités sont plus durables, moins stéréotypées, plus exploratoires et qu'elles conduisent à plus d'apprentissage. Cependant les études montrent que les interventions pratiquées par les parents ne sont pas toujours les plus pertinentes pour accompagner l'enfant dans la découverte et la compréhension des dispositifs muséologiques.

Partant des constats établis par les études antérieures, nous avons tenté de réaliser une typologie des modes d'intervention des parents sur la base de leur adaptation au contexte des activités et aux conduites des enfants. Nous avons privilégié l'exposition destinée aux jeunes enfants âgés de 3 à 5 ans, dans la mesure où c'est pour les plus jeunes enfants que le rôle des parents semble le plus déterminant. L'enjeu de l'étude est de cerner les interventions des parents qui permettent aux enfants de mieux explorer les dispositifs de la Cité des enfants. Dans un deuxième temps, nous avons conçu un projet visant à sensibiliser les parents à l'importance de leur rôle auprès des enfants. La sensibilisation des parents se fait à l'occasion d'une séance de discussion intervenant à l'issue du visionnement de films mettant en scène un parent avec son enfant. De fait, des scénarii ont été conçus et joués par la même dyade adulte-enfant (de façon à contrôler les projections liées aux caractéristiques physiques des personnes), sur la base des types d'interactions repérées dans la première partie de l'étude. L'enjeu est de les amener à prendre conscience du lien entre la manière dont le parent intervient et la conduite de l'enfant. On attend de cette prise de conscience le déclenchement d'un processus de changement dans les conduites personnelles, dans le sens d'une meilleure adaptation aux besoins de l'enfant. L'ensemble de la recherche comprend deux phases : la recherche d'une typologie des styles interactifs et, dans un deuxième temps, la sensibilisation des parents à leur rôle de tuteur lors d'un visite de découverte.

Typologie des modes d'intervention des parents dans l'exposition

Méthodologie

Pour identifier des styles interactifs, 110 dyades parent-enfant ont été filmées. Trois dispositifs muséologiques ont été sélectionnés « Orienter l'eau », « Le mur d'engrenages » et « A qui est ce squelette ». Ces dispositifs sollicitent des activités de résolution de problèmes et des démarches de test d'hypothèses par la manipulation et/ou l'observation. Plusieurs critères ont été utilisés pour constituer le corpus retenu pour l'analyse. Ils sont énumérés ci-après.

- L'activité a lieu au cours des séances à fréquentation moyenne (entre 80 et 150 personnes) et au moment de la journée où l'enfant est le moins fatigué - le matin à la première séance ou en fin d'après midi.
- L'âge de l'enfant : 4 ans, ± 3 mois. Plusieurs études ont en effet montré que l'étayage maternel des activités symboliques varie selon l'âge des enfants, la distanciation du discours parental étant sensible à l'âge (Tamis-LeMonda et Bornstein, 1991 ; Labrell, Bergonnier-Dupuy et Deleau, 1999 ; Danis, Forgeot et Wallet, 2003).
- Les familles parlent le français (pour accéder aux consignes, et avoir des références culturelles semblables).
- Par ailleurs, n'ont été retenues que les interactions dépassant 45 secondes ; en dessous de 45 secondes, en effet, les échanges étaient peu nombreux, voire inexistantes.

Etant donné la nature des observations, opaques, le contexte n'a pas été pris en compte : enfant triste, malade, fatigué, agité, relation momentanée avec la mère – punition, récompense, etc. Cela aurait nécessité un entretien pré ou post-enregistrement.

Nous avons filmé sur une période de cinq mois : de décembre 2000 à avril 2001. Selon les critères définis préalablement, nous avons sélectionné 60 interactions (20 films par dispositifs). Pour chaque dispositif, dix films concernent des visiteurs venant pour la première fois voir l'exposition, et dix films des visiteurs déjà venus.

Analyse globale des interactions parents - enfants

Une analyse de la structure des échanges montre que la plupart d'entre eux sont tronqués : les questions formulées par les parents restent sans réponse verbale et les actions des enfants ne sont pas reliées aux interventions de l'adulte (cf. Extrait 1). Ce type de fonctionnement déclenche le plus souvent une attitude directive chez le parent.

Extrait 1: exemple d'échange tronqué

Parent : « Donc, on doit diriger l'eau pour que le moulin bleu tourne »

Enfant : L'enfant, de l'autre côté du jeu, fait tourner le moulin rouge à la main.

Parent : « Regarde, si tu la fais passer par là... » (En se préoccupant du moulin bleu)

Enfant : L'enfant actionne la manette pour faire fonctionner le moulin rouge.

Dans le but d'examiner les interventions des parents qui favorisent l'échange, nous avons centré l'analyse sur les interventions des parents et les conduites que celles-ci déclenchent chez l'enfant. L'analyse des interventions verbales des parents s'est faite en utilisant un système de catégorisation inspiré de Piani et Weil-Barais (1993) (cf. Tableau 1).

Demande d'explication : - globale (DEg) : « Alors, pourquoi ces moulins tournent ? » (dispositif « Orienter l'eau »). - détaillée (DEd) : « Pourquoi là celle-la ne tourne pas ? » (dispositif « Le mur d'engrenages »). Demande de description : - globale (DDg) « Qu'est-ce qu'il faut faire ? », (dispositif « A qui est ce squelette »). - détaillée (DDd) « Elle tourne dans quel sens la rouge ? » (dispositif « Le mur d'engrenages »). Demande d'action : - globale (DAg) « Regarde ! Regarde les animaux, ils ont un squelette » (dispositif « A qui est ce squelette »). - détaillée (DAd) « Tire la manette » (dispositif « Orienter l'eau »).	Apport d'explication : - globale (AEg) : « Si tu mets le doigt dedans et tu tournes, tout va bouger et tu vas faire marcher le petit vélo du bonhomme » (« Le mur d'engrenages »). - détaillée (AEd) : « Il ne tourne pas parce qu'il n'a pas d'eau » (dispositif « Orienter l'eau »). Proposition de description : - globale (PDg) : « Ça passe par le chemin des moulins bleus » (dispositif « Orienter l'eau »). - détaillée (PDd) : « Les petites tournent plus vite », (dispositif « Le mur d'engrenages »). Exécution d'une action - globale (EAg) : « La mère regarde à l'intérieur, elle fait tourner le cylindre » (« A qui est ce squelette »). - détaillée (EAd) : « Le parent agit sur la manette pour laisser passer l'eau » (« Orienter l'eau »).
--	--

Tableau 1 : Catégories d'interventions

Le graphique présenté dans la Figure 1 fournit le nombre d'interventions de ces différentes catégories. Les échanges concernant les parents et les enfants âgés de 4 ans se caractérisent par une forte présence de conduites non verbales de la part de ces derniers (les colonnes hachurées).

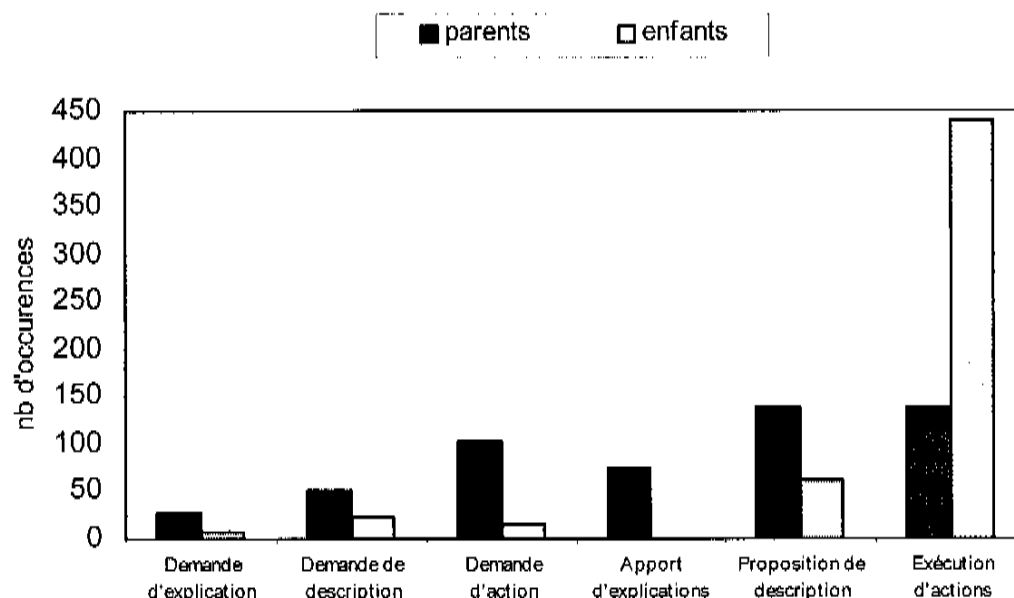


Figure 1 : interventions des parents et des enfants selon la catégorie d'intervention

Les demandes émanent surtout des accompagnateurs. A ces demandes les enfants répondent le plus souvent en exécutant plusieurs actions. Le nombre important d'interventions non-verbales se justifie aussi par les actions isolées, à l'initiative des enfants. L'efficacité d'un type d'intervention est évaluée par le niveau d'intérêt de l'enfant, le temps passé sur le

dispositif, et/ou la compréhension de ce dispositif reflétée par le nombre d'étapes résolues. Les modes d'intervention des parents sont assimilables à du tutorat : le parent tente de diriger l'intérêt et les actions des enfants et assurent un contrôle de ce qu'il fait.

Notre analyse a apporté des éléments complémentaires, selon le nombre des visites et selon le dispositif exploré :

a) Les interventions des parents selon la visite

Les accompagnateurs en première visite apportent deux fois plus d'informations et demandent deux fois plus la réalisation d'actions que lorsqu'ils sont déjà venus à l'exposition. De même, la demande d'actions et les propositions de descriptions des parents en première visite sont plus importantes qu'en seconde visite (36% et 21%). Ces résultats suggèrent que les parents tendent à s'effacer pour laisser l'enfant explorer de manière autonome les dispositifs, dès lors qu'ils sont déjà venus sur l'exposition.

b) Les interventions selon le dispositif

La comparaison des interventions par dispositif montre que les parents formulent plus de demandes (24%) et les enfants fournissent plus d'actions (31%) quand il s'agit d'éléments nécessitant de nombreuses manipulations (« Orienter l'eau », « Le mur d'engrenages »). Ces résultats peuvent d'abord s'expliquer par l'accessibilité de ces dispositifs. Les parents peuvent poser plus de questions aux enfants face à un élément pouvant être manipulé. A l'inverse, les descriptions faites par les enfants face au dispositif d'observation (« A qui est ce squelette »), et le nombre réduit des questions pourrait provenir de leur incapacité à accéder directement au fonctionnement de celui-ci. La qualité de la médiation dégagée par les dispositifs eux-mêmes serait ainsi en cause. Autrement dit, un des dispositifs est meilleur médiateur technique que l'autre : il s'agit du dispositif incitant à la manipulation, « Orienter l'eau ». Et ceci influence l'interaction parent-enfant.

Les styles interactifs

A partir des analyses des interventions des parents et des conduites que celles-ci ont déclenché chez l'enfant, nous avons défini quatre modes de fonctionnement interactionnel :

Style interactif directif : le parent impose la façon de procéder, livre une connaissance, précise la procédure à suivre et se préoccupe de la réussite de l'enfant ainsi que de l'attention que l'enfant porte à l'activité.

Cette catégorie regroupe :

Les parents qui décrivent à l'enfant le dispositif, sans lui expliquer le fonctionnement. Ce type d'interaction correspond souvent à la catégorie des parents qui considèrent avoir un rôle de "guide" tout au long de la visite (ce style correspond à 36% des dyades observées).

Les parents qui agissent à la place de l'enfant. Ce type d'interaction correspond davantage à la catégorie des parents pour lesquels visiter l'exposition consiste à "tout faire" ou "tout faire faire aux enfants" (24%)

Les parents qui commandent des actions détaillées. Ce type d'intervention déclenche la réalisation d'actions isolées de la part de l'enfant, sans permettre, ni la mise en relation entre l'action et les effets de cette action, ni le questionnement de l'enfant (15%).

Style interactif suggestif : le parent questionne l'enfant sur les actions à faire, l'incite à faire des liens, à produire des explications. Il rend l'enfant actif, reformule ses questions, précise le niveau de réussite, demande l'avis de l'enfant, demande à être conseillé, aidé. Ce style représente 10% des dyades observées.

Style interactif autonomisant : le parent laisse l'enfant découvrir, il le soutient dans ses essais successifs favorisant ainsi l'apprentissage par essai-erreur. Il observe tout simplement l'enfant

occupé à une tâche, sa présence à côté de lui étant une évaluation implicite, dont le caractère positif émane de l'autorisation accordée à l'enfant de pouvoir poursuivre son activité. Ce style représente 10% des dyades observées.

Style de fonctionnement disjoint : caractéristique d'une approche individualiste, l'adulte et l'enfant ont chacun leur propre mode d'intervention en le conservant. Ce style représente 5% des dyades observées.

Conclusion de la première étude

D'après les analyses, certaines interventions s'avèrent efficaces : elles appartiennent au style suggestif et au style autonome et consistent à inciter l'enfant à la manipulation pour le faire découvrir des relations causales et lui permettre de décrire les dispositifs, lui donner des explications, lui poser des questions, l'inciter à verbaliser. On relèvera que l'efficacité d'une intervention est relative au contexte de l'activité et à l'enfant lui-même. D'autres interventions nous paraissent moins efficaces dans le contexte présenté. Elles sont caractéristiques du premier style interactif, le plus fréquemment rencontré. La prépondérance de ce style peut s'expliquer par le désir des parents de voir l'enfant réussir dès son arrivée sur l'exposition. Elle peut également s'expliquer par leur souci de faire manipuler un maximum de dispositifs à l'enfant au cours de sa visite. Ces attitudes n'autorisent ni le tâtonnement ni le temps de la réflexion chez l'enfant.

Quand on compare la répartition des styles interactifs selon le type de visite (première visite / seconde visite), on observe des différences :

- les parents formulent plus de demandes qui incitent l'enfant à la découverte et à la réflexion (la catégorie « ils posent des questions » passe de 7% à 14%) ;
- ils favorisent d'avantage l'autonomie des enfants dans la découverte des dispositifs (de 8% à 12%).

Bien que les différences soient faibles, elles nous conduisent à formuler l'hypothèse que les parents revenant sur l'exposition pourraient être de meilleurs tuteurs que les parents venant pour la première fois. Ainsi, la connaissance du fonctionnement des dispositifs et parfois l'appropriation des conseils contenus dans des documents concernant l'exposition, leur permettraient d'avoir des conduites d'accompagnement plus adaptées aux besoins des enfants. Partant de cette hypothèse, nous proposons un dispositif de sensibilisation au cours duquel les parents sont incités à être attentifs aux relations entre les interventions de l'adulte et les conduites de l'enfant.

Sensibilisation du parent à son rôle éducatif dans le cadre d'un musée

Dans le domaine de l'éducation parentale, les chercheurs s'accordent à considérer que le métier de parent ne s'apprend nulle part, même pas dans les cours concernant la vie familiale et le développement de l'enfant. Ces cours sont souvent jugés dérisoires et parfois dévalorisés parce qu'ils sont considérés comme avant tout pratiques. Toutefois, des formations parentales de qualité peuvent se développer. Pourtois (1979) propose ainsi un modèle de formation parentale comprenant trois phases :

- une phase de conscientisation des parents
- une phase de participation (cette phase relève de l'information active : comment les parents éduquent leurs enfants ?),
- une phase de coopération (les parents sont invités à rechercher dans leur milieu de vie des activités éducatives qu'ils estiment particulièrement enrichissantes).

Le modèle d'intervention auprès des parents dans un cadre muséal : film et débat

Pour notre part, nous proposons un modèle constitué d'un film construit sur la base de scénarii inspirés des styles interactionnels que nous avons repérés dans la première étude, suivi d'un débat au cours duquel les parents sont amenés à adopter une position descriptive et critique par rapport aux situations interactives présentées. Le débat est organisé selon trois axes :

- la différenciation des types d'interventions : après avoir visionné le film de manière spontanée, différencient-ils les différentes interventions et si oui, de quelle manière ?
- l'identification des parents par rapport aux différentes interventions : comment s'identifient-ils par rapport au film ? Où se situent-ils ? Nous attendons une position réactive, critique par rapport aux types de fonctionnements qui leur sont montrés.
- l'évaluation : les participants pensent-ils qu'il existe de meilleures manières d'interagir avec l'enfant que d'autres ?

Pour aider les parents à identifier les interventions les plus efficaces, les discussions sont orientées par la prise en compte des conduites des enfants (leurs actions, leurs verbalisations, le temps passé sur un dispositif).

Présentation du film et choix des scénarii

Le film présente deux situations d'interactions inspirées de l'analyse des pratiques effectives des parents. Les deux contextes interactionnels présentés dans le film sont interprétés par les deux mêmes acteurs, un adulte et un enfant, afin de centrer l'attention des participants sur les actions de ces acteurs et non sur des aspects personnels. Nous proposons également une unité de lieu, le dispositif « Orienter l'eau », les différents dispositifs ne se prêtant pas tous aux mêmes démarches d'exploration.

Premier scénario

Le parent incite l'enfant à rechercher des relations causales en formulant des demandes qui incitent à la réflexion. Le parent fait verbaliser l'enfant.

Résultat : l'enfant oriente l'eau en vue de faire tourner un moulin particulier. L'objectif de la manipulation est atteint. Ils ont passé deux minutes sur le dispositif.

Deuxième scénario

Le parent montre à l'enfant comment il faut faire. C'est plutôt le parent qui joue. Ce scénario correspond à la catégorie des parents qui considèrent qu'il faut « tout faire » ou « tout faire faire aux enfants » ; d'où le nombre important des demandes de réalisations d'actions détaillées.

Résultat : L'enfant regarde, il réessaie une fois et ensuite il abandonne. Environ 45 secondes sur le dispositif ; c'est plutôt le parent qui a manipulé.

Les deux scénarios présentés ont été sélectionnés parmi cinq films reflétant l'ensemble des styles interactionnels préalablement repérés. Ce choix est basé sur l'évaluation des films, réalisée auprès des trois catégories de public : des étudiants en psychologie (sensibilisés aux interactions adultes-enfants), des parents et des médiateurs scientifiques pour enfants. L'évaluation a été réalisée dans le but d'anticiper l'impact des films sur les parents et de sélectionner les scénarios les plus suggestifs, incitant au débat. Concernant l'évaluation auprès des parents, les cinq films ont été présentés en accès libre, sur deux ordinateurs situés dans l'exposition, le chercheur étant à côté. Les étudiants et les médiateurs scientifiques ont été regroupés soit en amphithéâtre soit dans une salle, les films étant projetés successivement sur un écran mural. Le questionnaire présenté aux participants concernait deux aspects : la perception des conduites du parent (les répondants étaient invités à se prononcer sur la fréquence de différentes conduites du parent) et le jugement des conduites du parent en termes d'importance pour l'enfant. Nous avons sélectionné les films pour lesquels il y avait

« consensus » entre les groupes d'évaluateurs. A titre d'illustration, nous fournissons un exemple d'analyse concernant le deuxième film (cf. Figure 2).

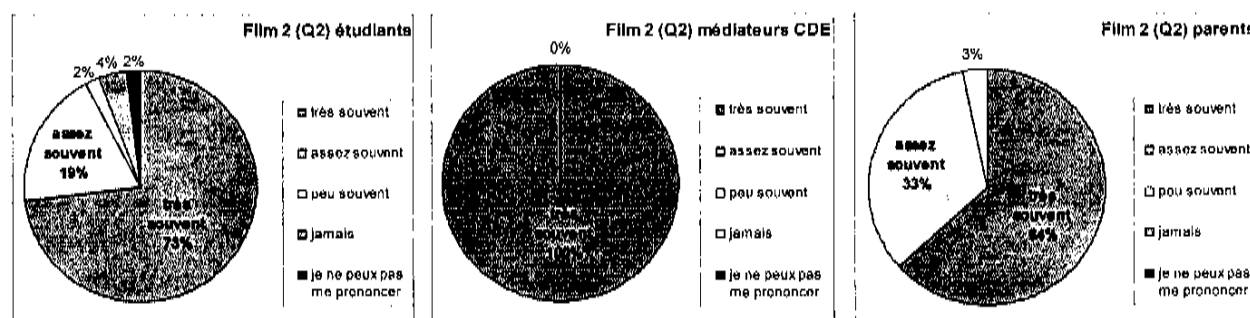


Figure 2 : Réponse donnée à l'item « le parent agit à la place de l'enfant »

En considérant les catégories « très souvent » et « assez souvent » comme très proches, nous observons un consensus de : 92%, 100%, 100%. Pour les films éliminés, les réponses varient d'une catégorie de public à l'autre, avec parfois de fortes oppositions. Comme il s'agit de favoriser la confrontation entre les styles interactifs et non pas de susciter des confrontations interpersonnelles, nous avons choisi les deux films dans lesquels il existait le plus fort consensus quant à la perception des conduites des parents et aux jugements externes.

Evaluation de la séance de sensibilisation des parents et prévisions

L'évaluation du dispositif de sensibilisation parentale est actuellement en cours. Elle porte sur 28 interactions enregistrées sur différents dispositifs muséologiques ; ces interactions concernent 7 dyades enregistrées avant et après la séquence de sensibilisation. Les interactions sont analysées en s'appuyant sur les travaux en pragmatique (Kerbat-Orecchioni, 1998). Un style interactif général des parents a été défini sur la base du pattern d'actes qui constituent l'interaction. C'est sur cette base que les changements de conduites des parents, volontaires pour participer à l'étude, sont analysés. On examine si les modifications éventuelles des conduites de tutelle des parents ont une incidence sur les conduites des enfants. Par ailleurs, des entretiens avant et après la séance de sensibilisation permettent de déterminer les conceptions des parents concernant l'importance de leur rôle auprès des enfants. Ils permettent également d'établir s'il y a cohérence entre "dire et faire", entre leurs conceptions et leurs pratiques. L'importance des modifications observées sera évaluée par rapport aux différences de conduites observées entre une première et une seconde visite.

On relèvera que nos propositions d'interventions auprès des parents rejoignent celles de Pourtois (1979), en ce sens qu'elles ne reposent pas sur des conceptions normatives. L'enjeu éducatif relève de la prise de conscience de la part des parents de la manière dont ils se conduisent auprès de leur enfant et d'une attention aux conduites de l'enfant en relation avec leur mode d'intervention. Dans notre dispositif, ces prises de conscience sont supposées émerger de la discussion entre parents, à propos de séquences d'interactions filmées où ils ne sont pas directement impliqués. On attend de cette prise de conscience le déclenchement d'un processus de changement dans les conduites personnelles, dans le sens d'une meilleure adaptation aux besoins de l'enfant. L'enjeu de l'évaluation est d'en apporter la preuve. Dans un cadre muséologique, l'outil que nous avons construit permet aux parents de ne pas se sentir interpellés directement. Leur implication dans l'analyse des conduites d'acteurs jouant

le rôle du parent et de l'enfant relève de leur libre choix, tout comme leur engagement dans l'exploration de tout élément muséologique présent dans l'exposition.

Cette séance expérimentale pourrait être envisagée par la suite sous la forme d'un séminaire destiné aux parents, et animé par les médiateurs scientifiques de la Cité des enfants. Le séminaire pourrait avoir lieu tous les dimanches matin. La participation au séminaire se ferait avant ou après visite et concernerait surtout les parents susceptibles de confier leur(s) enfant(s) à un autre accompagnateur. L'installation dans l'exposition de bornes vidéo regroupées dans un îlot « coin parents », pourrait également être envisagée. Les films présenteraient le contenu de notre dispositif suivi de questions incitant à la réflexion : « quelle démarche utiliser pour mieux réussir sa visite à la Cité des enfants ». Ces différentes possibilités sont actuellement étudiées dans le cadre du renouvellement de l'exposition pour les moins de 7 ans de la Cité des Enfants.

Bibliographie

- Cité des sciences et de l'Industrie, 1995, Département Evaluation et prospective, *Les accompagnateurs de la Cité des enfants*.
- DANIS Agnès, FORGEOT Stéphanie et WALLET Valérie, 2003, " Une analyse des interactions mère-enfant dans le cadre d'un jeu symbolique à domicile et au laboratoire : quels contextes ? ", *Bulletin de Psychologie*, Tome 56 (4), n° 466, pp.473-481.
- FRANÇOIS Alexandra et WEIL-BARAIS Annick, 2003, " Elaboration des connaissances relatives à un dispositif technique dans un contexte d'interactions parent-enfant ", *Bulletin de Psychologie*, Tome 56 (4), n° 466, pp 509-519.
- GUICHARD Jack, 1998, " Adapter la muséologie aux enfants ", in : Bernard SCHIELE, Emlyn KOSTER (dir.), *La révolution de la muséologie des sciences : Vers un musée du XXI^{ème} siècle*, Lyon, Editions Multimondes, Presses Universitaires de Lyon, pp 207-248.
- KERBRAT-ORECCHIONI Catherine, 1998, *Les interactions verbales, Tome I*, Paris, Armand Colin.
- LABRELL Florence, BERGONNIER-DUPUY Geneviève, DELEAU Michel, 1999, " Comment analyser les interactions de tutelle parent-enfant dans les premières années ? ", in : Michel GILLY, Jean-Paul ROUX et Alain TROGNON (dir.), *Apprendre dans l'interaction*, Nancy, Presses Universitaires de Nancy, pp.389-404.
- PIANI Jeanne et WEIL-BARAIS Annick, 1993, *Essai de caractérisation des échanges adultes-enfants au cours d'une visite à la Cité des Enfants*, Cité des sciences et de l'Industrie.
- PIANI Jeanne et WEIL-BARAIS Annick, 1995, *Les conditions de coéducation pour des visiteurs ne venant pas spontanément à la Cité des Enfants*, Cité des sciences et de l'Industrie.
- POURTOIS, Jean-Pierre, 1979, *Comment les mères enseignent à leur enfant 5-6 ans*, Paris, Presses Universitaires de France.
- TAMIS-LEMONDA Catherine, BORNSTEIN Marc, avril-juin 1991, " Individual variation, correspondance, stability, and change in mother and toddler play ", *Infant Behavior and Development*, volume 14, pp. 143-162.

Rôle des points de vue épistémologiques d'élèves dans leurs prises de décisions sur une controverse socio-scientifique

ALBE Virginie, Maître de conférences, ENFA, Toulouse, France.

Introduction

Au cours des années 1980, des préoccupations sociales, économiques et environnementales ont conduit de nombreux pays à proposer que la formation en sciences des futurs citoyens devienne une priorité (UNESCO, 1983 ; Royal Society, 1985 ; Conseil de recherche scientifique du Canada, 1984, Livre Blanc de la commission européenne, 1995). Ainsi, de nouveaux curricula (Fensham, 2002) ont été mis en œuvre dans la perspective d'une alphabétisation technoscientifique générale pour tous (et non seulement pour ceux qui s'orientent vers des carrières scientifiques). Si tout le monde semble d'accord pour considérer que l'éducation scientifique doit permettre l'alphabétisation de tous, les considérations sur ce qu'une personne alphabétisée doit être en mesure de réaliser sont très disparates.

Selon une orientation pragmatique, certains considèrent que puisque les sociétés sont de plus en plus influencées par les idées et les produits des sciences, et surtout des technologies, tous les futurs citoyens seront mieux en mesure d'affronter les problèmes s'ils ont une base de connaissances scientifiques. Il s'agit par exemple de développer une confiance rationnelle dans les experts lorsque l'on se trouve confronté à des questions incertaines et controversées (Shamos 1995).

Pour d'autres, il s'agit d'utiliser les connaissances scientifiques dans un but de démocratisation. Dans cette thèse démocratique, on considère qu'une formation scientifique de qualité à l'école permet aux citoyens de participer significativement aux décisions que les sociétés doivent maintenant prendre à l'égard de problèmes socio-scientifiques et socio-technologiques toujours plus complexes (Driver et al. 1996; Bader, 2003 ; Kolstø, 2001 ; Sadler 2004). Dans cette orientation, les individus doivent s'appuyer sur des connaissances scientifiques afin de comprendre et de participer aux débats de nos sociétés modernes.

De plus, Leach & Lewis (2002) soulignent un aspect culturel de l'alphabétisation scientifique qui conduit les individus à considérer les sciences comme une entreprise culturelle et sociale comme l'art, la musique et la littérature. Il s'agit alors de permettre aux élèves de développer des connaissances sur les sciences et les technologies et leurs rôles dans nos sociétés modernes.

Facé à l'importance accordée à l'alphabétisation scientifique, de nombreux chercheurs, principalement dans le monde anglo-saxon, ont relancé les interrogations autour de la formation des élèves à la nature des sciences. Dans la lignée du mouvement Sciences-Technologies-Sociétés développé dans les années 80, un nouvel élan a conduit à se centrer sur un objectif particulier : outiller les élèves pour qu'ils puissent s'appropriier les questions scientifiques qui modèlent leur monde actuel et celles qui détermineront leur monde futur (Sadler, 2004). Dans ce courant SSI (« socio-scientific issues »), différents aspects de la mise en œuvre de questions socio-scientifiques en classe font ainsi l'objet de recherches. Des travaux portent sur l'argumentation des élèves, sur leurs prises de décision, leur évaluation

d'informations et l'influence de leur compréhension conceptuelle lors d'études de questions socio-scientifiques.

Cadre théorique et question de recherche

Peu de travaux ont pour l'instant concerné le rôle des connaissances épistémologiques dans les prises de décision des élèves sur des questions socio-scientifiques. Toutefois, les auteurs qui ont étudié les procédés de prises de décision sur des questions socio-scientifiques ont montré que divers facteurs entrent en jeu dans les décisions que prennent des individus. Il s'agit d'un phénomène complexe dont l'élucidation ne saurait se référer, par exemple, aux modèles plus ou moins mécanistes fondés sur la notion d'acteur rationnel comme l'a montré Aikenhead (1985). Ainsi, une des voies fécondes pour étudier ce processus est de documenter les prises de position adoptées par des élèves à propos d'une controverse sociotechnique.

Pour certains, les élèves pourraient être amenés à mettre l'accent sur les valeurs. Fensham (2002, p.140) souligne par exemple que *« les décisions [...] se fondent sur une identification avec les valeurs [...] ainsi que sur des critères personnels, plutôt que sur les connaissances des données scientifiques »*. Fleming (1986) a notamment montré que des élèves raisonnent la question d'accepter un emploi dans une centrale nucléaire principalement dans le domaine moral plutôt que sur la base de preuves scientifiques. De même, Grace & Ratcliffe (2002) ont montré que des élèves s'appuyaient plus sur des valeurs que sur des concepts biologiques pour prendre des décisions sur la conservation des espèces.

D'autres travaux questionnent l'importance de l'utilisation des savoirs scientifiques lorsque l'on doit prendre une décision sur une question socio-scientifique controversée. Pour Tytler et al. (2001) à propos d'une question environnementale impliquant les habitants d'une communauté en Australie, les décisions des individus s'appuient plus fréquemment sur des « preuves informelles » que sur des données scientifiques, même si les individus maîtrisent les connaissances scientifiques en jeu. Les auteurs ont émis l'hypothèse que les habitants ont peut-être ignoré les connaissances scientifiques en faveur de preuves informelles car ils percevaient ces dernières comme des ponts entre informations scientifiques et expérience personnelle. De même, Simonneaux (2001) a observé des modifications d'opinion d'élèves lors de la réalisation en classe d'un débat ou d'un jeu de rôle à propos de biotechnologies même si *« parfois les élèves ne maîtrisaient pas les concepts »*. Pour Fleming (1986), les élèves ne considéraient pas la science scolaire comme une source d'information utile pour analyser des questions socio-scientifiques.

Pour d'autres auteurs, les considérations socio-épistémologiques des élèves sont déterminantes dans ces prises de décision. Pour Aikenhead (1985), les connaissances *sur* la science et les scientifiques sont plus pertinentes que les connaissances *en* science dans le contexte d'expertises scientifiques contradictoires. Kölstö (2001) a étudié ce qui influence les prises de décision d'élèves sur la question de l'enfouissement de lignes à très haute tension. Les élèves ont discuté la crédibilité des scientifiques, le degré de consensus entre les scientifiques, la nature épistémique de la preuve scientifique et d'autres considérations relatives à l'honnêteté des scientifiques. Il apparaît que le rapport au risque semble aussi jouer un rôle dans l'articulation des points de vue des élèves face à cette question. Pour Sadler (2004), les individus sont influencés par leurs perceptions et usages de la preuve scientifique dans leur évaluation des informations relatives à la question socio-scientifique débattue.

Bell & Lederman (2003) ont étudié comment des scientifiques qui présentaient des points de vue différents sur la nature des sciences prenaient des décisions sur des questions socio-

scientifiques (implantation de tissus de fœtus, réchauffement climatique, cancer dû au tabac et aux habitudes alimentaires). Ils ont établi que tous les participants considéraient les preuves scientifiques (même s'ils avaient des points de vue différents sur le statut épistémologique des preuves empiriques), mais qu'ils « *basaient leurs décisions principalement sur des valeurs personnelles, morales, éthiques et des considérations sociales* » (p352).

Ainsi, il apparaît que les prises de position d'individus sur des questions socio-scientifiques ne peuvent se fonder uniquement sur des savoirs technoscientifiques, et qu'interviennent leurs valeurs personnelles, leur rapport au risque, des considérations socio-épistémologiques. L'importance accordée au rôle des points de vue sur les sciences dans les prises de décisions individuelles face à des questions socio-scientifiques étant différemment estimée selon les auteurs, nous nous sommes centrée sur la question de recherche suivante : Quel est le rôle, si rôle il y a, des points de vue épistémologiques d'élèves dans leurs prises de décisions sur une controverse socio-scientifique ?

Méthodologie

Afin de favoriser la formation épistémologique des élèves de l'enseignement secondaire, des situations d'enseignement sur des questions socio-scientifiques controversées ont été proposées. *Les téléphones cellulaires sont-ils dangereux pour la santé ?* est une séance d'enseignement élaborée par des chercheurs et des enseignants autour de la réalisation d'un jeu de rôle sous la forme d'un procès (Hind, Leach, Ryder & Prideaux, 2001). Un employé poursuit son employeur pour son mauvais état de santé pour lequel il a dû quitter son travail et qu'il estime dû à l'usage du téléphone portable. Les élèves jouent le rôle de témoins experts auprès des avocats de la défense et de la partie civile et afin de préparer le procès, ils étudient sept extraits de recherche portant sur l'apparition de maladies sur des animaux, des enquêtes épidémiologiques, des tests de mémorisation. Nous avons conduit cette étude de la question controversée de la dangerosité des téléphones cellulaires avec une classe de 12 élèves (16-17 ans) de 1^{ère} série technologique de l'enseignement agricole (STAE)¹ pendant une séance ordinaire d'environ 2 heures. Chaque groupe comprend six élèves qui ont choisi de défendre respectivement la thèse selon laquelle les téléphones cellulaires sont ou ne sont pas dangereux pour la santé. Nous avons procédé par questionnaires pré et post débat pour identifier les points de vue des élèves face à la dangerosité des téléphones mobiles. Malgré les limites des questionnaires écrits pour rendre compte des idées des personnes interrogées, ce type d'outil permet le recueil des points de vue de tous les élèves dans le temps de la séance et constitue une étape exploratoire. Dans le pré-test, les élèves répondent par écrit aux questions suivantes : *Selon vous, les téléphones cellulaires sont-ils dangereux pour la santé ? Pourquoi ?* Après le jeu de rôle, les élèves ont à répondre à nouveau à ces deux questions et en plus aux questions *A quelles conditions changeriez-vous d'avis ? Pourquoi ?* Enfin, dans un post-test différé (trois semaines après la réalisation du jeu de rôle en classe), les élèves sont invités à répondre par écrit à la question suivante : *Maintenant que vous connaissez les faits précédemment rapportés, êtes-vous disposé(e) à faire usage des téléphones cellulaires de la même façon qu'avant ? Expliquez votre réponse.*

Nous avons procédé à une analyse de contenu des écrits recueillis. En ce qui concerne les réponses à la question « *Selon vous, les téléphones cellulaires sont-ils dangereux pour la santé ?* », on procède dans un premier temps, à une catégorisation selon que les élèves

¹ Sciences et Technologies de l'Agronomie et de l'Environnement.

reconnaissent la dangerosité (catégorie oui), reconnaissent la dangerosité en fonction des conditions d'utilisation (catégorie oui si), déclarent la non dangerosité (catégorie non) ou se déclarent incertains (catégorie incertain). Ensuite, on liste les arguments utilisés par les élèves pour justifier leur position face à la dangerosité des téléphones cellulaires. Ceux-ci peuvent faire intervenir des savoirs scientifiques, des savoirs du quotidien, des valeurs, des éléments épistémologiques ...

Résultats

Points de vue sur la dangerosité des téléphones cellulaires avant le jeu de rôle

A la question « Selon vous, les téléphones cellulaires sont-ils dangereux pour la santé ? », on constate qu'avant le jeu de rôle, les élèves se positionnent majoritairement en faveur de la thèse de la dangerosité (6 oui, 1 oui si, 1 non, 4 incertain).

Les positions des élèves prennent essentiellement appui sur des idées courantes relatives aux effets des ondes sur le cerveau et la santé humaine (neuf élèves). Ainsi, quatre élèves mentionnent le fait que les téléphones portables émettent des ondes comme l'évoque cet élève *Ils sont dangereux à cause des ondes qu'ils émettent* (Fabien²). Pour certains élèves, les ondes sont néfastes à certains organes (cerveau, cœur comme dans l'extrait suivant) : *Car les ondes qui font fonctionner ce genre d'appareil ont un effet sur notre organisme : cœur* (Marianne). Une élève précise qu'elle ne connaît pas les causes possibles de dangerosité : *Les téléphones émettent des ondes dangereuses pour le cerveau mais je ne sais pas pourquoi elles le sont* (Katia). Pour une élève, la dangerosité croît avec l'usage : *Ils émettent beaucoup d'ondes et une utilisation trop fréquente de téléphone portable peut s'avérer à la longue nocif* (Agnès). Deux élèves émettent des doutes sur les effets néfastes de l'utilisation des téléphones sur la santé : *Sûrement à cause des ondes émises mais cela reste à vérifier* (Sébastien).

Ils peuvent provoquer des troubles, du moins c'est ce que l'on nous dit (Caroline).

Par ailleurs, un élève s'appuie des connaissances scientifiques pour étayer sa position : *Ceci peuvent modifier les champs magnétiques qui circulent dans notre corps* (Nathan).

Enfin, une élève justifie son point de vue par une confiance dans les technologies : *Je ne pense pas que les téléphones cellulaires soient dangereux pour la santé. Sinon on nous aurait prévenu avant* (Cécile).

Points de vue sur la dangerosité des téléphones cellulaires après le jeu de rôle

Après la réalisation du jeu de rôle, quatre élèves se déclarent en faveur de la dangerosité (au lieu de six avant le jeu de rôle), deux en faveur de la non dangerosité (un avant le jeu), six sont incertains (trois avant le jeu).

On constate que trois élèves conservent leur position affirmée (les téléphones sont dangereux) et que trois élèves maintiennent un point de vue incertain (Tableau 1). Un élève passe d'une position affirmée à l'autre (de la dangerosité à la non dangerosité).

² Les prénoms des élèves ont été modifiés.

		APRES			
		Les téléphones sont-ils dangereux ?			
		oui	oui si utilisation fréquente	incertain	non
AVANT Les téléphones sont-ils dangereux ?	oui	Arnaud Katia Marianne		Caroline Sandra	Nathan
	oui si utilisation fréquente	Agnès			
	incertain			Fabien Max Sébastien	William
	non			Cécile	

Tableau 1 : Positions des élèves face à la dangerosité des téléphones cellulaires avant et après la réalisation en classe d'un jeu de rôle

Trois élèves s'orientent vers plus d'incertitude, considérant avant le jeu de rôle un danger sur la santé pour deux d'entre eux, et une absence de danger pour l'autre. De façon contraire, deux élèves s'orientent vers des positions plus affirmées : de l'incertitude avant le jeu de rôle à la position de non dangerosité, et de la dangerosité conditionnée à la fréquence d'utilisation à la prise de position en faveur de la dangerosité des téléphones cellulaires.

Les positions des élèves s'appuient principalement sur des considérations épistémologiques. Pour quatre élèves, les résultats des recherches étudiées au cours de l'activité en classe ne sont pas fiables : *Aucune expérience n'est assez fiable pour déterminer les véritables risques* (Sébastien). *Les expériences ne sont pas fiables* (William).

Parmi ces élèves, Nathan justifie son propos par le fait que les procédures expérimentales mises en œuvre peuvent être mises en cause dans leur principe même : *Jusqu'à présent, de nombreuses expériences ont été faites, mais aucune de celle-ci ne peut apporter de réponse fiable. Certes il y a des changements chez les populations soumises aux ondes mais à chaque fois les conditions dans lesquelles elles ont été faites peuvent avoir modifié l'expérience également* (Nathan).

D'autres élèves soulèvent également les désaccords entre les recherches : *Toutes les expériences ne sont pas fiables et se contredisent* (Max). *Parce que certaines expériences montrent que l'utilisation des téléphones a des effets que ce soit sur les animaux cobayes ou sur les hommes (atteint d'autres maladies ou pas) alors que d'autres expériences nous montrent que ce n'est pas sûr à 100%* (Sandra). *On a trouvé des arguments qui disent que l'utilisation est dangereuse et d'autres qui disent que ce n'est pas dangereux* (Caroline).

Par ailleurs, trois élèves étayaient leurs points de vue à partir des recherches étudiées pendant l'activité en classe : *Car, dans la majorité des expériences, on relève des modifications sur le cerveau et bien souvent, cela n'apporte pas de bonne modification (cancer)* (Arnaud). *Parce que d'après les expériences, les ondes qu'ils émettent atteignent le cerveau. Les statistiques montrent que sur un groupe de personnes malades, beaucoup utilisent des téléphones portables et réciproquement, sur un groupe de personnes en santé, n'ayant pas de problèmes au cerveau, peu utilisaient de téléphones portables* (Katia).

Enfin, une élève s'appuie à la fois sur des considérations relatives à la fiabilité des recherches et sur des idées courantes relatives aux effets des ondes sur la santé humaine : *Malgré que les expériences soient peu fiables, les ondes sont extrêmement nocifs* (Agnès).

Conditions de changement d'avis

Une élève qui à l'issue du jeu de rôle s'est orientée vers la thèse de la dangerosité, déclare qu'elle ne changerait pas d'avis. Tous les autres se déclarent prêts à changer d'avis au vu de preuves ou de plus de science. Un élève déclare : *Si il y avait des preuves plus pertinentes contre les portables* (Max).

C'est également en référence à la fiabilité des recherches que des élèves se déclarent prêts à changer d'avis, en stipulant :

Si des expériences très fiables apportent la preuve (Katia).

Il faudrait montrer une expérience qui soit assez fondée pour me convaincre (Sandra).

Avec des informations plus fiables (Caroline).

Il faudrait des expériences sérieuses, avec beaucoup d'engagement et des théories qui sont réellement prouvées (Nathan).

D'autres élèves font appel à plus de science, comme l'illustrent les propos suivants :

Ce qui me ferait changer d'avis, ce seraient des expériences plus précises (Arnaud).

Avec des expériences plus précises et plus complètes (Fabien).

Des élèves mentionnent par exemple que les recherches doivent être effectuées avec un échantillon plus large, sur une durée plus longue, avec des mammifères ou avec des cobayes humains :

Si des expériences étaient faites en + grand nombre et plus souvent et sur plus de sujets (William). *Si les expériences seraient plus poussées et si elles se produisent sur des espèces plus proches de nous* (Marianne). *Si la durée était plus longue, et que les cobayes étaient des humains alors les conditions seraient différentes* (Sébastien).

Utilisation personnelle

Lors du post-test différé, la plupart des élèves déclarent utiliser leur téléphone portable de façon modérée : *Cela fait peu de temps que je possède un téléphone portable. Et je pense que je m'en sers convenablement donc j'espère en avoir la même utilisation qu'avant* (Cécile). *J'avais déjà un peu connaissance des effets néfastes des ondes radioactives et j'utilise de ce fait le portable à un temps limité (pas plus de 10 minutes)* (Agnès).

D'autres élèves se disent disposés à en faire le même usage qu'avant la réalisation en classe du jeu de rôle face à l'absence de preuve ou avec une évaluation des avantages et des inconvénients de l'utilisation des téléphones portables. *Oui je continuerai à l'utiliser comme avant, car je n'en suis pas accro et que les recherches ne prouvent rien* (William). *Mon usage va rester le même car il ne faut pas s'arrêter sur des détails sans preuve* (Max). *Je continue et je continuerai à utiliser mon téléphone portable car il m'est indispensable et comme on ne connaît pas ses effets, pourquoi s'en passer ?* (Nathan).

Une élève déclare prendre depuis des précautions en vue de limiter les risques : *Personnellement, je ne possède pas de téléphone cellulaire mais il m'arrive de m'en servir, je prendrais en compte les conditions nécessaires pour limiter les risques au maximum* (Katia).

Discussion

Les points de vue des élèves sont majoritairement en faveur de la dangerosité des téléphones. Après le débat, les points de vue individuels des élèves ont pour la moitié changé et on constate pour certains une évolution vers plus d'incertitude. Les justifications des élèves avant le jeu de rôle s'appuient essentiellement sur des idées courantes relatives aux effets des ondes sur la santé humaine : effet des ondes en général, effet des ondes sur le cerveau. Les connaissances scientifiques et technologiques interviennent peu. Enfin, la confiance dans les technologies fonde le point de vue d'un élève. Après le jeu de rôle, les justifications s'appuyant sur des idées courantes relatives aux effets des ondes sont plus rares. On note qu'aucun élève ne fait intervenir des connaissances scientifiques et technologiques. Pour justifier leurs points de vue, des élèves s'appuient sur des extraits de recherche étudiés et on voit apparaître dans les justifications des considérations de nature épistémologique : absence de résultats fiables, désaccords entre les recherches. Les discours que nous avons analysés semblent indiquer que ces élèves se fabriquent un point de vue sur une question controversée en s'appuyant sur une variété d'arguments parmi lesquels les connaissances scientifiques sont rarement mobilisées. La plupart des élèves seraient prêts à changer d'avis sur cette question pour autant que l'on fournisse des preuves scientifiques solides. Autrement dit, ce sont des considérations épistémologiques qui semblent jouer un rôle important dans ce processus. On note un appel à plus de science avec notamment des précisions méthodologiques sans qu'aucune considération éthique n'intervienne pour raisonner les expériences à mettre en œuvre. Cette demande de science en tant que condition de changement de point de vue, peut-elle être vue comme une possible délégation de la décision du profane à l'expert ? Nous ne saurions répondre à ces questions dans le cadre de la présente recherche bien que l'on puisse s'interroger et considérer que cette demande de preuve relève d'une certaine conception des sciences dans la mesure où l'image dominante des sciences comme quête méthodique et décontextualisée du réel conduit à considérer la preuve scientifique comme un «dévoilement de la nature», un «Parangon de vérité», élément clé qui résout la controverse (Bader, 2003 ; Larochelle & Désautels, 2001). Ainsi, les élèves surestimeraient le rôle de la preuve dans la résolution de la controverse.

Lors du post-test différé, la plupart des élèves se disent disposés à faire le même usage de leur téléphone portable qu'avant la réalisation en classe du jeu de rôle. Pour Zeidler et al. (2002) les élèves ont tendance à compartimenter les preuves scientifiques et l'information qu'ils utilisent pour prendre une décision personnelle. Pour Kuhn (1992), l'utilisation de preuves et le besoin d'informations sont attendus pour prendre une décision raisonnée. Ici, il apparaît qu'en attente de preuves les élèves appuient leurs prises de décision sur d'autres considérations (estimation d'un usage modéré, évaluation des avantages et des inconvénients, mesures de précaution). Ces résultats indiquent, comme d'autres travaux, que la croyance dans le rôle central des preuves empiriques dans l'élaboration des sciences est un facteur important dans les prises de décision des élèves (Leach & Lewis, 2002 ; Sadler 2004 ; Zeidler et al. 2002).

Le découpage entre considérations relevant des sciences d'un côté et de préoccupations personnelles de l'autre ne nous semble pas de nature à favoriser la participation citoyenne aux débats soulevés par la techno-science-économie (Legendre, 2004). Sadler (2004) propose que des programmes qui traiteraient les aspects sociaux, la nature provisoire et empirique des sciences, la nature des preuves scientifiques seraient particulièrement utiles. Nous pensons que des considérations à propos des méthodes de recherche, des limites de validité des données, des caractéristiques et limites des preuves scientifiques, des incertitudes en jeu et des procédures de négociation de la crédibilité des énoncés seraient de plus grande importance pour les élèves confrontés à des questions socio-scientifiques.

Bibliographie

- AIKENHEAD Glen S., 1985, "Collective decision making in the social context of science", *Science Education*, n°69, pp. 453-475.
- BADER Barbara, 2003, "Interprétation d'une controverse scientifique : stratégies argumentatives d'adolescentes et d'adolescents québécois", *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, n°3, pp. 231-250.
- BELL Randy L., et LEDERMAN Norman G., 2003, "Understandings of the nature of science and decision making on science and technology based issues", *Science Education*, n°87, pp. 352-377.
- DRIVER Rosalind, LEACH John, MILLAR Robin et SCOTT Phil, 1996, *Young people's image of science*, Buckingham, Open University Press.
- FENSHAM Peter J., 2002, "De nouveaux guides pour l'alphabétisation scientifique", *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, n°2, pp. 133-150.
- FLEMING Reg, 1986, "Adolescent reasoning in socio-scientific issues", *Journal of Research in Science Teaching*, n°23, pp. 689-698.
- GRACE Marcus M. et RATCLIFFE Mary, 2002, "The science and values that young people draw upon to make decisions about biological conservation issues", *International Journal of Science Education*, n°24, pp. 1157-1169.
- HIND Andy, LEACH John, RYDER Jim et PRIDEAUX Ned, 2001, *Teaching about the nature of scientific knowledge and investigation on AS/A level science courses*, Leeds, CSSME.
- KOLSTØ Stein D., 2001, "To trust or not to trust... pupils' ways of judging information encountered in a socio-scientific issue", *International Journal of Science Education*, n°23, pp. 877-901.
- KUHN Deanna, 1992, "Thinking as argument", *Harvard Educational Review*, n°62, pp.155-178.
- LAROCHELLE Marie et DESAUTELS Jacques, 2001, "Les enjeux des désaccords entre scientifiques : un aperçu de la construction discursive d'étudiants et étudiantes", *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, n°1, pp. 39-60.
- LATOUR Bruno, 1989, *La science en action*, Paris, La découverte.
- LEACH John et LEWIS Jenny, 2002, "The role of students' epistemological knowledge in the process of conceptual change in science", in : M. Limón & L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change. Issues in theory and practice*, The Netherlands, Kluwer.
- LEGENDRE Pierre, 2004, *Ce que l'occident ne voit pas de l'occident*, Paris, Mille et une nuits.
- SADLER Troy D., 2004, "Informal reasoning regarding socioscientific issues : a critical review of research", *Journal of Research in Science Teaching*, n°41, pp. 513-536.
- SHAMOS Morris H., 1995, *The myth of scientific literacy*, New Brunswick, Rutgers University Press.
- SIMONNEAUX Laurence, 2001, "Role-play or debate to promote students' argumentation and justification on an issue in animal transgenesis", *International Journal of Science Education*, n°23, pp. 903-928.
- TYTLER Russell, DUGGAN Sandra et GOTT Richard, 2001, "Dimensions of evidence, the public understanding of science and science education", *International Journal of Science Education*, n° 23, pp. 815-832.
- ZEIDLER Dana, WALKER Kimberly, ACKETT Wayne et SIMMONS Michael, 2002, "Tangled up in views: Beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas", *Science Education*, n°86, pp. 343-367.

L'apport d'une médiation interactive à l'apprentissage de la notion d'ombre par des élèves Tunisiens

ALLANI Najoua, étudiante en thèse de didactique des sciences physiques, ISEFC Tunisie et Université René Descartes, Paris 5, France.

Introduction

De nos jours l'école n'a plus l'apanage de l'enseignement des connaissances. Plusieurs sources d'informations extra scolaires sont à la disposition de l'apprenant et peuvent être source d'apprentissage. Nous avons essayé d'étudier, à la suite du constat de l'échec de l'apprentissage scolaire des notions d'ombre et de pénombre, les autres moyens d'apprentissage en dehors de l'école. Ces notions sont enseignées aux élèves en première année du secondaire Tunisien. Il s'est avéré que, malgré leur apparente simplicité, les élèves ont de réelles difficultés à les acquérir en classe. Antérieurement à cette recherche (Allani, 2000) nous avons pu observer les difficultés rencontrées par des élèves qui, à différents niveaux de scolarité, sont invités à expliquer une éclipse lunaire. Les activités, que nous proposons, visent à faire découvrir aux élèves la signification physique de cette notion, qui est du type « cause à effet », à travers l'optique géométrique.

Cadre théorique

Depuis les années soixante-dix, les recherches sur les conceptions (Tiberghien, 1976, Johsua et Dupin, 1993, Viennot, 1996), ont montré que pour rendre compte des phénomènes scientifiques, les élèves continuent à utiliser leurs idées d'avant enseignement. Un bon nombre de ces travaux étaient centré sur des notions d'optique. La majorité a montré que les élèves ont des explications sur les phénomènes étudiés qui sont construites à travers leurs expériences quotidiennes. Dès 1927 Piaget a étudié avec des enfants de différents âges le problème des ombres et les explications qu'ils donnent à ce phénomène à différents stades de développement. Parmi ses résultats, les enfants présentent un mélange d'explications correctes et de substantialisation de l'ombre. Les travaux de Piaget ont été repris par De Vries, une psychologue, en 1986. Elle a confirmé une partie de ses résultats. Par exemple, l'ombre est bel et bien considérée par des enfants comme un objet, une émanation. Mais, quand elle disparaît dans l'obscurité, elle se cache dans les corps. La nature de la lumière, les ombres et la formation d'images ont été débattues dans plusieurs travaux de recherche (Feher et Rice, 1986, et 1988, Betton, 1994). En 1988, Feher et Rice ont montré que pour les élèves une ombre est une image sombre, c'est la présence de quelque chose plutôt qu'une absence de lumière. Les rôles attribués à la lumière par les élèves vont d'une participation active dans la formation de l'ombre à un éclairage passif. Un résultat similaire a été obtenu par Lacroix, 1996, lors de son étude sur l'évolution, chez les élèves de CE2, des notions d'ombre et de lumière. A la suite d'activités spécifiques les élèves commencent à évoquer la notion d'ombre en tant qu'absence de lumière. Cependant certains d'entre eux continuent à évoquer des idées de sens commun, telle que l'ombre est une silhouette ou un dessin de l'objet.

Question de recherche

Est-il possible, pour des élèves et pour des apprenants en général, d'acquérir des connaissances sur les notions d'ombre et de pénombre dans une exposition à caractère interactif dans un cadre extra scolaire ?

Nous avons essayé de répondre à cette question à travers cette recherche. Il a été montré par Guichard et Guichard, 1997, et Allard, 1999, que des expositions peuvent être source d'apprentissage, nous essayerons de notre part de confirmer la possibilité d'acquisition de connaissances sur les notions d'ombre et de pénombre dans une exposition à l'extérieur de l'espace scolaire. Nos principaux objectifs :

- La modification du système explicatif des élèves, l'ombre est souvent considérée comme un phénomène primitif qui n'a pas besoin d'explication.
- La découverte des propriétés de l'ombre dans le système source – objet – ombre.
- L'acquisition de nouveaux outils qui leur permettent de fournir une explication du phénomène qui soit systémique et du type cause à effet. Les activités visent à favoriser l'usage de l'absence de lumière, au détriment de l'usage de la présence de quelque chose, pour expliquer l'ombre.

Méthodologie

Le public ciblé est hétérogène, il est constitué de 69 élèves de 15 à 20 ans de différentes régions de la Tunisie et de différents niveaux scolaires. Les élèves sont répartis en groupes de trois à cinq participants. En guise d'introduction, nous leur demandons d'expliquer à l'aide d'une phrase et d'un dessin comment se forme l'ombre d'un objet de leur choix. Par la suite, nous leur demandons de faire des prévisions pour l'ombre de différents objets : un rectangle, un cube pour différentes positions de celui-ci par rapport à la source de lumière, une balle de tennis. Ils sont invités par la suite à ne plus changer leurs propositions et à les vérifier expérimentalement. Il leur a été signalé que la forme de l'objet et la source de lumière sont choisies et bien définies. Par contre, ils ont le droit de déplacer l'objet et de choisir l'écran sur lequel l'ombre sera projetée, ils ont largement le temps, de 45 minutes à une heure, de vérifier toutes leurs suppositions. Ils ont été guidés par l'animateur pendant l'activité sans toutefois les influencer dans leurs investigations.

Résultats et Discussion

Nous avons classé les réponses des élèves suivant trois catégories principales. Emploi de termes communs, emploi de mots scientifiques (image, réflexion) dans le sens commun du terme ou en termes d'absence de lumière. Les résultats obtenus confirment l'hypothèse que la majorité des réponses (84%) soit du type sens commun. Très peu (11%) d'élèves évoquent l'ombre en tant que phénomène d'optique géométrique et en termes d'absence de lumière. Indépendamment de l'âge et du niveau scolaire, leurs explications sont parfois truffées de mots scientifiques, qui montrent leur familiarité avec le vocabulaire, sans qu'elles soient correctes pour autant.

Avant de poursuivre cette analyse on se propose de fournir quelques exemples de réponses des différentes catégories : **Ombre-silhouette** « *L'ombre son origine est un objet sombre mis*

*devant une source de lumière et tient un obstacle devant les rayons émis dans son sens et par suite dessine silhouette de l'objet avec une forme sombre et noir la pénombre les rayons émis et qui tombent sur les bords du corps une partie continue son chemin et l'autre est arrêté et par suite sa projection n'est pas sombre » (3ème année math), **Ombre-projection** « Une ombre est la projection d'un objet sur le sol dans la présence de la lumière. Donc personnellement, je pense que le soleil a un rôle dans l'apparence de l'ombre » (1ère année secondaire), **Ombre-reflet** « L'ombre et pénombre se sont les reflets d'un objet en présence de la lumière (soleil). » (3ème année secondaire), **Ombre-image** « L'ombre c'est l'image d'une personne ou n'importe qui peut voir son image grâce à la réaction de la lumière » (3ème secondaire économie), **Ombre-absence de lumière** « Ils me font penser à un phénomène de diminution ou absence de lumière devant un obstacle qui empêche la lumière de passer ou de se propager » (3ème année Math).*

La majorité (67%) des élèves ont produit des dessins corrects de l'ombre d'un objet. Cependant un bon nombre d'entre eux (23%) ont fourni un dessin où le rôle de la source est occulté. L'élève comprend le comment de l'ombre mais ne comprend pas le pourquoi. Les résultats montrent que l'élève arrive facilement à faire le dessin d'une situation d'ombre mais n'arrive pas à l'expliquer en termes d'optique géométrique. En particulier, la source (par ailleurs pas toujours représentée) semble jouée un rôle secondaire pour eux. Sur certains dessins il y a une **identification ombre-objet**, les mêmes détails sont reproduits pour l'ombre. Ce type d'identification est retrouvé à travers les représentations de l'ombre de la balle de tennis. En effet, nous avons remarqué que pour presque la moitié des réponses (41%) l'ombre garde les mêmes détails que la balle qui a été proposée. Pour expliquer une ombre certains élèves disent que c'est une doublure, l'ombre qu'ils dessinent alors a les mêmes détails que l'objet qui en est la cause.

Lors de la discussion entre les membres du groupe nous introduisons à chaque fois une question sur la nature de l'ombre et l'identification de sa forme avec celle de l'objet. Rappelons que les éléments de l'exposition, et les questions posées aux élèves lors des entretiens, sont construits après une étude didactique des conceptions possibles qui peuvent entraver l'apprentissage de la notion d'ombre. Les activités ont incité les élèves à s'intéresser aux différences qui existent entre l'objet et son ombre. Les élèves discutent entre eux des différentes possibilités et essayent à tour de rôle de retrouver chacun la forme de l'ombre qu'il a proposé. L'élève se trouve devant une expérience sur un phénomène qu'il observe tous les jours et qu'il pense pouvoir expliquer. Il est confronté à une situation de découverte du phénomène sous un angle qui lui est totalement inconnu. Il découvre alors des aspects qu'il ignore sur les ombres, des aspects qui sont en contradiction avec ses prévisions. A travers leurs activités de découvertes pour les différentes formes de l'ombre, nous avons introduit la question de la couleur de l'ombre. Pour tous les élèves et à la fin de l'activité, la couleur sombre de l'ombre est dû à une absence de lumière.

L'analyse des réponses aux dernières questions nous a permis de voir qu'il y a eu une évolution conceptuelle par rapport aux réponses des participants au début de l'activité. La presque totalité des élèves ont répondu en termes d'absence de lumière à la fin de l'activité. A celle qui concerne la forme de l'ombre, ils ont majoritairement fourni des réponses qui tiennent compte de la position de l'objet par rapport à la source de lumière et sa position par rapport à l'écran de projection de l'ombre. Nous avons vu à travers cet exemple que l'apprentissage de cette notion est plus facile dans des espaces extra scolaires, du fait que ces espaces s'adaptent mieux à ce type d'activités ; mieux qu'un enseignement à l'école qui, dans certains cas, ne favorise pas l'investissement des apprenants. C'est un nouveau domaine de recherche qui se présente en didactique des sciences.

Bibliographie

Allani Najoua, 2000, Conceptions et rapports aux savoirs « éclipses » : cas d'élèves tunisiens du secondaire. Mémoire de DEA. ISEFC. Tunis.

Betton, S. 1994. "Quelques manipulations d'optique en quatrième ". *Bulletin de l'Union des Physiciens*. n°763. n°88. pp. 697-710.

DeVries. Rheta. 1986. "Children's conceptions of shadow phenomena". *Genetic Psychology Monographs*, n°112, pp. 479-530.

Feher Elsa et Rice Karen. 1986. "Shadow shapes". *Science and children*, Vol 24, N°2

Feher Elsa. et Rice Karen 1988,. "Shadows and anti-images : children's conceptions of light and vision. II" *Science Education* n°72 (5): pp. 637-649.

Giordan André et de Vecchi Gérard 1987, Les origines du Savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques. Paris : Delachaux & Niestlé.

Guichard, Jack. & Guichard, F. 1997. "Des objets muséologiques pour aider à traiter des obstacles en sciences et techniques". *Aster*, 24.

Johsua Samuel et Dupin, Jean-Jaque, 1993, Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques. Paris, Colin.

Lacroix Daniel, 1996. *Comment évoluent chez les élèves de CE2 les notions d'ombre et de lumière*. Thèse de doctorat Grenoble.

Piaget Jean 1927, La causalité physique chez l'enfant. Paris : PUF

Rice, Karen & Feher Elsa, E. 1987,. "Pinholes and images : children's conceptions of light and vision I". *Science Education* n° 71 (4): pp. 629-639.

Tiberghien André, 1983. "Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens de la notion de lumière pour les élèves de 10 à 16 ans". *Atelier international d'été : recherche en didactique de la physique*. Paris. Editions du CNRS

Viennot Laurence, 1996, Raisonner en physique La part du sens commun. Paris, Bruxelles De Boeck Université.

Réflexions épistémologiques et statut scientifique de l'évolution biologique : cas d'un enseignement en Tunisie

*AROUA Saïda, Assistante, Faculté des sciences, Sfax, EDIPS-ISEFC Tunis/ STEF ENS Cachan-INRP
COQUIDE Maryline Professeur. IUFM Bretagne. UMR STEF ENS Cachan-INRP
ABBES Salem. Professeur, Faculté de Médecine. Institut Pasteur. Tunis*

Questions de recherche

François Jacob (1970) a rappelé les différents obstacles épistémologiques qu'il a été nécessaire de surmonter, historiquement, et les concepts biologiques indispensables pour qu'une théorie de l'évolution soit envisageable scientifiquement. Deux autres obstacles de taille sont à surmonter pour que l'évolution biologique puisse se constituer en tant que théorie scientifique : d'une part, s'imposer une autonomie vis-à-vis de toute référence métaphysique afin de se constituer une référence totalement scientifique (Grimoult, 2000) et d'autre part, s'imposer en tant que science historique ayant une méthodologie particulière (Stengers, 1995). En effet, alors que les interrogations fonctionnelles des sciences du vivant peuvent, le plus souvent, se plier aux échelles spatiales et temporelles du laboratoire, les perspectives relatives à l'histoire des vivants, avec ses nécessaires contingences, ou celles relatives à la compréhension et la modélisation de mécanismes évolutifs, s'appuient largement sur le terrain et les démarches d'enquête (Mayr, 1982 ; Stengers, 1995).

Des questions similaires peuvent être rencontrées pour l'enseignement de l'évolution biologique. En effet, les recherches relatives à cet enseignement ont montré des difficultés d'ordre conceptuel (Bishop et Anderson, 1990 ; Fortin, 1993 ; Settlage, 1994 ; Bizzo, 1994 ; Ferrari et Chi, 1998 ; Thomas, 2000), qui peuvent être relatives à la transposition didactique (Jiménez Aleixandre, 1994 ; Jeffery, 1994 ; Mathy, 1997), ou bien encore l'influence des facteurs culturels et socio-culturels (Jackson et al, 1995 ; Roth et al. 1997 ; Dagher et Boujoude, 1997). Ainsi, des études, effectuées en Tunisie, ont montré l'influence des facteurs socio-culturels (Aroua et al., 2001, 2002; Chabchoub, 2001 ; Hraïri et Coquidé, 2002), la précarité du statut scientifique de cet enseignement et les obstacles que peuvent avoir les élèves à entrer dans une démarche scientifique (Aroua, 2003). En conséquence, œuvrer à développer un statut scientifique à cet enseignement, en permettant aux élèves tunisiens de construire du sens autour du modèle évolutif comme savoir scientifique, nous a paru important pour contribuer à leur cheminement vers la conceptualisation de la théorie de l'évolution biologique.

Les questions posées dans cette étude sont principalement axées sur la faisabilité et la mise en oeuvre d'autres dispositifs didactiques, et d'étudier leur impact. « Est-il possible de proposer un enseignement de l'évolution biologique ayant un statut plus scientifique ? » « Quelles sont les possibilités des élèves tunisiens pour différencier des référentiels argumentatifs lors de cet enseignement ? ». Ce travail consiste, principalement, en la conception et en la réalisation d'un dispositif didactique qui puisse développer la scientificité de l'enseignement de l'évolution.

Dans la présente contribution, nous présentons une partie des résultats du travail en cours. Elle se rapporte à l'évaluation externe du dispositif didactique : quel est l'impact du dispositif didactique mis en oeuvre ? En particulier, y a-t-il des changements épistémologiques chez les élèves, indiquant le fait qu'ils différencient mieux les référentiels argumentatifs après cet enseignement ?

Méthodologie

Qu'est-ce qui est effectivement possible d'être mis en œuvre, en situation réelle de classe ? Il a donc été nécessaire, après des études préalables, de concevoir un dispositif didactique, de le réaliser en classe, et de l'évaluer. Pour repérer les apports du dispositif didactique, nous avons procédé à son évaluation interne en tant que dispositif d'enseignement, mais aussi à son évaluation externe (évaluation de l'impact du statut de l'évolution biologique chez l'élève). Dans cet article, nous rapportons les résultats de l'évaluation externe.

Le dispositif didactique

Le dispositif conçu inclut une initiation des élèves à une réflexion épistémologique en contexte social, introduite en amont et en aval de la séquence relative aux « faits et mécanismes de l'évolution biologique ». Le but de cette initiation est de favoriser la réflexion personnelle des élèves par rapport à l'explication mitigée qu'ils donnent de la diversité du vivant (Aroua, Coquidé, Abbes, 2001). Cette réflexion porte sur la caractérisation des référentiels argumentatifs et sur les critères de scientificité de la théorie de l'évolution. Le dispositif didactique comporte quatre séquences. La séquence introductive devait permettre le repérage des conceptions et obstacle. La première et la troisième séquence devaient inclure la réflexion épistémologique orientée vers l'argumentation. En premier temps, les élèves répartis en petits groupes, interagissent verbalement entre eux autour d'un document de travail (Textes historiques arabes et occidentaux) ; en deuxième temps, ils interagissent avec l'enseignant en classe entière. Cette séquence visait une transformation épistémologique et une déstabilisation de l'obstacle « amalgame des référentiels ». La deuxième séquence correspond à l'enseignement des faits et mécanismes stipulés par les instructions officielles du programme tunisien. Elle comporte plusieurs tentatives de déstabilisation de la conception « adaptationniste ».

L'enseignement a été effectué dans une classe de terminale sciences expérimentale, en conditions réelles avec tout ce qu'elles pouvaient inclure comme contraintes. Il a été réalisé par un enseignant ayant eu une formation en épistémologie et en histoire des sciences.

Evaluation externe du dispositif didactique

Pour repérer les apports du dispositif didactique, nous avons procédé à son évaluation interne en tant que dispositif d'enseignement mais aussi à son évaluation externe. Dans le présent article, nous rapportons les résultats de l'évaluation externe. Elle est constituée par un pré et un post-test entrepris respectivement en pré et post-enseignement de l'évolution biologique. Les tests sont constitués par des interviews semi-directives réalisées avec le sous-groupe classe partagé en trois petits groupes. L'ensemble des interactions verbales enregistrées et entièrement transcrites a fait l'objet d'une analyse de contenu (Bardin, 1997) dans le cadre d'une étude de cas.

Résultats de l'évaluation externe du dispositif didactique

Analyse de contenu

Les transcripts ont d'abord été soumis à un découpage thématique pour délimiter les différents épisodes (analyse macroscopique). Une analyse microscopique des épisodes a ensuite permis de caractériser le registre langagier des élèves, par la méthode des mots et expressions pivots, par repérage de connecteurs, ou par une caractérisation de l'énonciation des interventions.

Analyse des données recueillies en pré-enseignement de la théorie de l'évolution

Analyse macroscopique

L'analyse sémantique des trois transcrits, réalisés avec les trois petits groupes GIa, GIIa et GIIIa, a montré l'existence, dans chacun des trois, de cinq épisodes récurrents, correspondant aux cinq thèmes initiés par les questions ouvertes de l'animatrice :

Episode 1 : Qu'est-ce la diversité ?

Episode 2 : Expliquer la diversité par les mutations, la reproduction sexuée, la fécondation, le brassage génétique, etc., ou bien par l'adaptation et l'influence des facteurs du milieu extérieur.

Episode 3 : Expliquer autrement la diversité. C'est une explication « mitigée ». La diversité s'explique par une création divine, création d'un mâle et d'une femelle puis une diversification, due aux facteurs de la nature commandés par Dieu, ou bien une diversification, due à des facteurs internes aux vivants : mutations, reproduction, etc., ou encore à des facteurs externes au vivant : les conditions du milieu. Episode 4 : Se poser des questions.

Episode 5 : Un besoin de savoir plus.

Analyse microscopique

Un référentiel argumentatif « scientifique » : Episode2

Du point de vue registre langagier, les arguments avancés par les élèves dans cet épisode semblent relever de celui de la classe de biologie. Les élèves ont expliqué la diversité du vivant par les mutations, les accidents chromosomiques, la méiose, la fécondation, le brassage génétique, l'adaptation, l'influence des facteurs du milieu etc. (cf. fig1). Les élèves ont évoqué, en particulier, les mécanismes de la variation intraspécifique et l'adaptation.¹

L'enseignement de l'évolution biologique n'ayant pas été encore fait, le fait que les élèves aient évoqué des facteurs externes au vivant pour expliquer la diversité du vivant peut aussi témoigner de la présence de conception « adaptationniste » (Fortin, 1993). De ce fait, la qualification « scientifique » ne paraît pas appropriée ; nous l'avons néanmoins retenue, sciemment mais entre guillemets, pour qualifier ce référentiel car il relève du registre langagier de la classe de biologie.

Thème référent	Analyse au niveau registre langagier par mots et expressions pivots	L'explication de la diversité du vivant	Référentiel argumentatif
Comment expliquer la diversité du vivant ?	Individu ; Transformation ; Accidents chromosomiques ; Mutations ; Méiose ; Hasard ; Fécondation ; Différences Facteurs du milieu ; Apparition de nouvelles espèces ; Adaptation ; Milieu de vie ; climat	La diversité s'explique par des facteurs internes aux vivants : mutations, hasard, accidents chromosomiques, méiose, fécondation et/ou des facteurs externes au vivant : le climat, milieu de vie, facteurs du milieu	un référentiel « scientifique » ²

Fig1. Grille de caractérisation des référentiels argumentatifs en pré-enseignement (Episode 2).

¹ Chapitres étudiés dans les niveaux antérieurs d'enseignement.

² Nous avons considéré le référentiel argumentatif des élèves en pré-enseignement de l'évolution biologique comme « scientifique » au niveau registre du langage. En considérant que les mots et expressions utilisées ont été appris en classe de sciences. En effet, conceptuellement, il est incorrect de considérer par exemple que les facteurs externes du milieu sont impliqués directement dans la diversité du vivant.

Deux référentiels argumentatifs amalgamés : Episode 3

La question de l'animatrice, « *Avez-vous une autre explication ?* », a entraîné une réorientation du discours. Les élèves qui, jusqu'à présent, se référaient à un registre langagier « *scientifique* », proche de celui de la classe de biologie, ont commencé à solliciter un deuxième registre langagier.

Exemple : « Le Dieu a créé un mâle et une femelle pour tous les êtres vivants » ; « Dieu a créé les êtres vivants, ensuite la nature a continué pour avoir une diversité ». Le référentiel argumentatif des élèves n'étant plus celui de la classe de biologie, nous avons catégorisé ce référentiel comme un référentiel non scientifique.

Au fil des interactions, nous avons remarqué que les interventions des élèves renfermaient des arguments qui relevaient des deux registres langagiers : à la fois un registre non scientifique et un registre « scientifique » (cf.fig2).

Thème référent	Analyse au niveau registre langagier par mots et expressions pivots	L'explication de la diversité du vivant	Référentiels argumentatifs
Comment expliquer la diversité du vivant ?	Dieu ; origine du monde création d'un mâle et d'une femelle ; Pas de diversité ; Diversité créée ; Adaptation ; conditions du milieu ; Dieu commande facteurs de la nature ; Dieu a créé puis la nature a diversifié ; Création ; Diversité ; Mutation ; Nouveaux caractères ; Conditions du milieu ; Changement ; Etres vivants ; Changements ; Dieu a Créé puis apparition nouveaux caractères ; Diversité due à la création – Diversité réduite ; Création divine = Diversité de premier degré, Diversité de second degré : reproduction, mutations	La diversité s'explique par une création divine, création d'un mâle et d'une femelle et une diversification due aux facteurs de la nature commandés par Dieu ou bien une diversification due à des facteurs internes aux vivants : mutations, reproduction ou encore des facteurs externes au vivant : les conditions du milieu et l'adaptation.	un référentiel non scientifique et un référentiel « scientifique »

Fig2. Grille de caractérisation des référentiels argumentatifs en pré-enseignement (Episode 3)

Une conception mitigée de la diversité du vivant

À l'analyse des énoncés des élèves par mots et expressions pivots (cf. § précédent), nous avons associé un repérage de connecteurs.

Exemples d'interventions : « Dieu a créé le monde vivant, ensuite, il y a eu une diversité » ; « ...il y avait une diversité parce que Dieu...a créé une diversité dès l'origine... une diversité de premier degré. Mais, après les liens de reproductions...ont entraîné l'apparition d'une diversité...de second degré ... »

Si nous considérons que les connecteurs *ensuite, puis, après*, expriment une succession chronologique, il s'ensuit que l'explication donnée par les élèves est constituée de l'inclusion de deux idées différentes. En effet, les élèves considéraient la diversité au sein du vivant comme résultant d'une diversité de premier degré, expliquée par la création divine, suivie d'une diversité de second degré, expliquée par une transformation des espèces due aux mutations, à la reproduction sexuée, à l'adaptation, etc.... La première se réfère à un référentiel non scientifique (théologique), elle rejoint la tendance fixiste qui suppose, en fait, que les espèces sont immuables. La deuxième semble se référer à un référentiel « scientifique », puisqu'elle considère les espèces comme non immuables et cette non immuabilité est expliquée par les mutations, la reproduction, etc.... Pour expliquer la diversité des vivants, les élèves ont utilisé un registre langagier constitué par un amalgame des registres langagiers « scientifique » et non scientifique, et leurs arguments relèvent d'un mélange des deux référentiels argumentatifs.

Nous avons conclu également à l'engagement de tous les élèves du groupe classe dans cette même explication hétérogène de la diversité du vivant. Nous avons, en effet, repéré des énonciations telles que : « Oui, Dieu a créé de chaque espèce deux individus... », « .. moi, je vois les chose ainsi », « moi, j'ai la même idée », « Moi je dis .. », « Je suis d'accord... ».

Ainsi, une seule et même conception, soit une conception « mitigée » (scientifique et non scientifique) de l'explication de la diversité du vivant était partagée par tous les élèves du groupe-classe (cf. fig. 3.)

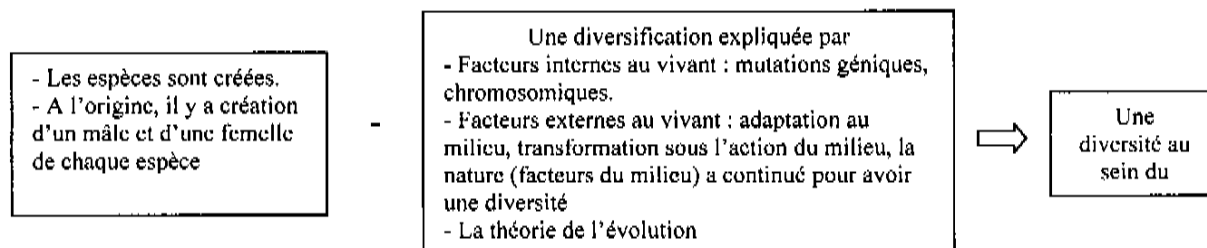


Fig. 3 : Conception mitigée de la diversité du vivant

Influence des interactions entre élèves, besoin de savoir plus : Episode 5

Cet épisode a été révélateur de l'influence de l'activité interactionnelle des élèves. Au fur et à mesure des interactions verbales, il y a eu une prise de recul chez les élèves par rapport à leurs affirmations au deuxième et au troisième épisode (cf. § précédents). Les élèves ont commencé à se poser des questions et à prendre du recul par rapport au fait d'affirmer qu'il y avait une seule explication : Y aurait-il deux explications plutôt qu'une seule à la diversité du vivant ?

Exemples d'interventions : « On a deux explications » ; « C'est comme si, il avait deux idées. »

Les élèves ont alors exprimé un besoin de savoir plus.

Exemples d'interventions : « des choses qui ne sont pas claires » ; « pas capable de séparer ou de différencier l'explication scientifique de l'explication religieuse » ; « je voudrais savoir ».

Analyse des données recueillies en post-enseignement de la théorie de l'évolution

Analyse macroscopique

Quatre principaux épisodes sont récurrents dans les trois corpus respectifs des groupes de discussion (GIb, GIIb et GIIIb) :

Episode 1 : Expliquer la diversité du vivant.

Episode 2 : Deux explications différentes de la diversité du vivant.

Episode 3 : Valider par l'expérience ou par l'enquête ?

Episode 4 : Un besoin de savoir plus.

Analyse microscopique

Au cours de cette analyse, nous nous sommes attachés à retrouver les indices d'un changement épistémologique des élèves, en particulier qui puissent montrer une capacité de différenciation de référentiels argumentatifs.

Un référentiel argumentatif scientifique : Episode 1

À l'inverse du pré-test, en réponse à la question : « *Comment expliques-tu, maintenant, la diversité du vivant ?* », les élèves ont utilisé un registre langagier unique, celui de l'évolution biologique (cf. fig. 4). Au risque de confondre les interactions verbales des élèves avec une simple restitution de connaissances faisant suite à l'enseignement suivi, nous ne pouvons, à ce stade, conclure à un indice d'évolution épistémologique chez les élèves.

Thème référent	Analyse au niveau registre langagier par mots et expressions pivots	Référentiel argumentatif
Comment expliquer la diversité du vivant ?	Réunion de plusieurs phénomènes ; Mutations ; Transformations ; Générations ; Nouvelles espèces ; Évolution au cours des générations ; ADN ; Information génétique ; Synthèse des protéines ; Réplication ADN ; Erreurs ; Gènes ; Chromosomes ; Méiose ; Hasard ; Espèce ; Différences au sein de l'espèce ; Transformations de la terre ; Temps anciens ; Observations ; Ressemblance ; Animaux actuels ; Fossiles ; Évolution biologique ; Ancêtre commun ; Ramifications des espèces ; Sélection naturelle ; Spéciation ; Ressemblance ; Interstérilité ; Fécondation ; Interfécondité ; Preuves anatomiques ; Comparaisons ; Animaux actuels, animaux des temps anciens ; Ressemblances ; Preuves paléontologiques ; Succession dans l'apparition des vivants ; Preuves embryologiques.	un référentiel scientifique

Fig. 4. Grille de caractérisation des référentiels argumentatifs en post-enseignement.

Deux référentiels argumentatifs différents : Episode2

C'est dans l'analyse des énoncés des élèves à la question : « *Comment réagissez-vous maintenant (après enseignement) aux affirmations de Joé Crews³ ?* » que nous avons relevé un premier indice d'une évolution épistémologique des élèves. Nous avons relevé des connecteurs marquant l'opposition et la différence, tels que *mais, alors que, tandis que*, indiquant que les élèves ont affirmé le fait de reconnaître l'existence de deux explications à la diversité du vivant. Ces explications sont différentes, du fait qu'elles relèvent de deux référentiels argumentatifs différents.

Exemples d'interventions :

Glb : 16-Asma : ... Il y a les idées scientifiques *mais*, il y a les idées religieuses .. Les deux idées sont : la première celle de l'ancêtre commun et la deuxième celle que Dieu a créé les êtres vivants. Avant, nous ne pouvions pas différencier les deux. Maintenant, je pense, hein ? Que nous sommes capables de différencier les deux idées.

GIIB : 41-Sawsen : Si, on se penche du côté de la référence religieuse : Tout a été créé, sous la forme où il existe là maintenant ... Nous, nous ne pouvons rien y ajouter ... Telles, les choses, ont été créées, telles nous les voyons et devons les accepter *alors que*, si nous suivons une démarche scientifique, nous allons chercher, pourquoi les êtres sont ainsi, ils ont évolué, comment ? Qu'est-ce qui prouve qu'ils ont évolué ? Autrement dit, nous (élèves) allons nous comporter comme les gens du domaine scientifique. Ils cherchent, ils tentent de retrouver des solutions.

Discuter de la validité de la preuve scientifique : Episode 3

Les élèves en sont arrivés à discuter de la validité scientifique de la démarche de validation de l'évolution biologique. En voici une illustration avec la séquence prélevée dans l'épisode 3 du transcript du groupe Glb :

23-Chaima : Pour avoir de bonnes preuves ..., *il faut expérimenter*. Sincèrement, sans ces preuves expérimentales, je reste hésitante entre ce qui est scientifique et ce qui est théologique.

24-Nouha : ... De plus, *il pense que les fossiles ne constituent pas de bonnes preuves au contraire*, les fossiles constituent *une preuve de valeur* car ils ont permis de retrouver des *ressemblances* et de faire des *comparaisons* entre la vie *actuelle* et la vie *ancienne*. Ces *observations* montrent d'une façon claire, qu'il y a eu une évolution.

25-Kheiri : ... Ce qu'a fait Darwin⁴ est une étude sous forme d'*enquête* et non sous forme d'expériences. Il y a une différence entre une preuve sous forme d'une enquête et une preuve sous forme d'une expérience.

26-Chaima : Oui, mais les expériences sont toujours de *bonnes preuves pour convaincre*.

27-Asma : Tu réalises un peu, *le temps qu'il te faut pour réaliser un phénomène évolutif* ?

28-Kheiri : Dans notre cas, *il faut une enquête...étude basée sur l'observation*. Ce n'est pas une expérience.

L'élève Chaima ne paraît pas avoir dépassé la conception « la preuve en science ne peut être que expérimentale ». Les élèves Asma, Kheiri et Nouha ont tenté d'argumenter la validité de

³Crews est un créationniste contemporain. Son texte prélevé dans le site (CREWS.J., 1999, <http://www.decouverte.org/doctrine/bds/evolution.html>, visité le 19 décembre 1999.) a été étudié par les élèves.

⁴ Les élèves continuent à attribuer la théorie de l'évolution à Darwin pourtant l'enseignement de l'évolution biologique qu'ils ont suivi a porté sur la théorie synthétique.

la démarche de l'enquête en tant que démarche de validation de l'évolution biologique, pour montrer à Chaima que l'expérimentation ne pouvait s'y appliquer.

Se poser d'autres questions, se poser des questions plus précises: Episode 4

Nous avons ressenti chez les élèves un besoin de savoir plus concernant, en particulier, l'origine de la vie, l'origine de l'ancêtre commun et la réversibilité des processus évolutifs.

Un seul référentiel argumentatif

Si nous intégrons les différents indices d'une transformation épistémologique au cours des épisodes successifs, comme, à l'épisode 2, les élèves semblent capables de différencier les référentiels argumentatifs, le fait qu'ils n'ont utilisé qu'un seul registre langagier lors de l'épisode 1 peut constituer un indice supplémentaire de leur évolution épistémologique.

Résultat global

La capacité des élèves à différencier des référentiels argumentatifs, scientifique et non scientifique, peut être retenue comme indicateur d'une transformation épistémologique. Elle a été caractérisée par un repérage et une intégration des éléments suivants lors des interactions verbales des élèves :

- utiliser un seul référentiel argumentatif à la fois,
- affirmer le fait de reconnaître l'existence d'au moins deux explications différentes à la diversité du vivant,
- discuter de la validité de la preuve en science,
- se poser d'autres questions.

En suivant l'évolution épistémologique de chaque élève du sous-groupe classe, nous retrouvons le résultat global suivant relatif à la caractérisation des référentiels argumentatifs :

- Avant enseignement : 18 élèves sur les 18 participants au pré-test (une élève s'est absentée au pré-test) ne différencient pas les référentiels argumentatifs.
- Après enseignement : 12 élèves semblent capables de différencier les référentiels argumentatifs sur les 18 participants (mais réellement le résultat est de 12 sur 14 élèves).

Conclusion

Le dispositif didactique conçu intègre à l'enseignement de l'évolution une réflexion épistémologique dont l'objectif est de déstabiliser l'obstacle « amalgame des référentiels argumentatifs ». L'évaluation semble montrer une transformation épistémologique des élèves. En effet, outre le fait d'avoir reconnu l'existence de deux explications différentes de la diversité, ils ont spécifié les différences et les arguments entre les deux référentiels. Ils ont justifié la légitimité scientifique des démarches de l'évolution biologique. Ils ont utilisé un seul registre langagier argumentatif, celui de l'évolution biologique, et ils ont exprimé un besoin d'en savoir plus, sur l'origine du vivant et sur la réversibilité du phénomène évolutif. De tels résultats semblent nous ouvrir la voie pour affirmer qu'il y aurait une possibilité de faire recouvrer, un tant soit peu, un statut scientifique à l'enseignement de l'évolution biologique, en y intégrant une réflexion épistémologique, initiant aux critères de scientificité de la théorie de l'évolution biologique et à sa méthodologie.

Bibliographie

- AROUA Saïda, COQUIDE Maryline et ABBES Salem, 2001, "Les rapports d'élèves tunisiens à l'évolution biologique et leurs référentiels d'argumentations", in Actes du Colloque Actualité de la recherche en didactique des sciences expérimentales et des techniques, Deuxièmes Rencontres Scientifiques de l'ARDIST, (Carry-le-Rouet, octobre 2001, Skolé, Numéro hors série, 177-187.
- AROUA Saïda, COQUIDE Maryline et ABBES Salem, 2002, L'évolution biologique : Conceptions et rapport au savoir d'élèves tunisiens. Actes des XXIVes J.I.E.S., Des cultures, des techniques, des sciences. Chamonix, mars 2002. 265-268.
- AROUA Saïda, 2003, "Débat et argumentation autour de la diversité du vivant chez des élèves de terminales sciences expérimentales", in Revue de la Faculté des Sciences de Bizerte, juillet 2003, pp : 128-137.
- BARDIN Laurence, 1977, (4^e éd.1986), L'analyse de contenu, Le Psychologue, PUF.
- BISCHOP Beth A, ANDERSON Charles W, 1990, Student conceptions of natural selection and its role in evolution, in Journal of research in science teaching, vol. 27.5, pp: 415-427.
- BIZZO Nelio Marco Vincenzo, 1994, from down house Landford to Brazilian high school students : What has happened to evolutionary knowledge on the way?, in Journal of Research in Science Teaching, vol.31, n°5, pp : 537-556.
- CHABCHOUB.Ahmed, 2001, Rapports aux savoirs scientifiques et culture d'origine, in CARLOT Bernard, 2001, Les jeunes et le savoir. Perspectives internationales, Paris : Anthropos.Education, pp : 117-132.
- DAGHER Zoubeida R. et BOUJAOUDE Saouma., 1997, Scientific views and religious beliefs of college students: The case of biological evolution, in Journal of Research in Science Teaching, vol.34, n°5, pp : 429-445.
- FORTIN Corinne, 1993, L'Évolution : Du mot aux concepts, Etudes épistémologiques sur la construction des concepts évolutionnistes, et les difficultés d'une transposition didactique adéquate. Thèse de doctorat. Université ParisVII.
- GRIMOULT Cédric., 2000, Histoire de l'évolutionnisme contemporain en France 1945-1995. Genève-Paris : Librairie Droz.
- HARAIRI Sameh et COQUIDE Maryline, 2002, Attitudes d'élèves tunisiens par rapport à l'évolution biologique. Aster, n° 35, Paris : INRP.
- JEFFERY Kodi R, 1994, A study of the presence of evolutionary protoconcepts in pre-high school textbooks, in Journal of Research in Science Teaching, vol.31, n°5, pp : 507-518.
- JACKSON David F et al., 1995, Heart and minds in the science classroom: The education of a confirmed evolutionist, in Journal of Research in Science Teaching, vol.32, n°6, pp : 585-611.
- JACOB François, 1970, La logique du vivant, une histoire de l'hérédité, tel Gallimard.
- JIMENEZ ALEIXANDRE Maria, 1994, Teaching evolution and natural selection: A look at textbooks and teachers, in Journal of Research in Science Teaching, vol.31, n°5, pp : 519-535.
- MATHY Phillipe, 1997, Donner du sens aux cours de sciences, Des outils pour la formation éthique et épistémologique des enseignants, PED, DE Boeck Université.
- MAYER Ernst., 1982, trad.fr.1989, Histoire de la biologie, Diversité, évolution et hérédité, Le Temps des sciences, Fayard.
- ROTH Wolff Michael et al, 1997, The interaction of students' scientific and religious discourse: two case studies, in Journal of Research in Science Teaching, vol.19, n°2, pp : 125-146.
- STENGERS Isabelle, 1995, L'invention des sciences modernes. Flammarion.

Raisonnements des étudiants en électromagnétisme

BAGHERI-CROSSON Roja, Chercheur associée, VENTURINI Patrice, Maître de conférence, LEFÈVRE Richard, Professeur, Laboratoire d'Etude des Méthodes Modernes d'Enseignement- LEMME- Université Paul Sabatier- Toulouse

Introduction et question de recherche

Les travaux de recherche, qui en didactique de la physique ont porté sur l'électromagnétisme sont rares. Ces derniers (Tarisco Borges et Gilbert, 1998, Venturini et Albe, 2003...) ont montré que les étudiants éprouvent des difficultés à donner un sens physique aux concepts de l'électromagnétisme et à établir des liens entre eux. Ils utilisent également des formules et définitions de manière procédurale. Cependant, aucun de ces travaux, à notre connaissance, ne s'était intéressé à l'origine de ces difficultés. C'est à cette question que le travail que nous avons mené dans le cadre d'une thèse¹ a tenté de répondre. Cette étude a été réalisée en deux temps : dans un premier temps nous avons cherché à confirmer l'existence des difficultés déjà repérées par les travaux antérieurs sur notre groupe d'étude (Bagheri, Venturini et Lefèvre, 2002) et dans un second temps nous avons tenté d'identifier l'origine de ces difficultés en nous intéressant à la manière dont les étudiants mobilisent, dans leurs raisonnements, le concept de champ magnétique et les concepts associés. Pour cela nous nous sommes basés sur la théorie des champs conceptuels élaborée par Vergnaud (1990). Cette théorie nous a permis notamment d'identifier l'organisation des conduites des étudiants dans différentes situations mettant en jeu le concept de champ magnétique. La méthodologie utilisée puis les résultats (illustrés à l'aide d'un exemple) obtenus ainsi que leur interprétation sont proposés ci-dessous.

Cadre général de la méthodologie

Le but de notre recherche étant de connaître la manière dont les étudiants mobilisent le concept de champ magnétique, nous avons choisi d'effectuer des entretiens avec eux. La verbalisation constituant d'après Vergnaud (1998) un moyen de « *rendre compte de l'activité cognitive d'un sujet humain dans une tâche ou situation donnée* », nous avons proposé aux étudiants au cours d'un entretien, des situations qui ont pour objet de décrire, prévoir et interpréter des phénomènes électromagnétiques. Pour comprendre la manière dont le concept de champ magnétique est utilisé en « situation » par les étudiants, nous sommes amenés à analyser la manière dont ils raisonnent, dans différentes situations qui mettent en jeu ce concept. Ainsi, nous cherchons à identifier dans les raisonnements que les étudiants font, les buts ou les sous-butts qu'ils se fixent, à connaître les invariants opératoires qu'ils utilisent et à repérer les inférences qu'ils effectuent afin d'atteindre les buts fixés. Ces informations nous permettront de préciser leurs schèmes, autrement dit l'éventuelle organisation invariante qui sous-tend leur conduite. Au cours de ces derniers, ils étaient donc invités à verbaliser leurs pensées non seulement de façon orale mais aussi à laisser des traces écrites (papier-crayon). Nous leur avons demandé des explications complémentaires lorsque l'explicitation des éléments utilisés n'était pas évidente au premier abord. Nous avons également testé la stabilité

¹ Soutenue en décembre 2004.

des réponses par le biais des relances (Weil-Barais, 1991). Chaque entretien a duré environ 80 minutes et a été enregistré et retranscrit en intégralité pour analyse. Ces entretiens de type semi-directif, ont été réalisés avec 17 étudiants volontaires dont 7 en Licence de Sciences Physiques, 3 en Licence de Physique fondamentale et 10 en fin de préparation au CAPES (tous issus du même DEUG « Sciences de la Matière »). La taille de l'échantillon interrogé nous conduit à considérer qu'il s'agit d'une étude de cas (Van der Maren, 1996). Nous leur avons proposé une première série de quatre situations prototypiques auxquelles ont succédé dans un ordre aléatoire, quatre situations ouvertes mais analogues quant aux invariants opératoires à mobiliser pour les résoudre. Nous avons fait le choix de ne pas proposer les situations ouvertes dans le même ordre que les situations classiques correspondantes pour que leur association ne soit pas immédiate. Nous avons choisi ces situations à l'aide des « éléments clés » que nous avons déterminés lors de notre étude préalable dont la compréhension est indispensable pour appréhender tous les phénomènes électromagnétiques², mais aussi en fonction des résultats obtenus lors de cette étude. En effet, ces situations mettent en jeu l'essentiel des propriétés du champ magnétique et concernent l'action du champ magnétique sur la matière, l'action du champ magnétique sur le courant électrique, le phénomène d'induction et le phénomène de propagation des ondes électromagnétiques. Une question concernant les sources du champ électrique et magnétique a été posée aux étudiants afin de compléter les informations recueillies lors des situations.

Traitement des données recueillies

Une partie des résultats a déjà fait l'objet de trois communications (Bagheri, Venturini et Lefèvre, 2003, 2004a et 2004b). Dans cette communication nous présenterons plus brièvement une autre partie de cette étude uniquement afin d'exposer la manière dont nous avons procédé. Nous avons choisi de relater un seul cas, Nicolas, un étudiant en fin de préparation au CAPES³. Nous avons développé, dans le cadre restreint de cette communication, seulement les résultats concernant une situation classique (l'action du champ magnétique sur la matière) et une situation ouverte (le phénomène de propagation des ondes électromagnétiques). Les étudiants étaient invités à décrire la situation et rendre compte du phénomène observé après avoir vu une photo qui représente le spectre magnétique d'un aimant droit réalisé avec de la limaille de fer. Ils étaient ensuite invités à expliquer le fonctionnement du téléphone portable⁴ (*on émet un signal ici avec un téléphone portable, comment peut-on le recevoir dans une autre ville ou à l'autre bout de la ville ?*) en utilisant les mêmes invariants opératoires que pour la situation classique correspondante concernant la

² Ces éléments clés concernent les sources du champ électrique et magnétique, la notion de champ, les lignes de champ, le flux du champ, le lien entre le champ magnétique et le champ électrique en régime variable (le phénomène d'induction), les équations de Maxwell et le phénomène de propagation du champ magnétique.

³ Ne pouvant développer plusieurs cas compte tenu de la taille de cette communication, nous avons choisi de retenir un cas particulier illustrant une conduite très courante et une plus rare.

⁴ Ils pouvaient par exemple, utiliser des éléments de réponses suivants : « L'onde électromagnétique émise d'un téléphone portable, se propage de proche en proche. Les communications par téléphones mobiles cellulaires sont transmises grâce aux ondes électromagnétiques qui se propagent entre le mobile, l'antenne et la station-relais. Lorsqu'on se déplace, le mobile se met automatiquement en liaison avec l'antenne la plus proche. L'onde électromagnétique est composée d'un champ magnétique variable et d'un champ électrique. Ce dernier varie à son tour et crée un champ magnétique variable et ainsi de suite. L'onde électromagnétique est ensuite reçue par l'antenne du téléphone portable destinataire et selon la forme de l'antenne (circulaire ou rectiligne) le champ électrique ou magnétique met en mouvement ses électrons libres. Il y a donc l'apparition d'un courant électrique qui est ensuite converti en son ».

propagation du champ magnétique⁵ et également ceux du phénomène d'induction électromagnétique⁶.

Invariants opératoires utilisés

Situation « aimant-limaille de fer »

Explication « spontanée »⁷ et raisonnement « inféré »⁸

- Prise d'information sur le réel : Nicolas reconnaît l'aimant sur la photo.
- Identification du phénomène : « *alors c'est pour mettre en évidence les lignes de champ magnétique, chaque limaille de fer agit comme un dipôle et elle s'oriente une face nord et une face sud suivant le sens du champ magnétique* ». Nous supposons que les théorèmes-en-acte⁹ suivants sont à l'origine de cette réponse : 1) « un aimant crée un champ magnétique » ; 2) « la limaille de fer et l'aimant mettent en évidence les lignes de champ magnétique » ; 3) « la limaille de fer agit comme un dipôle magnétique sous l'action du champ magnétique » ; 4) « la limaille de fer s'oriente une face nord et une face sud suivant la direction du champ magnétique ».

Commentaire :

- La réponse de Nicolas est proche du phénomène observé (descriptive). Sa réponse est acceptable mais il n'explique pas ce qui met les grains en mouvement.

Explications « sollicitées »¹⁰

Objet de la question	Réponse de l'étudiant	Raisonnement inféré ¹¹
L'origine du champ	« <i>C'est du ferromagnétisme je crois, l'aimant crée un champ magnétique</i> ».	Un aimant crée un champ magnétique (théorème-en-acte).

⁵ Les étudiants devaient expliquer si l'orientation de tous les grains de limaille de fer sous l'action du champ magnétique de la bobine était instantanée et concomitante ou non, quand on saupoudre de limaille de fer le circuit posé sur une plaque de Plexiglas.

⁶ Cette situation est relative à l'action d'une variation du flux du champ magnétique sur les charges électriques d'un circuit. Nous avons demandé aux étudiants d'interpréter le phénomène suivant en leur montrant une figure comportant un aimant et une spire conductrice : *On approche un aimant droit d'une spire, se passe-t-il quelque chose ? Si oui, interpréter le phénomène.*

⁷ Les explications des étudiants obtenues pour les différentes situations sans sollicitation supplémentaire de notre part et produites à l'aide des apprentissages antérieurs.

⁸ Par le chercheur.

⁹ Énoncés (ou propositions) tenus pour vrais par le sujet (Vergnaud, 1990).

¹⁰ Les explications produites dans un second temps à la suite de questions et de relances de notre part.

¹¹ Nous appelons « raisonnements inférés », les raisonnements déduits par le chercheur à partir des propos tenus par les étudiants. En effet, nous identifions les invariants opératoires utilisés et nous inférons le raisonnement des étudiants en articulant les invariants mobilisés. Nos propositions ont un caractère hypothétique. Toutefois, les questions étant circonscrites, les invariants opératoires susceptibles d'être utilisés sont en nombre réduit. Cela facilite leur identification et conforte la probabilité que celle-ci soit pertinente. Par ailleurs, même si nous n'en présentons qu'une, il existe souvent plusieurs possibilités d'articulation entre ces invariants, liées à une organisation chronologique différente du raisonnement, le caractère éventuel de la solution que nous proposons ne remet pas en question les conclusions qui seront tirées.

Objet de la question	Réponse de l'étudiant	Raisonnement inféré ¹¹
Expliquer l'orientation des grains	« Ah c'est des questions qu'on ne s'est jamais posées ça ! Euh il y des électrons libres dans la limaille et je pense que le champ magnétique agit sur ces électrons et que c'est en fonction de l'effet sur ces électrons que ça oriente la limaille, je ne vois pas autre chose ».	- Il existe des électrons libres dans la limaille de fer (théorème-en-acte). - Le champ magnétique agit sur des électrons libres de la limaille et oriente cette dernière (théorème-en-acte).
Définition du champ magnétique	« Quand on dit qu'il y a un champ dans une région de l'espace et qu'on y place une charge, elle subira un mouvement, si elle est déjà en mouvement, elle subit une déviation mais aucune accélération. C'est le champ électrique qui accélère ».	- Le champ magnétique agit sur une charge électrique immobile pour la déplacer (théorème-en-acte). - Le champ magnétique agit sur une charge électrique en mouvement pour la dévier (théorème-en-acte). - Le champ électrique agit sur une charge électrique en mouvement pour l'accélérer (théorème-en-acte).
Définition en une phrase	« C'est l'effet que subirait si on mettait une particule chargée électrique dedans ».	Le champ magnétique agit sur une particule chargée pour la dévier ou la déplacer (théorème-en-acte).
Lignes de champ	« Elles représentent la direction du champ magnétique ».	Les lignes de champ représentent la direction du champ magnétique (théorème-en-acte).
Si on jette la limaille de fer loin de l'aimant	« Si c'est loin il n'y aura pas d'effet de l'aimant sur la limaille ».	Loin de l'aimant, la limaille de fer ne s'oriente pas (théorème-en-acte).

Commentaire :

- Le sens et l'intensité du champ magnétique ne sont pas indiqués.
- Nicolas n'évoque pas le « moment magnétique » pour expliquer le mouvement des grains.
- Nicolas n'a pas de regard critique sur ses propos. En effet, il évoque l'action du champ magnétique sur les électrons libres de la limaille de fer alors que ces derniers ont un mouvement aléatoire et non pas ordonné.
- Cet étudiant confond le champ et ses effets sur une particule électrique.

Situation « téléphone portable »

Explications « spontanées » et raisonnement « inféré »

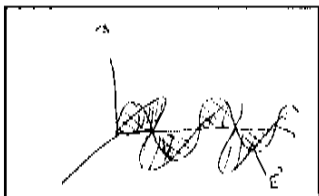
- Nicolas pense que « c'est sûrement modulé, en fait les ondes sonores sont de fréquences assez basses et donc à longue distance ce n'est pas suffisant pour aller à l'autre téléphone... ». Nous supposons que les théorèmes-en-acte suivants sont à l'origine de ce raisonnement : 1) « le téléphone portable fonctionne avec des ondes sonores » ; 2) « les ondes sonores sont de basses fréquences » ; 3) « pour des longues distances, l'onde sonore ne peut être transmise » ; 4) « les ondes sonores sont modulées à hautes fréquences pour le téléphone portable ».

Commentaire :

- Nicolas évoque les ondes sonores et non pas les ondes électromagnétiques. Il fournit une explication très approximative qu'il n'approfondit pas.

Explications « sollicitées »

Il s'agit ici d'une partie des explications « sollicitées » fournies par Nicolas.

Objet de la question	Réponse de l'étudiant	Raisonnement inféré
Type du signal émis ou reçu	Des ondes hertziennes.	Le téléphone portable utilise des ondes hertziennes (théorème-en-acte).
Quel type d'onde ?	« Des ondes électromagnétiques. Donc cette onde porteuse de hautes fréquences/ ah oui il y a aussi un satellite ! c'est lui qui repère le téléphone qu'on veut joindre ».	- Le téléphone portable utilise des ondes électromagnétiques (théorème-en-acte). - L'onde électromagnétique est porteuse de hautes fréquences (théorème-en-acte).
Transmission de l'onde	« Euh c'est des photons en déplacement ? ».	La transmission de l'onde électromagnétique est un déplacement de photons (théorème-en-acte).
Transmission instantanée ou non ?	« ...ça se propage de proche en proche ?! d'atome en atome ?! parce qu'on ne peut pas émettre comme ça un champ qui a une continuité comme ça, peut-être qu'au niveau des molécules de l'atmosphères, il y a un champ magnétique et un champ électrique... ».	- L'onde électromagnétique se propage de proche en proche (d'atome en atome) (théorème-en-acte). - A l'onde électromagnétique sont associés un champ électrique et un champ magnétique (théorème-en-acte).
Nature des champs	- « Je me souviens des schémas, c'était des sinusoides donc ça doit être variable ». - (il dessine) « on disait que ça, ça représentait le champ électrostatique perpendiculaire à un autre » : 	L'onde électromagnétique est représentée par des champs électrostatique et magnétique variables et perpendiculaires l'un à l'autre (théorème-en-acte).
Des champs variables et électrostatiques ?	« Oui oui on peut avoir des champs électrostatiques et variables, c'est possible, c'est le mouvement quoi.... si je mets un signal avec un champ électrique et un champ magnétique, ça a des conséquences sur des électrons je pense, ils sont eux-mêmes constitués d'électrons et donc/ peut-être que quand on met un signal, ça crée chez les électrons proches un champ induit électrostatique et ainsi de suite se propage de proche en proche mais je ne suis pas convaincu ! ».	- Un signal composé d'un champ électrique et d'un champ magnétique, a des conséquences sur des électrons (théorème-en-acte). - Les champs électrique et magnétique sont composés d'électrons (théorème-en-acte). - Un signal composé de champs électrique et magnétique, induit un champ électrostatique dans les électrons proches (théorème-en-acte).
Que veut dire électrostatique ?	« Oui il y a le mot statique ! ben alors je ne sais pas ce que ça représente ces ondes enfin ces sinusoides ».	

Commentaire :

- Aucun contrôle productif ne semble présent sur le raisonnement de Nicolas. Il dessine par exemple deux sinusoïdes pour représenter l'onde électromagnétique en disant qu'il s'agit d'« une onde électrostatique perpendiculaire à une autre onde ». Cependant, le terme d'« onde » est incompatible avec celui d'« électrostatique » ! En effet, un champ électrostatique peut être représenté par une sinusoïde car il peut n'être variable que dans l'espace, mais non pas lorsqu'on emploie le terme d'« onde » qui est obligatoirement variable aussi dans le temps. Quand il est interrogé sur le terme « électrostatique », il ne peut en fournir une explication.
- Cet étudiant évoque également le fait que le champ électrique et le champ magnétique ont des conséquences sur des électrons et termine ses propos par le fait que ces champs eux-mêmes sont constitués d'électrons. Un milieu matériel doit encore lui sembler nécessaire pour la propagation « de proche en proche » de l'onde. De plus, tantôt il évoque l'onde électrostatique et tantôt l'onde électrique. Il n'a pas de regard critique sur ses propos.

L'organisation des conduites

Nous proposons d'expliquer ci-dessous, la conduite de Nicolas face à une situation ouverte et une situation classique et ce lors des explications « spontanée » et « sollicitées ». Ces commentaires sont valables pour les quatre situations classiques et ouvertes proposées concernant cet étudiant.

Situation classique, explication « spontanée »

- Nicolas commence par une prise d'information sur le réel en regardant le dessin que nous lui proposons en résumant parfois la situation (exemple pour la situation « aimant-limaille de fer » : « *alors c'est pour mettre en évidence les lignes de champ magnétique* »).
- La deuxième phase consiste à énoncer quelques invariants opératoires « R-C » (un élément du réel mis en relation avec un élément conceptuel) comme par exemple « un aimant crée un champ magnétique » et les combiner. Les invariants opératoires sont formulés de manière « générique »¹² (cf. exemple précédent).

En résumé, le schème de cet étudiant face aux situations classiques et lors des explications fournies de manière spontanée est le suivant : Nicolas combine de manière formelle¹³ des invariants opératoires « R-C » en les formulant de manière « générique » et ce sans contrôle apparent et productif du raisonnement.

Situation classique, explications « sollicitées »

- Cet étudiant énonce des invariants opératoires mais ne les combine pas. De plus, il n'a pas de regard critique sur ses propos. Par exemple, lors de la situation « aimant-limaille de fer » il n'évalue pas l'adéquation de sa réponse avec le but fixé.
- Les invariants opératoires sont énoncés sous forme « générique » comme par exemple « un aimant crée un champ magnétique » pour la situation « aimant-limaille de fer ».
- Nicolas ne mobilise pas d'invariants opératoires interprétatifs de « niveau universitaire ».

En résumé, le schème de cet étudiant face aux situations classiques et lors des explications fournies de manière sollicitée est le suivant : Nicolas formule de manière « générique » les invariants opératoires « R-C » sans les combiner et ce sans contrôle apparent et productif du raisonnement.

¹² Des invariants opératoires exprimés dans un contexte général en physique.

¹³ Sans attribuer des significés aux signifiants utilisés.

Situation ouverte, explication « spontanée »

- Nicolas mobilise des invariants opératoires interprétatifs en mettant en relation un élément du réel avec un élément conceptuel (« R-C » comme par exemple « le téléphone portable utilise des ondes hertziennes ») ou deux éléments conceptuels (« C-C » comme par exemple « la transmission de l'onde électromagnétique est un déplacement de photons ») et effectue la plupart du temps une combinaison de ces invariants (cf. page 5).
- Il ne reconnaît pas la situation classique correspondante (qui n'est pas évoquée dans ce texte) comme solution possible pour interpréter le phénomène lors d'une situation ouverte comme celle du « téléphone portable » (cela est également le cas pour les autres situations proposées). Les invariants opératoires sont exprimés de façon « générique » (exemple pour la situation « téléphone portable » : « les ondes sonores sont de basses fréquences »).

En résumé, le schème de cet étudiant face aux situations ouvertes et lors des explications fournies de manière spontanée est le suivant : Nicolas combine de manière formelle des invariants opératoires « R-C » et « C-C » en les formulant de manière « générique » et ce sans contrôle apparent et productif du raisonnement.

Situation ouverte, explications « sollicitées »

- Nicolas ne reconnaît toujours pas d'analogie entre les situations classiques et les situations ouvertes correspondantes (comme par exemple pour la situation « téléphone portable »). Cela est probablement dû au fait qu'il éprouve des difficultés pour interpréter le phénomène concernant la situation prototypique autrement dit, il ne dispose probablement pas des invariants opératoires nécessaires. En effet, certains concepts sont absents dans les propos de cet étudiant comme par exemple celui de « flux » ou de « force électromotrice » pour interpréter le phénomène d'induction.
- Il ne vérifie pas la cohérence de ses propos. Par exemple, lors de la situation « téléphone portable », il évoque l'onde électrostatique.
- Les invariants opératoires sont exprimés de manière « générique » (exemple : « un courant électrique crée un champ magnétique » lors de plusieurs situations).
- Nicolas mobilise très peu d'invariants opératoires interprétatifs (« C-C ») de niveau universitaire.

En résumé, le schème de cet étudiant face aux situations ouvertes et lors des explications fournies de manière sollicitée est le suivant : Nicolas combine de manière aléatoire¹⁴ d'invariants opératoires « C-C » et « R-C » en les formulant de manière « générique » et ce sans contrôle apparent et productif du raisonnement.

Conclusion

Le but de cette recherche a été de comprendre comment le concept de champ est utilisé par les étudiants et ce afin de comprendre l'origine des difficultés des étudiants repérées lors de notre étude préalable mais aussi par d'autres travaux. Pour cela nous nous avons mobilisé la théorie des champs conceptuels de Gérard Vergnaud (1990). Nous avons tenté de saisir la dynamique du fonctionnement cognitif des étudiants en inférant leurs raisonnements (en l'articulant à partir de leur propos) et en repérant les invariants opératoires utilisés. Nous avons ainsi identifié le schème mis en œuvre par les étudiants interrogés. Nous constatons un fonctionnement satisfaisant de notre procédure d'analyse. En effet, il nous a permis d'analyser des différents comportements d'étudiants dans diverses situations. Dans cette communication nous avons souhaité particulièrement d'exposer la manière dont nous avons procédé (la méthodologie et un exemple qui l'illustre).

¹⁴ Les invariants opératoires sont énoncés de manière aléatoire et sans contrôle sur le raisonnement.

Les résultats obtenus de l'entretien avec Nicolas montre les signifiés correspondants aux signifiants utilisés posent problème. Cet étudiant ne porte pas de regard critique sur ses propos et n'appréhende pas la situation non problématisée (ouverte). Nicolas ne contextualise pas les invariants opératoires utilisés sur les situations proposées. Cette constatation vaut également pour les autres situations classiques et ouvertes. Les conclusions que nous proposons ici ne sont pas seulement spécifiques de Nicolas.

Références bibliographiques

BAGHERI Roja, VENTURINI Patrice et LEFÈVRE Richard, 2002, « Le concept de champ magnétique et les phénomènes associés chez les étudiants du premier cycle à l'université », in : André TERRISSE (coord.), « Concepts et méthodes », *Les Dossiers de Sciences de l'Education*, Presses universitaires du Mirail, n°8, pp.23-32.

BAGHERI Roja, VENTURINI Patrice et LEFÈVRE Richard, 2003, « La mobilisation du concept de champ magnétique par des étudiants en premier cycle universitaire », in Actes du Colloque International sur l'enseignement des sciences, *Expérimentation et Construction des concepts* (IUFM de Charleville-Mézières, 12, 13 et 14 Mai 2003), à paraître.

BAGHERI-CROSSON, Roja, VENTURINI Patrice et LEFÈVRE Richard, 2004a, « Invariants opératoires mobilisés en électromagnétisme et schèmes associés : une étude de cas chez les étudiants de premier cycle universitaire », en séance plénière in Actes du Colloque International *Les processus de conceptualisation en débat : Hommage à Gérard Vergnaud* (Clichy-la-Garenne et La Sorbonne, 28-31 janvier 2004), à paraître.

BAGHERI-CROSSON Roja, VENTURINI Patrice et LEFÈVRE Richard, 2004b, « Etude approfondie des raisonnements en électromagnétisme à partir de la théorie des champs conceptuels : une étude de cas à l'université », texte de communication, Congrès International AECSE, (CNAM Paris, 31 Août-4 septembre 2004), à paraître.

TARISCO BORGES, A. et GIBERT, J. K., 1998, « Models of Magnetism », *International Journal of Science Education*, 20 (3), 361- 378.

VAN DER MAREN Jean-Marie, 1996, *Méthode de recherche pour l'éducation*, Montréal, De Bocock université.

VENTURINI Patrice et ALBE Virginie, 2003, « Interprétation des similitudes et différences dans la maîtrise conceptuelle d'étudiants en électromagnétisme à partir de leur(s) rapport(s) au(x) savoir(s) », *Aster*, n°35, pp.165-186.

VERGNAUD Gérard, 1990, « La théorie des champs conceptuels », *Recherche en Didactique des Mathématiques*, 10 (2.3), pp.133-170.

WEIL-BARAIS Annick, 1991, *La recherche en psychologie*, Paris, Dunod.

Acquisition de $P = mg$ en classe de troisième. Compréhension du phénomène physique et manipulation de la formule

BALDY Elise, doctorante EDIIS (Ecole Doctorale : Informatique et Information pour la Société, Lyon I), Laboratoire LIRDEF, IUFM de l'académie de Montpellier, France.

Introduction

Ce travail porte sur l'apprentissage de la notion de gravitation par des élèves de troisième. Normalement, après enseignement, les élèves doivent avoir compris le phénomène physique et savoir manipuler la formule $P = mg$ reliant le poids et la masse. L'expérience de nombreux enseignants suggère que ces objectifs ne sont pas atteints et que les élèves ne savent pas effectuer des applications numériques. Nous tentons de comprendre les raisons de ces difficultés en établissant des relations entre la capacité à manipuler la formule et les autres capacités des élèves en physique et en mathématiques.

Cadre théorique

La maîtrise de la formule $P = mg$ s'appuie sur la compréhension de son sens physique (reconnaissance des concepts et de leurs relations en liaison avec le phénomène) et la capacité à la manipuler. Le phénomène physique, dont il est question ici, est celui de la gravitation et de son effet sur les corps : les corps tombent car ils sont attirés vers la Terre (ou vers le centre d'un astre). En classe de troisième, cette force d'attraction est nommée poids. Si comme le dit Galilée, "le livre de la nature est écrit en langage mathématique...", il faut comprendre ce langage. Dans le cas étudié, les élèves peuvent, en outre, rencontrer un obstacle sémantique : le même symbole "g" renvoie à l'unité de gramme et à intensité de la pesanteur, d'autant plus que ces deux signifiés appartiennent au même champ conceptuel.

Manipuler une formule signifie être capable de l'utiliser et de la transformer correctement de manière à résoudre des applications numériques. Cette compétence est proche de la manipulation algébrique de $y = ax$. Cependant, on ne raisonne pas de la même manière sur une notion suivant le cadre de rationalité (Lerouge, 2000) auquel on la rattache : mathématique ou physique, par exemple. Le calcul algébrique appartient *a priori* au cadre mathématique alors que le contexte de l'exercice induit l'utilisation d'un cadre physique. Pour Develay et Meirieu (1992), le transfert d'une connaissance d'une situation à une autre s'appuie sur sa décontextualisation. Cette dernière peut-être décrite comme une réélaboration abstraite dans un cadre commun, un "méta-cadre" (Baldy, 2003). Bassok et Holyoak (1996) ajoutent que la structure mathématique de la formule doit elle aussi être abstraite et stockée en mémoire.

Question de recherche

Notre objectif est de vérifier si les élèves savent ou non manipuler la formule et, dans la négative, de comprendre les raisons de leurs difficultés. Pour cela nous analysons les relations entre les compétences impliquées dans l'acquisition de $P = mg$. Nous notons : (P) la manipulation de cette formule, (ϕ) la compréhension du phénomène physique, (V) la capacité à verbaliser la formule, (Y) la capacité à manipuler $y = ax$ et (R) la reconnaissance de la proportionnalité entre le poids et la masse sous-tendant peut-être son transfert. Notons que ces compétences vont au-delà de celles indiquées dans le programme du BO n°10 du 15/10/98 (p. 131).

Méthodologie

L'expérimentation concerne 78 élèves de troisième d'un collège de la banlieue de Nîmes (30). La séquence d'enseignement que suivent les élèves se déroule sur trois séances. La première propose aux élèves de visionner des extraits d'une cassette montrant des cosmonautes marchant sur la Lune. Elle a pour objectif de faire évoluer les conceptions initiales des élèves. La deuxième présente le modèle du "plissement de l'espace-temps" en utilisant une "maquette édreton". Elle permet de comprendre la gravitation (les corps tombent car ils sont attirés vers la Terre) comme conséquence du plissement de l'espace-temps par la matière (à l'origine de "g" et de ses variations). La troisième propose aux élèves de construire expérimentalement la relation de proportionnalité entre le poids, la masse et l'intensité de la pesanteur ($P = mg$).

Nous tentons de répondre à la question : les symboles conservent-ils les propriétés des concepts ? Les élèves répondent à un questionnaire concernant le symbole "g" avant enseignement de la formule et un questionnaire relatif à $P = mg$ après son enseignement. Et nous analysons, après enseignement, les relations entre les compétences de chaque élève. Elles sont inférées des réponses à des questions formulées à partir d'hypothèses sur les conceptions des élèves. Nous effectuons le test statistique de la loi binomiale, les relations entre deux compétences ne sont pas dues au hasard pour $p < .05$.

Résultats

Les symboles conservent-ils les propriétés des concepts ?

Exemples de questions :

Que représente le symbole g ? Quelles sont ses propriétés ?

Faites une phrase pour traduire ce que signifie la formule $P = mg$.

Tableau 1 : compréhension de "g" pour les élèves (N = 78)

groupe 2	avant enseignement de la formule			après enseignement de la formule			
	"g" signifie intensité de la pesanteur	"g" signifie gramme	sans réponse	phrase correcte		confusion de "g"	sans réponse
				le poids est égal à la masse fois l'intensité de la pesanteur	le poids est égal à la masse fois "g"	le poids est égal à la masse en grammes ou aux milligrammes	
effectif	73	1	4	14	20	19	25

Avant l'introduction de la formule, les élèves associent "g" à l'intensité de la pesanteur. Après l'apprentissage de la formule, ils sont dix-neuf élèves à traduire "g" par gramme ou "mg" par milligrammes. Ce résultat paradoxal peut s'expliquer par le fait qu'avant enseignement la

question porte uniquement sur "g", alors qu'après enseignement l'élève doit faire parler la formule, c'est-à-dire nommer les concepts et leur relation. On peut penser aussi que la présentation de la formule "trouble" la signification attribuée au symbole "g".

Relations entre les différentes compétences des élèves

Nous considérons que l'élève possède la compétence s'il manipule correctement la formule $P = mg$ dans au moins cinq applications numériques sur les sept proposées, P (+) (on notera P (-) dans le cas contraire); s'il comprend le phénomène physique dans quatre exercices (*exemple : un cosmonaute quitte ses bottes sur la Lune, que se passe-t-il ? Justifiez votre réponse*). Si l'élève répond que le cosmonaute et les bottes restent sur le sol de la Lune à cause de l'attraction lunaire, nous considérons qu'il a une conception des faits et de leurs causes proche du modèle scientifique enseigné (ϕ). S'il répond que le cosmonaute flotte car il n'y a pas d'atmosphère ou d'attraction et qu'il a quitté ses bottes spéciales nous considérons que l'élève n'a pas compris le phénomène de la gravitation ; s'il verbalise correctement ce que signifie la formule $P = mg$ (*le poids est égal à la masse fois "g", le poids est proportionnel à la masse...*) (V) ; s'il manipule correctement $y = ax$ lors de l'application numérique dans un contexte mathématique (Y) ; s'il reconnaît explicitement la relation de proportionnalité entre le poids et la masse dans au moins l'une des trois questions proposées (R).

A partir de ces catégories (P, ϕ , V, Y, R), nous établissons les profils de compétences de chaque élève :

Tableau 2 : profils de compétences des élèves (N=78).

n°	profils menant uniquement à P(+)	effectif
1	ϕ V Y R	7
2	ϕ Y R	2
3	V Y R	1

n°	profils menant uniquement à P(-)	effectif
4	ϕ Y	8
5	ϕ	16
6	ϕ V R	1
7	ϕ R	2
8	Y	1
9	Y R	2
10	R	1
11	0	13

n°	profils menant à P(+) ou P(-)	effectif P(+)	effectif P(-)
12	ϕ V	1	8
13	V	1	1
14	V R	1	1
15	ϕ V Y	3	8

Nous constatons que parmi les seize élèves qui manipulent correctement $P = mg$ (cases grisées), sept élèves possèdent toutes les compétences étudiées. Les autres ont des profils très divers. On constate que la majorité des élèves manipulant correctement $P = mg$ comprend le phénomène physique (ϕ , $p = .011$), verbalise correctement la formule (V, $p = .002$) ou manipulent la formule $y = ax$ (Y, $p = .011$). Notons que la majorité des élèves qui verbalisent correctement $P = mg$ (V) comprennent le phénomène physique (ϕ , $p < .05$).

Si nous étudions les profils spécifiques à l'échec dans la manipulation de $P = mg$, globalement il manque la verbalisation (V) (on voit dans le tableau 2, que seul un sujet (profil n°6) la possède) et la manipulation de $y = ax$ (profils n°5, 6, 7, 10, 11). Treize élèves échouent à toutes les catégories de question (profil n°11).

Quatre profils correspondent soit à l'échec soit à la réussite de la manipulation de $P = mg$. Le profil n°12 correspondant plus fréquemment à l'échec, ne possède pas les compétences mathématiques (Y et R). Le profil n°15, possédant des compétences physiques (ϕ et V) et des compétences mathématiques (Y), correspond aussi bien à l'échec qu'à la réussite ($p = .113$). Notons que ces élèves ne reconnaissent pas la relation de proportionnalité entre le poids et la masse.

Discussion et conclusion

Après enseignement, **beaucoup d'élèves de troisième ne savent pas manipuler la formule $P = mg$** (62/78, soit 80%). L'objectif de notre recherche était d'en comprendre les raisons en étudiant les liens entre cette compétence et celles liées à la notion de gravitation ou au calcul algébrique.

Les résultats suggèrent que **la compréhension du phénomène physique et la capacité à verbaliser correctement la formule** favorisent la manipulation de $P = mg$. Notons que comprendre le phénomène n'implique pas comprendre la formule. En effet, **pour beaucoup d'élèves, la formule n'est pas clairement reliée aux connaissances conceptuelles** qu'elle exprime. Ils butent sur un obstacle sémantique et n'associent pas "g" au bon signifié. Cette incapacité peut être un obstacle à la manipulation de la formule.

Les compétences physiques, bien que nécessaires, suffisent rarement seules à la manipulation de $P = mg$. **La connaissance du calcul algébrique semble nécessaire**. Or, son transfert des mathématiques à la physique ne va pas de soi. D'après Mendelsohn (1998), le transfert ne peut s'effectuer que si l'élève reconnaît dans la tâche cible la même structure que celle de la tâche source stockée de manière abstraite en mémoire. On peut penser que les élèves manipulant correctement $y = ax$ mais pas $P = mg$ ne remarquent pas de similitude entre ces deux relations. On peut supposer qu'ils raisonnent en physiciens en focalisant leur attention sur le sens des symboles et n'extraient pas la structure algébrique de la formule. Nous pouvons penser que si ces élèves reconnaissaient la relation de proportionnalité cela les aiderait à transférer leurs connaissances. En effet, tous les profils menant uniquement à la réussite possèdent les deux compétences Y et R. Notons que les profils comportant uniquement des compétences mathématiques (Y ou R) ne mènent jamais à la réussite.

Il semble que les obstacles à la manipulation de $P = mg$ soient de deux sortes : certains élèves ne possèdent pas les compétences nécessaires (algébriques, compréhension du phénomène physique), d'autres ne sont pas capables de les exploiter : ils ne relient pas $P = mg$ au phénomène de la gravitation qu'ils connaissent ou ne transfèrent pas leurs connaissances mathématiques en physique. Des compétences à la fois en physique et en mathématiques sont nécessaires pour manipuler $P = mg$, encore faut-il être capable de les mobiliser.

Bibliographie

BALDY Elise, 2003, *Etude de la reconnaissance de la proportionnalité dans la relation entre le poids et la masse par les élèves de classes de troisième*, mémoire de DEA, Université Montpellier II et Lyon I

BASSOK Miriam et HOLYOAK Keith J., 1996, in : Alain LIEURY, *Manuel de psychologie de l'éducation et de la formation*, Paris, Dunod

DEVELAY Michel et MEIRIEU Philippe, 1992, *Emile reviens...ils sont devenus fous*, Paris, ESF éditeur

LEROUGE Alain, 2000 "Le culturel et le familier dans la conceptualisation de la droite en mathématique au collège : la notion de cadre de rationalité" *Recherches en Didactiques des Mathématiques*, vol. 20, n°2, pp. 171-207

MENDELSON Patrick, 1998, in : Bernard REY *Les compétences transversales en question*, Paris, ESF éditeur

Connaissances mises en œuvre par les enseignants de sciences physiques pour la préparation d'un cours

BÉCU-ROBINAULT Karine, Maître de Conférences, UMR ICAR (CNRS, ENS LSH Lyon, ENS Lyon, INRP, université Lyon 2), Lyon, France

Introduction

Notre recherche prend sa source dans un projet de formation d'enseignants de sciences physiques intégrant l'utilisation d'un site Internet dédié à cet usage, Pégase. Sa partie « formation », s'appuyant sur des pratiques réelles de classes et des savoirs d'enseignants experts (Anderson, 1986, Colomb, 1999), a pour objectif de permettre aux enseignants en début de carrière de mieux comprendre les élèves sur la base de résultats de recherches en didactique.

Les travaux de recherche sur les connaissances pratiques développées par les enseignants ont montré qu'elles sont liées d'une part à la discipline et d'autre part à la compréhension des difficultés d'apprentissage des élèves (Charlier & Charlier, 1998). Les connaissances des enseignants débutants et confirmés diffèrent en termes de cohérence (Van Driel and al. 1998). Ainsi, les enseignants expérimentés ont développé une structure conceptuelle dans laquelle les connaissances sur la discipline, l'enseignement, l'apprentissage et les élèves sont agencées de manière cohérente. Ce n'est pas nécessairement le cas des enseignants débutants qui sont souvent déçus que leur enseignement, construit en respectant la discipline universitaire, ne permette pas aux élèves d'être acteurs de leur apprentissage. L'objectif de notre projet de formation est de fournir des outils permettant à l'enseignant débutant d'enrichir et d'agencer de manière cohérente ses différents systèmes de connaissances.

Afin d'adapter la formation à la pratique de l'enseignant, nous avons choisi dans un premier temps de mieux comprendre quelles sont les connaissances que l'enseignant mobilise lors de la préparation d'un cours, et quelles sont les ressources attachées à ces connaissances. Le choix de ce moment n'est pas neutre. Lors de cette activité de préparation, les professeurs mettent en jeu ces différents types de connaissances et les articulent pour : choisir des activités, des exercices, fractionner la séance en différents moments, choisir une organisation de la classe, anticiper le temps à passer, les réactions des élèves, les difficultés, les erreurs, gérer les écrits des élèves, utiliser différents documents.

Cadre théorique

Le cadre théorique général de notre recherche se situe dans celui de la transposition didactique et de l'écologie des savoirs (Chevallard, 1991). Nous abordons la transposition et l'utilisation des connaissances en termes de lieux et de types de savoirs issus de la recherche disponibles pour la pratique professionnelle. Dans le cadre de cette étude, nous articulons les connaissances didactiques et professionnelles (Jones & al, 1999) et nous ne distinguerons pas savoirs et connaissances.

Nous faisons les hypothèses suivantes :

- la nature des connaissances (disciplinaire, didactique, institutionnelle...) mises en œuvre par les enseignants peut être liée à un lieu d'acquisition: formation disciplinaire, formation professionnelle initiale et continue, expérience du terrain...
- l'enseignant de sciences physiques travaille sur différents terrains (chez lui, au laboratoire, etc.). Les connaissances et les ressources utilisées sont fonction du lieu dans lequel il se situe.
- il existe des différences en terme de cohérence entre les connaissances des enseignants expérimentés et débutants.

Catégoriser les connaissances des enseignants revient souvent à distinguer discipline enseignée et pédagogie (Durand, 1996). Nous utiliserons les catégories décrites par (Shulman, 1986) qui partagent les savoirs en :

- savoirs disciplinaires, connaissances théoriques sur les différents objets de savoir liés à la discipline d'enseignement ;
- savoirs didactiques, concernant des aspects liés à la résolution de problèmes, à la gestion des erreurs, aux procédures cognitives utilisées par les élèves, aux difficultés d'apprentissage ;
- savoirs sur les programmes, tant du point de vue des concepts à enseigner que des compétences exigibles ;
- savoirs pédagogiques, relatifs à la gestion de la classe, à la prise en compte des différences entre élèves ;
- savoirs sur les apprentissages des élèves et la façon dont ils apprennent ;
- savoirs sur le contexte de l'établissement, de la classe ;
- savoirs sur les buts et les valeurs de l'éducation .

Les deux derniers types de savoirs, plus généraux, sortent du cadre strict de notre étude. Nous les conservons toutefois du fait de l'influence qu'ils exercent sur les choix des enseignants quant aux méthodes d'enseignement.

Dans cette étude exploratoire visant à spécifier les connaissances utilisées par les enseignants en amont de l'enseignement d'un concept, nous souhaitons apporter une réponse aux questions suivantes :

Quelles sont les connaissances explicitées par l'enseignant lors de l'entretien lorsqu'il évoque la construction de son cours ? Quelle est la nature de ces connaissances, leur mode d'acquisition et le lieu de leur utilisation ?

Les réponses que nous apporterons à ces questions permettront de définir les types de connaissances dont l'enseignant débutant a besoin pour accéder à une meilleure compréhension du fonctionnement cognitif des élèves, et de prévoir comment les lui fournir.

Méthodologie

Les entretiens d'explicitation

Les entretiens d'explicitation (Vermersch, 1994) sont un outil d'exploration des moyens et méthodes utilisés par les enseignants pour préparer un cours. Ils permettent le récit de leurs actions à un moment donné, repéré dans le temps et dans l'espace en référence à une situation particulière de construction de cours et non aux situations génériques de construction de séquences d'enseignement. Il s'agit de réduire au maximum les interprétations du sujet sur

son action et donc de le placer en situation d'évocation. Il doit raconter précisément ce qu'il s'est passé, en évitant toute autre considération qui ne serait pas de l'ordre de l'action, mais de celui des opinions, des jugements ou des généralités. Il s'agit de faire raconter au professeur comment il a fait pour préparer ce cours (et non tous ses cours). Le terme « cours » est pris volontairement dans un sens large (une ou plusieurs séances, un chapitre) sans être explicité à l'enseignant, pour ne pas l'influencer dans sa manière de parler de son activité de préparation de cours. Lors de l'entretien, un professeur vient avec un cours qu'il a préparé il y a peu de temps et les documents dont il s'est servi pour son élaboration.

La première partie de l'entretien consiste à retrouver le moment où l'action a été conduite. Une règle est de ne jamais poser de questions appelant des réponses rationnelles. Ce type de question peut soit bloquer l'enseignant car il n'a pas trouvé de rationalité à l'action conduite, soit le forcer à rechercher une rationalité artificielle. Les questions doivent favoriser la narration de la tâche et non l'interprétation de celle-ci, même s'il est difficile d'éviter, lors de l'évocation a posteriori de la tâche, les recherches implicites de rationalité. Lorsque l'enseignant s'interrompt dans l'évocation de la tâche, ce qui provoque une interruption du discours, il est important de ne pas laisser le récit s'arrêter et donc de le relancer. Lorsque l'enseignant affirme ne plus avoir de souvenirs, il faut revenir à la précision des conditions matérielles où l'action s'est déroulée.

La nature des savoirs mis en oeuvre par l'enseignant et les ressources utilisées

Afin d'analyser les types de savoirs mis en oeuvre par les enseignants lors de la préparation d'un cours, outre la catégorisation de Shulman, nous avons choisi de les catégoriser en fonction de leur mode d'acquisition et de transmission, ce que nous appellerons dans la suite du texte, la nature des connaissances.

Il peut s'agir d'un *savoir institutionnel*, sur la discipline, les programmes, la pédagogie. Il est a priori explicite et fait référence dans tous les cas à un texte du savoir, reconnu institutionnellement, soit par la communauté savante (disciplinaire ou professionnelle), soit par une institution (ministère). Il peut être disciplinaire, s'appuyant sur la formation universitaire initiale de l'enseignant, de type « didactique », associé à la formation reçue à l'IUFM, ou bien imposé par l'institution (les programmes publiés par le ministère).

Les savoirs utilisés peuvent être des *savoirs construits* à partir de lectures diverses (pédagogie, psychologie) et transposés par l'enseignant dans le cadre de la classe. Ils sont implicites ou explicites, propres à chaque enseignant.

Nous pouvons également repérer des *micro-savoirs* dont la transmission est orale. C'est le cas des "trucs" donnés par les maîtres de stage ou par les collègues voire les forums de discussion. De tels savoirs ne sont pas institutionnels, mais issus de la pratique quotidienne des enseignants.

Enfin, nous rechercherons les *savoir-faire* construits dans l'action, au quotidien, par l'enseignant. Ils ne sont pas forcément communicables à d'autres enseignants, puisqu'ils sont propres à chacun, et ils dépendent d'un mode particulier de fonctionnement en classe.

Les ressources dont l'enseignant dispose sont de différents types : matériel, fiches techniques, fiches de TP, livres, programmes, collègues... Ces ressources ne sont pas nécessairement accessibles depuis n'importe quel lieu. Ainsi, l'enseignant peut utiliser des ressources variées et par là même mobiliser des connaissances spécifiques associées à ces ressources en fonction du lieu choisi pour préparer son cours.

Les catégories utilisées pour l'analyse des entretiens sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Catégories de savoirs	Nature des savoirs	Ressources	Lieux d'utilisation
savoir disciplinaires	Savoir institutionnel	Matériel	Etablissement (collège, lycée)
savoir didactiques	Savoir construit	Livres, manuels	Domicile
savoir sur les programmes	Micro-savoir	Internet	Lieu de formation
savoir pédagogiques	Savoir faire	Programmes	
savoir sur les apprentissages		Collègues	
Savoir sur le contexte		Maître de stage	
Savoir sur le but		Stagiaires	
		Notes formation	

Les données récoltées et l'analyse

Nous avons enregistré (audio) des entretiens avec un professeur stagiaire, donc débutant, de collège et deux enseignants confirmés (dix années d'expérience) de lycée. Les entretiens d'une durée approximative de 45 minutes ont été intégralement transcrits. Les entretiens sont analysés sur la base des catégories des connaissances, de leur nature en les croisant avec les lieux dans lesquels elles sont utilisées et les ressources utilisées. Concrètement, nous relevons dans les entretiens les interventions (phrases ou groupes de phrases) relevant explicitement d'une des catégories de savoirs, nous indiquons la nature de ce savoir, et lorsque cela est explicité, les ressources et les lieux d'utilisation. Nous avons ensuite comptabilisé les différentes catégories pour chaque enseignant. Etant donné la nature exploratoire de ces études de cas, nous n'avons pas cherché à faire d'analyse statistique des résultats.

Résultats

En remarque préliminaire, notons que pour l'enseignante débutante, le mot « cours » a correspondu à la seule préparation d'une séance expérimentale, intégrée à un chapitre, alors que pour les deux enseignants confirmés, il s'agissait d'une séquence complète, correspondant à plusieurs séances et intégrant une séance expérimentale. Les trois enseignants ont choisi de centrer l'entretien sur la préparation d'une séance à dominante expérimentale. La répétition de ce choix n'est pas anodin et révèle l'intention de montrer le caractère expérimental de l'enseignement de la physique.

Les étapes de la préparation

Les étapes communes aux trois enseignants pour la préparation du cours sont, dans l'ordre :

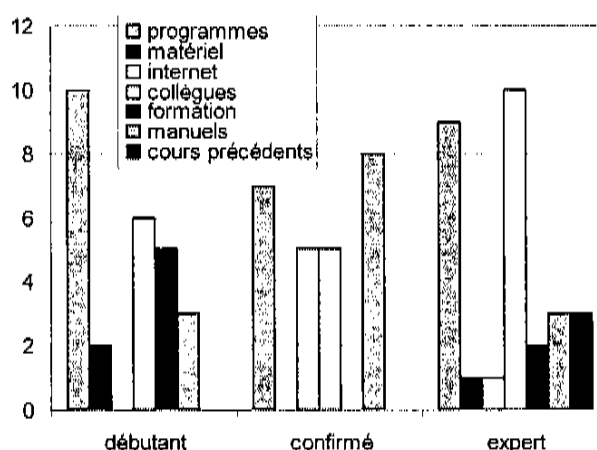
- Prendre en compte les impératifs liés au programme officiel : les concepts à enseigner, les compétences exigibles, le temps consacré aux notions traitées ;
- Connaître et maîtriser les contraintes matérielles liées à l'expérimentation en classe : le matériel disponible, le fonctionnement des appareils ;

Intégrer ce que les élèves ont fait lors des cours précédents, leurs connaissances des notions utilisées dans le cours.

L'enseignante débutante insiste sur d'autres étapes : trouver une ligne directrice à sa séance (alors que les enseignants confirmés exposent un plan de la séquence complète cours et expérience), formuler des questions précises à adresser aux élèves pour les guider lors des expériences, prévoir les réponses des élèves, anticiper le fonctionnement de la classe et enfin, aspect revêtant pour elle une importance primordiale, planifier la durée précise (à la minute) des différentes parties traitées pendant la séance. A l'opposé, les enseignants confirmés n'hésitent pas à déborder du temps prévu officiellement, du fait de leur expérience de la difficulté d'acquisition par les élèves de certaines notions complexes.

Les lieux et ressources

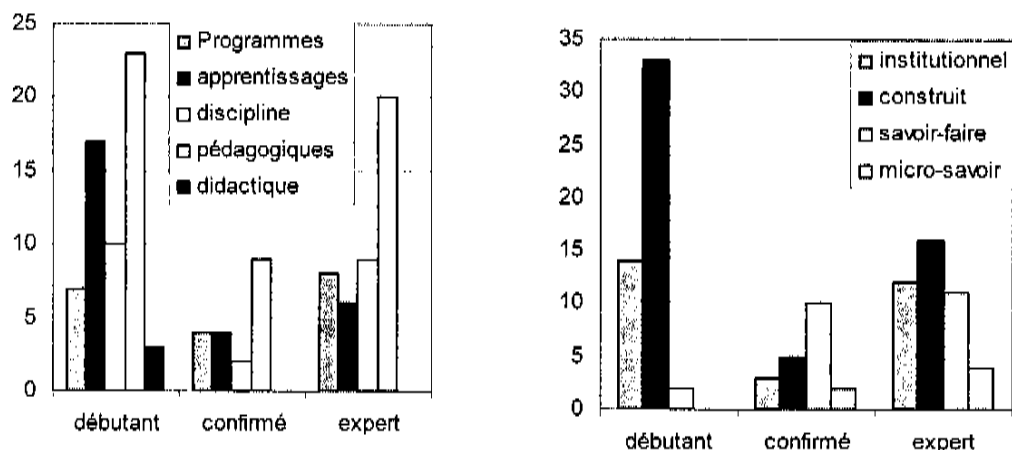
Le graphique ci-dessous récapitule les ressources explicitement citées par les enseignants.



Du point de vue des lieux et des ressources utilisées, les enseignants préparent leur cours sur deux lieux distincts : leur domicile et le lycée. Le lieu de préparation du cours devient rapidement implicite dans l'entretien. Il apparaît toutefois que les aspects matériels liés à l'expérimentation sont traités au lycée. L'enseignante débutante y utilise également les manuels scolaires mis à disposition. La préparation du cours est toujours débutée au domicile (consultation des programmes officiels et préparation d'une trame) et elle est poursuivie alternativement dans l'établissement (organisation des aspects matériels des expériences, concertation avec les autres enseignants) et au domicile (conception de la trame, rédaction des activités). Concernant les ressources utilisées au domicile, on trouve les manuels scolaires, le programme officiel mais aussi, pour l'enseignante débutante, des cours de l'IUFM, et, pour les enseignants confirmés, des documents internet. Les trois enseignants déclarent utiliser leurs collègues d'établissement comme ressources, et l'enseignante débutante consulte parfois son maître de stage et des stagiaires en situation dans d'autres établissements. Pour les deux enseignants confirmés, le partage d'informations entre collègues est quotidien. Il se fait soit lors de réunions formelles qui ont pour objectif des préparations sur le plus long terme, soit lors des rencontres informelles en salle des professeurs ou au laboratoire. Ces rencontres permettent d'échanger des micro-savoirs ou des retours sur la conduite des expériences par les élèves.

Les connaissances mises en œuvre

Les connaissances explicitées et leur nature sont présentées dans les graphiques ci-dessous.



Les savoirs institutionnels mis en œuvre par les trois enseignants concernent les programmes officiels et la discipline. Les deux enseignants confirmés disent ne pas vraiment écrire un cours formalisé, mais juste avoir quelques notes sous les yeux, quand il y a « *très peu de notions* ». Deux autres formes de savoirs institutionnels interviennent pour l'enseignante débutante uniquement : les connaissances didactiques (résolution de problème, dévolution) et celles sur le fonctionnement des élèves (conceptions). L'explicitation de ces connaissances s'explique du fait de la formation encore très présente, car récente, dans l'esprit de cette enseignante, mais aussi de par la profession de l'interviewer... Pour l'essentiel, les savoirs construits concernent les aspects liés à la gestion de la classe et du temps. L'enseignante débutante insiste sur ce dernier aspect. Son « *expérience* » lui permet de prédire l'intervalle de temps optimum à consacrer à chacune des activités prévues. Les deux enseignants expérimentés ont construit un savoir relatif au fonctionnement cognitif des élèves. Leur expérience, une « *impression générale de carrière* », leur indique la marche à suivre pour favoriser les apprentissages. Pour que les enseignants explicitent les micro-savoirs utilisés, il a souvent fallu poser des questions plus directives. Ainsi, les enseignants confirmés ont précisé qu'ils échangeaient fréquemment des informations avec d'autres collègues sur le temps mis à réaliser une expérience, ou sur les démarches pédagogiques à suivre. L'essentiel des informations partagées concernent les expériences choisies : elles doivent réussir même entre les mains d'élèves qui ne sont pas des « *champions du monde de la manipulation* ». Enfin, concernant les savoir-faire, les enseignants accordent une grande importance à l'expérience professionnelle pour la gestion de la classe du point de vue du savoir enseigné. Les enseignants confirmés adaptent la trame de leur cours aux réactions des élèves et au fonctionnement général de la classe. L'enseignante débutante planifie la totalité de sa séance, minute par minute, car elle pense que c'est en réalisant l'ensemble des activités que les élèves vont donner du sens aux concepts enseignés. Elle s'appuie sur un petit nombre d'élèves qu'elle a repérés pour assurer l'avancement de son cours. Les enseignants confirmés sont assurés que certaines réactions se reproduisent avec régularité quelle que soit la classe. Nous avons mis en évidence un certain nombre d'articulations entre différents types de connaissances pour les enseignants confirmés, comme l'articulation entre savoirs pédagogiques et savoirs sur les apprentissages :

Léna (confirmée) « je pense que si j'impose des choses comme ça directement, elles marqueront pas les élèves, qu'il faut qu'ils s'approprient eux-mêmes la physique [...] c'est une

impression générale de carrière, j'ai l'impression que si tu leur fais un cours magistral et que tu es très très contente de toi en sortant, et puis après tu leur demandes, enfin tu fais une petite interro, tu regardes ce qui reste et puis, il reste pas grand-chose en fait. »

Une autre articulation porte sur les savoirs disciplinaires et les savoirs sur les apprentissages :

Théo (expert): « il faut qu'il y ait une réaction lente et une réaction rapide donc il faut qu'il y en ait une qui soit lente et l'autre qui soit instantanée, il faut qu'il n'y ait pas d'ambiguïté, que ça ne soit pas simplement le prof qui s'en soit aperçu mais que les élèves en soient convaincus »

Ces articulations, qui n'ont pas été trouvées dans l'entretien avec l'enseignante débutante, indiquent la mise en relation des différents systèmes de connaissances des enseignants confirmés.

Enfin, nous avons constaté que la portée des savoirs construits était limitée pour l'enseignante débutante, alors que les enseignants confirmés ont généralisé les savoir-faire à des ensemble plus généraux de situations d'enseignement.

Maya (débutante) : « je savais qu'ils allaient à peu près me dire que ça reproduisait la réalité, que en fait on enregistrerait dans l'ordinateur, tous les paramètres que l'on avait fait en vrai dans une expérience et où là évidemment ils se trompent complètement »

Léna (confirmée) : « j'ai gagné des habitudes pour les devoirs, maintenant je sais à peu près bien ce que les élèves sont capables de faire en une heure, en fonction de ce que je produis moi comme devoir »

Cette portée limitée des savoirs se retrouve systématiquement dans les interventions de l'enseignante débutante. Elle prend elle-même beaucoup de précautions quant à la généralisation des savoirs qu'elle a pu construire au cours de son stage.

Conclusion

L'analyse des connaissances utilisées par les enseignants montre la complexité des articulations entre les savoirs en jeu, renforcée par la multiplicité des ressources et des lieux où l'enseignant de sciences prépare son cours. Au lycée, les ressources liées à l'expérimentation matérielle priment, alors qu'au domicile, ce sont le programme officiel (ayant valeur de contrat moral avec l'institution), les manuels (comme bibliothèques d'idées) et éventuellement Internet. Nous pourrions qualifier les ressources des enseignants en deux grands types : les ressources institutionnelles de type « instructions officielles » (les programmes), qui sont également, pour l'enseignante débutante, désignées par son institution de formation comme étant celles à utiliser, et les ressources opportunistes. Ces dernières ont de plus en plus d'importance pour la construction des cours au fur et à mesure de l'expérience professionnelle, car elles répondent aux besoins spécifiques de l'enseignant. Elles regroupent les collègues de l'établissement, les documents téléchargés, les productions de groupes d'enseignants... Ces ressources sont utilisées tout d'abord en fonction des besoins impérieux des enseignants et participent à la constitution de l'expérience professionnelle pour devenir indispensables au bon déroulement de l'enseignement. En effet, ces ressources opportunistes sont quasiment exclusivement citées, et donc utilisées, par les enseignants confirmés, en association avec l'utilisation de connaissances institutionnelles.

Ces premiers résultats nous amènent à concevoir notre formation dans l'optique d'en faire une ressource opportuniste. Elle devra répondre aux besoins quotidiens des enseignants et leur

permettre d'échanger avec d'autres via un forum de discussions centré sur une communauté de pratiques (Wooley, 1998, Henri & Pudelko, 2002). Nous avons également constaté l'importance de la prise en compte des élèves, d'où la nécessité d'adjoindre aux contenus didactiques de la formation des documents (vidéos, écrits d'élèves) illustrant ces aspects théoriques. La formation, qui sera intégrée à un site incluant des séquences d'enseignement et des informations concrètes relatives à la gestion de la classe, facilitera le transfert vers les conditions réelles de travail de l'enseignant. Cette étude exploratoire montre également d'une part des différences de portée concernant les savoirs construits et d'autre part la construction d'articulations cohérentes entre les divers savoirs mis en œuvre lors de la préparation d'un cours. Il reste à savoir si l'articulation cohérente et explicite, sur le site dédié à la formation, des différents savoirs utilisés pour le développement de séquences d'enseignement peut aider les enseignants débutants à progresser vers une utilisation experte de ces savoirs, comme cela a déjà été montré dans le cadre de l'enseignement de la physique au lycée (Buty, Tiberghien & Le Maréchal, 2004).

Bibliographie

ANDERSON, L. W., 1986, « La formation des maîtres en fonction des compétences attendues », in M. Crahay and D. Lafontaine (dir.), *L'art et la science de l'enseignement, hommage à Gilbert de Landsheere*, (pp. 365-385), Bruxelles, Editions Labor.

BUTY Christian, TIBERGHIEEN Andrée et LE MARECHAL Jean-François, 2004, « learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences », *International Journal of Science Education*, 26, 5, 579-604.

CHARLIER Evelyne et CHARLIER Bernadette, 1998, *La formation au coeur de la pratique, analyse d'une formation continuée d'enseignants*, Paris-Bruxelles, De Boeck Université.

CHEVALLARD Yves, 1991, *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*, Grenoble, La pensée sauvage.

COLOMB Jacques, 1999, *Un transfert de connaissances : des résultats d'une recherche à la définition de contenus de formation en didactique*, Paris, Institut National de Recherche Pédagogique.

DURAND Marc, 1996, *L'enseignement en milieu scolaire*, Paris, PUF.

HENRI France et PUDELKO Béatrice, 2002, « La recherche sur la communication asynchrone: de l'outil aux communautés », in A. Daele and B. Charlier, *PNER: observation des usages et des pratiques dans le domaine de l'enseignement scolaire, Etude: les communautés délocalisées d'enseignants*, (11-37), Namur.

JONES Gail., CARTER Glenda et al., 1999, « Children's concepts: tools for transforming science teachers' knowledge », *Science Education*, 83, 5, 545-557.

SHULMAN Lee, 1986, « Those who understand : knowledge growth in teaching », *Educational researcher*, 15, 2, 4-14.

VAN DRIEL Jan, VERLOOP Nico et al., 1998, « Developing science teachers' pedagogical content knowledge », *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 6, 673-695.

VERMERSCH Pierre, 1994, *L'entretien d'explicitation en formation initiale et en formation continue*, Paris, ESF.

WOOLEY David, 1998, *The future of web conferencing. Web-based computer conferencing*, <http://thinkofit.com/webconf/wcfuture.htm>.

Les logiciels de simulation dans les expositions scientifiques pour jeunes enfants peuvent-ils être des outils de compréhension du réel ?

BERNARD François-Xavier, doctorant, Laboratoire Education & Apprentissages, Université René Descartes Paris 5, France

WEIL-BARAIS Annick, Professeur, Université d'Angers, France

CAILLOT Michel, Professeur, Laboratoire Education & Apprentissages, Université René Descartes Paris 5, France

Contexte et questions de recherche

Dans le champ de la didactique des sciences, un certain nombre de recherches ont porté sur le rôle de l'informatique dans la compréhension de phénomènes scientifiques, en posant la question de la place des logiciels par rapport aux expériences réelles (Guichard, Lechaudel & Mangeot, 2004 ; Smyrniou, 2003 ; Smyrniou, Ferret & Weil-Barais, 2003 ; Vivet, 2000 ; Nonnon, 1998). Les recherches réalisées l'ont été dans différents contextes, scolaire, muséal et même industriel, avec des sujets d'âges variés, des élèves de l'école élémentaire jusqu'aux adultes. Ces recherches ont porté sur l'appréhension de différents phénomènes scientifiques, les concepts physiques et notamment mécaniques étant les plus appropriés à ce type d'investigation. Comme le souligne Jamet (2002), les jeunes enfants ne font l'objet que de bien peu d'études. De ce fait, pour cette population on connaît mal l'apport du multimédia pour l'accès aux connaissances scientifiques.

Les méthodologies retenues dans les études sont sensiblement identiques et consistent à faire réaliser aux sujets une même expérience, à l'aide d'un logiciel puis à l'aide d'objets réels. Sur la base de grilles d'observations et d'entretiens, il s'agit de déterminer le type de manipulation le plus favorable à la compréhension du phénomène cible. Selon les recherches, certaines variables comme l'ordre des manipulations, l'origine socioculturelle des sujets, le logiciel employé, etc., ont été étudiées du point de vue de leur impact.

L'ensemble des résultats tend à montrer que la réalisation d'expériences avec un logiciel est complémentaire de la réalisation d'expériences « réelles », mais ne saurait être suffisante. Le tâtonnement sur le réel est le plus efficace du point de vue de la compréhension. L'animation virtuelle ne pouvant s'y substituer, elle permet au mieux de l'enrichir en tant qu'outil d'accompagnement.

L'utilisation des seuls logiciels à des fins de compréhension des phénomènes réels serait donc insuffisante, mais se révèle néanmoins incontournable dans certains contextes, comme celui du musée par exemple. Dans le cadre muséal en effet, comme le soulignent Guichard et al. (2004, p. 10) « *les simulations doivent être réservées aux phénomènes qui ne peuvent être directement perçus dans l'exposition, lorsque leur échelle de temps est différente (trop rapide ou trop lente) par rapport au temps de la visite, ou lorsque les dimensions sont impossibles à reconstituer dans l'espace d'exposition.* »

On pourrait ajouter que certaines manipulations, simplement du fait de leur nature, au-delà des contraintes spatiales et temporelles, ne sont pas adaptées au contexte d'une exposition. Ainsi en est-il de l'usage de la peinture pour faire comprendre le principe de mélange des couleurs, domaine de connaissance auquel nous nous sommes ici intéressés. Peut-on imaginer

cette manipulation présentée au public, dans des conditions réelles de réalisation, avec des feuilles, de la peinture, de l'eau ? Cela paraît difficilement concevable dans des conditions de visite d'exposition, où le public est nombreux et libre de manipuler comme il l'entend les éléments de présentation.

L'usage des ordinateurs apparaît ainsi comme une alternative séduisante puisqu'ils permettent de simuler des manipulations impossibles à réaliser dans un cadre muséal basé sur l'interactivité. Or, nous l'avons vu, la confrontation aux objets virtuels n'est pas la plus efficace en terme d'apprentissage. De ce constat, qui pointe un paradoxe, découle une première question, propre à l'espace muséal : outre un indéniable moment de divertissement pour le jeune enfant visiteur, que peut-on attendre de l'utilisation d'un logiciel de simulation dans le contexte d'une visite d'exposition scientifique ? Une autre question concerne les modalités d'usage de ces logiciels : en vue de favoriser l'apprentissage, quelles conditions d'utilisation mettre en œuvre auprès des enfants dans l'exposition compte tenu des contraintes inhérentes à cet environnement particulier ?

Afin de répondre à ces questions d'ordre assez général, il nous a semblé nécessaire de nous préoccuper - du point de vue de l'utilisateur - de la mise en relation entre les objets virtuels manipulés à l'écran de l'ordinateur, et les objets réels représentés. Les recherches dans le champ de la didactique portant sur le recours au multimédia dans une perspective d'apprentissage éludent généralement cette question qui relève de la psychologie cognitive, et tout se passe comme si la mise en relation allait de soi. Citons à cet égard Barré (1997, p. 193) dont les écrits illustrent bien l'enjeu en question : « *Grâce à l'ordinateur, de nouveaux pouvoirs sont remis entre les mains de l'apprenant qui dispose ainsi d'une plus grande maîtrise sur l'information et donc, sur ses apprentissages. Mais ces nouveaux pouvoirs ne sont que virtuels. Si l'on ne veut pas que les connaissances ainsi acquises restent « ordinaires » (comme on parle de connaissances « livresques »), il faudra prévoir soigneusement leur transfert vers la réalité.* »

Perriault (2002) s'interroge, dans le cadre scolaire, sur ce qu'il appelle également le transfert. Pour lui, le transfert de connaissances acquises sur écran d'ordinateur ne va pas de soi. Comme il le précise, des chercheurs en informatique pédagogique ont remarqué que le passage de l'écran à une réalité externe posait problème, y compris pour les adultes. Ainsi Vivet (2000) a abordé le problème de la formation de base de personnels de bas niveaux de qualification en conduisant une expérience en milieu industriel. Il a noté que des ouvriers qui apprenaient sur écran à monter une tête de fraiseuse éprouvaient de la difficulté à transposer cette opération sur la machine réelle.

Alors qu'en est-il des enfants, et qui plus est des jeunes enfants, qui se trouvent confrontés par le biais d'un ordinateur à des représentations virtuelles ? Comment perçoivent-ils ces représentations qui leur sont données de la réalité ? Mettent-ils en relation les deux « mondes » : le « monde virtuel » et le « monde réel » ?

Dans cet article nous donnerons des éléments de réponse à ces questions en présentant une recherche réalisée dans le cadre d'une exposition scientifique où nous avons tenté de mettre à jour le lien réalisé par des enfants de moins de 6 ans entre les représentations virtuelles manipulées via un ordinateur et le monde des objets réels.

Problématique

Compte tenu des questions abordées la recherche se situe à la croisée de la didactique et de la psychologie. Elle relève de la didactique des sciences, et plus précisément de la médiatique

des sciences puisqu'elle pose la question de la transmission et de l'appropriation des connaissances scientifiques en milieu muséal. Nous nous appuyerons à cet égard sur les recherches de Guichard (1999), et Guichard et Martinand (2000).

La spécificité de l'apprentissage dans l'environnement muséal pourrait être qualifié de « non formel ». Contrairement à l'école, l'enfant visiteur n'est pas assujéti à la demande de l'adulte (en terme d'apprentissage tout du moins) ; il n'est pas tenu d'obtenir des résultats et il n'y a pas de validation des acquis. Comme le rappelle Guichard (1999, p. 95), « *l'absence d'interaction entre le concepteur d'un média et son public diffère complètement de celle entre l'enseignant et l'élève dans le cadre scolaire* ». Dans une exposition scientifique comme celles destinées aux enfants à la *Cité des sciences et de l'industrie*, l'enfant évolue dans un environnement qui ne réunit pas les conditions a priori nécessaires à un apprentissage : un nombre de visiteurs souvent important, une ambiance sonore élevée provenant des machines mais aussi du public lui-même, des sollicitations importantes tant humaines que matérielles, et enfin un temps de manipulation limité, pour chaque enfant, à quelques minutes. L'environnement muséal confère donc à l'apprentissage un caractère spécifique, différant du cadre scolaire à plus d'un titre. Guichard (1999, p. 97) a ainsi introduit le concept d' « impact médiatique », mieux approprié que la notion d'objectif aux conditions d'utilisation des dispositifs médiatiques : « *en effet, contrairement aux objectifs, la notion d'impact médiatique ne s'inscrit pas dans un curriculum : elle ne prend en compte qu'un résultat souhaité. Elle s'applique à un dispositif non modifiable lors de l'usage dans une situation non contrainte et elle prend en compte l'absence de régulation par le concepteur (à la différence de l'enseignant face aux élèves).* » L'impact médiatique exprime donc les effets des dispositifs muséographiques et multimédias, et c'est bien là notre principale question de recherche concernant les logiciels de simulation dans les expositions scientifiques.

Notre seconde question concerne les conditions d'usage de ces logiciels puisqu'au cours de sa visite, l'enfant n'est pas seul : il entre en interaction avec les éléments de présentation mais aussi avec les autres visiteurs et notamment les adultes qui l'accompagnent. Le rôle de ces derniers, dans leur relation de tutelle, est déterminant. Bruner (1983) a insisté sur le rôle des interactions sociales comme fondement de l'apprentissage. Par « l'interaction de tutelle », Bruner définit quelques aspects de la médiation adulte dans l'apprentissage de l'enfant. Il définit la position d'échafaudage provisoire qui permet la progression de l'enfant : dans cette relation l'adulte pose des questions ouvertes, participe à l'activité, relance, observe tout en laissant l'initiative. Bruner décrit cette position ainsi : protéger l'enfant contre les distractions en assurant une convergence entre l'attention de l'adulte et celle de l'enfant, donner à celui-ci d'établir des relations entre signes et événements, limiter la tâche à un niveau adapté, lui fournir les moyens pour la représentation et l'exécution des relations entre moyens et buts.

Les situations interactives que nous avons étudiées réunissent le médiateur humain (rôle que nous avons joué) et l'utilisation du médiateur technique (un élément de présentation utilisant un logiciel de simulation).

Notre dernière interrogation qui porte sur la mise en relation - du point de vue de l'enfant utilisateur - entre les représentations symboliques visualisées et manipulées à l'écran de l'ordinateur et les objets réels représentés engage une réflexion dans le champ de la psychologie. Les travaux récents consacrés aux effets des systèmes multimédias sur l'apprentissage, se sont en effet largement intéressés à l'étude des processus cognitifs de traitement de l'information, de construction des représentations, de mémorisation et d'acquisition des connaissances (Pudelko, Legros et Georget, 2002). Ces recherches, pour la plupart anglo-saxonnes, ont en commun de mettre à jour des difficultés d'ordre cognitif relevées dans le cadre de l'utilisation de systèmes multimédias.

Nous nous appuyerons ici sur les recherches portant sur les rapports des sujets apprenants aux images, et sur l'activité cognitive mise en jeu, avec notamment Mottet (1992, 1996) qui a travaillé sur le repérage et l'analyse des apports spécifiques des images à l'élaboration des connaissances scientifiques, et sur le fonctionnement des élèves aux prises avec des images. Mottet (1996, p. 16) part du constat que « *la vulgarisation scientifique - et tout particulièrement celle qui s'adresse à de jeunes publics - fait de plus en plus appel aux ressources de l'imagerie : à la télévision certes mais aussi dans les expositions, dans les revues et dans les jeux informatiques.* » Une des questions essentielles qu'il soulève est bien de savoir ce que l'élève peut transférer d'une activité d'imagerie dans d'autres activités.

Dans la catégorisation que Mottet (1996, p. 28) propose des différentes situations-images, relative à l'activité engagée chez l'enfant, nous nous situons sur le plan de la lecture d'images, et en particulier de la consultation d'images en vue d'un usage pratique dans le monde des objets réels, mais également sur le plan de la modification d'images, puisque la situation présentée aux enfants est une situation interactive de simulation. Dans l'expérimentation conduite, les réponses attendues chez l'enfant se situent uniquement sur un mode symbolique : non seulement graphique puisque l'enfant est lui-même producteur d'images, mais aussi verbal dans la mesure où les raisonnements qui accompagnent sa compréhension des images manipulées sont traduits sur le plan verbal dans le cadre de l'échange avec l'adulte qui accompagne l'enfant dans son activité. Comme le note Mottet (1996, p. 25), « *on voit quelle peut être pour de jeunes enfants, la difficulté de passer du voir au dire, d'une perception d'image à une mise en langage.* » C'est pourquoi, afin de réduire les difficultés susceptibles d'être rencontrées, nous avons fait le choix d'intervenir en tant que médiateur en vue de guider leur activité de manipulation des images. Notons ici que les images, au delà des sources d'information qu'elles représentent, sont à considérer comme des médiations opératoires, des instruments pour agir symboliquement sur le monde. Et c'est donc par le biais d'activités sur ces images que l'on a tenté d'en favoriser la compréhension, en faisant faire à l'enfant, par la médiation de l'image, un travail de manipulation du réel.

Méthodologie

Choix du dispositif et déroulement des activités

La présente recherche a été réalisée dans une exposition à caractère scientifique et technique destinée aux enfants, la *Cité des enfants* à la *Cité des sciences et de l'industrie* à Paris. Deux situations de travail autour d'un même domaine de connaissances, le mélange des couleurs, ont été successivement proposées aux enfants : une première sur support informatique puis une seconde avec des objets réels. Les scénarios identiques placent les enfants face à la même situation-problème : comment obtenir une couleur particulière, dont on ne dispose pas, à partir d'autres couleurs ? L'objectif étant d'évaluer dans quelle mesure les enfants sont capables de mettre en relation les connaissances qu'ils viennent d'acquérir à l'aide d'un logiciel de simulation avec une activité ayant recours à de vraies peintures.

L'élément de présentation « *dessine avec ton doigt* », dans l'exposition destinée aux enfants de 3 à 5 ans, a été utilisé pour la première mise en situation. Cet élément, basé sur un logiciel informatique, évoque un contexte familier : une feuille de dessin et des pots de peintures de différentes couleurs, sur laquelle les enfants agissent en dessinant avec un doigt. Les enfants ont également la possibilité d'effectuer des mélanges pour créer leurs propres couleurs à partir des trois couleurs primaires : rouge, jaune et bleu.

Après avoir utilisé le logiciel, nous avons proposé aux enfants de travailler avec des objets matériels dans un atelier d'animation présent sur l'espace d'exposition. Une feuille blanche, des pinceaux et trois tubes de peintures (identiques, dans leur forme et leur couleur, à ceux présents sur l'écran d'ordinateur) ont été présentés aux enfants de manière à les placer dans des conditions quasi-semblables. Après une brève présentation du matériel, les enfants ont été invités à dessiner en vert. En fonction d'une suite d'aides d'intensité croissante nous avons alors déterminé le niveau de disponibilité des enfants à effectuer la mise en relation entre les deux « mondes ».

Population

Vingt enfants âgés de 2 ans 6 mois à 5 ans 6 mois, choisis indifféremment parmi des visiteurs individuels, ont participé à l'étude. Seuls les résultats de quinze d'entre eux ont été analysés.

Nous avons en effet interviewé quelques enfants très jeunes qui hésitaient sur le vocabulaire et faisaient des confusions sur le nom des couleurs. L'entretien dans ces conditions n'était donc plus réellement significatif et rendait les résultats improbables. Nous avons également interviewé des enfants plus âgés qui faisaient preuve d'une certaine aisance. Très rapidement, lors de l'entretien face à l'ordinateur, il est apparu que ces enfants avaient déjà réalisé des mélanges de peinture, notamment à la maison. Avec ou sans découverte du logiciel, ils étaient donc capables de résoudre le problème qui allait leur être posé avec les objets matériels. Nous avons toutefois voulu vérifier leur réaction et nous avons effectivement constaté qu'ils proposaient sans hésiter le bon mélange pour obtenir du vert.

L'entretien avec les enfants

L'entretien avec les enfants s'est déroulé autour de deux activités. Il s'agit d'entretiens de type tutorat au sens de Bruner, le tuteur ayant notamment la fonction de mobiliser l'attention des enfants sur des aspects spécifiques des activités. La première activité a eu pour objet de leur faire appréhender le principe du mélange des couleurs par le biais d'un logiciel. Les questions posées aux enfants visaient à leur faire comprendre qu'il est possible de mélanger des couleurs pour en créer de nouvelles et en particulier de mélanger du bleu et du jaune en vue d'obtenir du vert. La seconde activité avait pour objet de confronter les enfants avec des objets matériels en vue d'évaluer dans quelle mesure ils étaient susceptibles de faire le lien avec les connaissances précédemment acquises à l'aide de l'ordinateur. Le rôle du tuteur a consisté à soutenir l'activité par une suite d'aides d'intensité croissante, consignée dans une « fiche outil » qui a servi de guide d'entretien.

La première relance adressée aux enfants a d'abord été "non explicite" dans la mesure où elle ne faisait pas référence à l'activité précédente mais à l'idée de mélange : « *Est-ce que tu ne peux pas faire du vert avec ces couleurs ?* » en montrant à l'enfant les tubes de peinture rouge, jaune et bleue qui se trouvent devant lui. La seconde relance prévue était "explicite", autrement dit en lien avec la première activité : « *Tu te souviens de ce qu'on a fait tout à l'heure ? Comment as-tu fait pour obtenir du vert ?* ». La troisième relance était également "explicite" mais avec support visuel : « *Regarde l'image de l'ordinateur sur lequel on a joué tout à l'heure. Qu'est-ce que tu as fait pour obtenir du vert ?* » en montrant à l'enfant une photo de l'écran.

Les relances étant ainsi d'intensités graduelles, elles ont permis de quantifier l'aide apportée à chaque enfant dans la résolution du problème. L'hypothèse que nous faisons est qu'il y a un lien entre le nombre de relances nécessaires et la capacité de l'enfant à mettre en relation l'activité sur ordinateur et l'activité avec des objets réels.

La « fiche outil » a permis ainsi un contrôle des aides apportées à l'enfant et une quantification de celles-ci, considérée comme un indicateur de sa capacité à faire le lien entre des informations traitées à l'écran d'un ordinateur et des perceptions et des actions sur des objets réels. En la complétant nous avons pu retracer, par un parcours fléché, leur parcours cognitif pour parvenir à la solution.

Le recueil et le traitement des données

De façon à pouvoir relier les verbalisations et les actions des sujets toutes les activités ont été enregistrées au moyen d'un caméscope numérique. Les enfants ont été filmés par une tierce personne, mobile autour de ces derniers, ce qui a permis de capter au plus près tous leurs conduites. Les enregistrements ont été intégralement transcrits. L'analyse qui en a été faite a été croisée avec celle du parcours fléché de chaque « fiche outil ».

Résultats

A partir de l'examen de la suite des réponses des enfants et des relances de l'adulte consignées dans chaque « fiche outil », cinq parcours différents ont pu être distingués (cf. tableau 1).

Parcours des enfants en fonction du nombre de relances nécessaires	Nombre d'enfants
1. l'enfant réalise le mélange sans relance	5
2. l'enfant réalise le mélange après une relance (non explicite)	2
3. l'enfant réalise le mélange après deux relances (une non explicite et une explicite)	2
4. l'enfant réalise le mélange après deux relances (une non explicite et deux explicites)	2
5. l'enfant ne réalise pas le mélange malgré les trois relances	4

Tableau 1 : Répartition des enfants selon les parcours de relances

Nous considérons que dans les deux premiers cas, l'enfant met en relation spontanément l'expérience virtuelle et l'expérience réelle.

Il apparaît que sur ces cinq parcours possibles, deux ressortent majoritairement : pour un tiers des enfants (5 sur 15), la mise en relation a été faite sans relance et pour quasiment un autre tiers (4 sur 15), elle ne s'est pas faite malgré les relances successives. Les trois parcours intermédiaires, indiquant la réalisation de la tâche après une, deux ou trois relances, sont obtenus par le dernier tiers (6 sur 15).

A l'examen détaillé des entretiens, outre le fait que la première réaction de l'enfant coïncide dans la plupart des cas avec le résultat qu'il obtiendra, il apparaît que les enfants qui ne trouvent pas la solution dès le problème posé ne feront pas le lien avec la manipulation virtuelle et ce, quel que soit le nombre de relances. Il semble ici que les relances n'ont qu'une incidence réduite sur le lien que les enfants peuvent faire entre l'activité sur ordinateur et l'activité avec des objets réels.

En considérant l'âge des enfants, il apparaît que :

- de 2 ans 6 mois à 3 ans 6 mois, aucun enfant n'a effectué le mélange sans relances. Une enfant a réussi après une seule relance non explicite. Pour les autres, deux relances au moins, dont une explicite, ont été nécessaires. Pour seulement un enfant sur cinq de cette tranche d'âge, il y a donc eu mise en relation entre expérience virtuelle et expérience réelle.

- de 3 ans 6 mois à 4 ans 6 mois, les résultats des enfants évoluent nettement. Pour la moitié d'entre eux, la mise en relation s'est faite sans relances, ou après une seule relance. Les autres enfants de cette tranche d'âge, sont dans une position quasi-opposée puisque pour la plupart ils n'ont pas réussi le mélange ou l'ont réussi après un nombre maximum de relances.
- de 4 ans 6 mois à 5 ans 6 mois, deux tiers des enfants ont mis en relation l'expérience virtuelle et l'expérience réelle sans relance.

Dans l'ensemble, les enfants plus âgés semblent faire plus facilement le lien entre les deux activités.

Conclusions

L'analyse des conduites de 15 enfants âgés de 2 ans 6 mois à 5 ans 6 mois dans un contexte d'entretien avec un adulte médiateur scientifique a montré que la mise en relation entre l'expérience virtuelle et l'expérience réelle s'était vraisemblablement réalisée pour la moitié d'entre eux, en l'occurrence les plus âgés. L'âge de 4 ans $\pm$ 6 mois semble constituer un palier. Dans des conditions telles que celles que nous avons mises en place dans une exposition, l'utilisation de l'informatique en tant qu'outil de simulation semble donc atteindre ses limites pour les enfants les plus jeunes et s'avère en tout cas insuffisante. Il est vraisemblable que ces enfants ont considéré l'environnement virtuel comme totalement étranger aux activités relevant du monde des objets réels présentées ultérieurement, et ce malgré les différentes relances effectuées. Plus concrètement si l'on souhaite inscrire l'utilisation d'un logiciel de simulation dans une démarche d'apprentissage auprès des enfants les plus jeunes, il semble indispensable de revoir les conditions d'accompagnement de ces derniers. Plusieurs solutions, non exclusives les une par rapport aux autres, pourraient être envisagées : articuler très étroitement activités à l'aide du simulateur et activités à l'aide d'objets réels (mais comment faire dans une exposition ?), utiliser un support multimédia plus complexe permettant de diversifier la gamme des modes d'expression (ajout de son et/ou d'images statiques ou animées), redéfinir les modalités d'intervention du médiateur adulte, etc. C'est à la conception de tels éléments que nous travaillons maintenant.

Bibliographie

- BARRÉ Alain, 1997, "L'ordinateur peut-il étayer l'apprentissage. Expériences avec des enfants handicapés", in Jacques CRINON et Christian GAUTELLIER (dir.) *Apprendre avec le multimédia. Où en est-on ?*, Paris, Retz, pp. 193-201.
- BERNARD François-Xavier, 2003, Du virtuel au réel : apport de l'utilisation d'un simulateur informatique par des enfants de 3 à 5 ans dans un espace muséologique, Mémoire de DEA, Université René Descartes - Paris 5, non publié.
- BRUNER Jérôme S., 1987, *Le développement de l'enfant. Savoir faire, savoir dire*, Paris, PUF.
- GUICHARD Jack, 1999, "Quelques concepts pour structurer une médiatique des sciences", in Actes des premières rencontres scientifiques de l'ARDIST (Cachan, 26-28 octobre 1999), pp. 94-99.
- GUICHARD Jack et MARTINAND Jean-Louis, 2000, *La médiatique des sciences*, Paris, PUF.

- GUICHARD Jack, LECHAUDEL Anne et MANGEOT Nicolas, janvier-février 2004, L'expérimentation directe à l'heure du multimédia, in La lettre de l'OCIM, Dijon, OCIM, n° 91, pp. 4-10.
- JAMET Frank, 2002, "La construction des représentations des connaissances scientifiques", in Denis LEGROS et Jacques CRINON (dir.) Psychologie des apprentissages et multimédias, Paris, Armand Colin, pp. 154-168.
- MOTTET Gérard, 1992, "Représentations imagées et traitement des connaissances. Images et connaissances scientifiques à l'école élémentaire" in Georges-Louis BARON et Viviane GLIKMAN (coord.), Technologies nouvelles et éducation. Quatre années de résultats de recherches à l'INRP (1991-1994), Paris, INRP, pp. 67-76.
- MOTTET Gérard, 1996, "Les situations-images. Une approche fonctionnelle de l'imagerie dans les apprentissages scientifiques à l'école élémentaire", in Gérard MOTTET (coord.), ASTER, Paris, INRP, n° 22, pp. 15-56.
- NONNON Pierre, 1998, "Intégration du réel et du virtuel en sciences expérimentales", in François-Marie BLONDEL et Monique SCHWOB (coord.), actes des Huitièmes Journées Informatique et pédagogie des sciences physiques (Montpellier, 12-14 mars 1998), Paris, INRP, pp. 133-138.
- PERRIAULT Jacques, 2002, Education et nouvelles technologies. Théorie et pratiques, Paris, Nathan.
- PUDELKO Béatrice, LEGROS Denis et GEORGET Patrice, 2002, "Les TIC et la construction des connaissances", in Denis LEGROS et Jacques CRINON (dir.), Psychologie des apprentissages et multimédias, Paris, Armand Colin, pp. 40-62.
- SMYRNAIOU Zacharoula, 2003, Modélisation : L'apport des logiciels éducatifs, Thèse de doctorat, Université René Descartes - Paris 5, non publié.
- SMYRNAIOU Zacharoula, FERRET Sophie et WEIL-BARAIS Annick, 2003, "L'enseignement scientifique ne peut-il être que virtuel ? ", in actes du colloque Les technologies de l'information et de la communication : mutations dans la formation scientifique universitaire organisée par la CIRCUISEF (Dakar, 17-21 mars 2003), <http://www.dmi.usherb.ca/ciruisef/Dakar2003>.
- VIVET Martial, 2000, "Des robots pour apprendre", in Eric BRUILLARD et Monique GRANDBASTIEN (dir.), Sciences et techniques éducatives, Paris, Hermès science, vol. 7, n° 1, pp. 17-60.

Causalité et explications dans la physique enseignée et dans la pensée commune : calculer et comprendre

BESSON Ugo, L.D.S.P. Université de Paris "Denis Diderot" (Paris 7), France.

La causalité dans la science et dans la recherche didactique

L'idée de causalité a longtemps suscité débats et critiques chez les philosophes et les savants. Après les élaborations et les controverses philosophiques classiques (Hume, Kant...), la notion de cause a fait l'objet de plusieurs remises en question : celle des positivistes (Mach, Duhem...), qui contestent la possibilité de connaître des connexions et de faire des conjectures concernant un niveau de réalité sous-jacent aux phénomènes; celle liée aux interprétations probabilistes ou subjectivistes de la physique quantique; celle de la théorie du chaos introduisant une dissociation entre causalité et prédiction ; enfin de la part de ceux qui voudraient réinstaller dans la science l'idée de finalisme.

Mach (1883, 4.4.3) écrivait que « Dans la nature il n'y a ni cause ni effet ... la connexion cause-effet n'existe que dans l'abstraction que nous effectuons dans le but de reproduire les faits ». Et Russell (1912), avec son humour anglais : « La loi de causalité, comme beaucoup de ce qui est apprécié par les philosophes, est l'épave d'une époque révolue et elle survit, comme la monarchie, seulement parce qu'on pense erronément qu'elle ne fait pas de dégâts »

Récemment, une tendance semble s'affirmer de plus en plus à contourner ou éviter l'idée de causalité, pour souligner plutôt les relations fonctionnelles et les descriptions systémiques ou holistiques. Cela dans une ligne de pensée souvent liée à une critique du réalisme¹, considéré plus ou moins "naïf". Il ne manque pas, toutefois, des voix qui réaffirment la valeur et le rôle incontournable, même si non exclusif, de la causalité dans la science et dans la physique en particulier (Bunge 1963, Halbwachs 1971, Piaget 1971, Harre 1986, Ogborn 1993).

Selon Max Planck : "La pensée scientifique aspire à la causalité, en effet c'est la même chose que la pensée causale et le but final de toute science doit être de conduire le point de vue causal jusqu'à ses dernières conséquences" (1949, chap.7). Selon le philosophe R. Harré, "la découverte du mécanisme par lequel les causes produisent leurs effets est une partie centrale de la recherche scientifique... une explication scientifique est caractérisée par le fait qu'elle décrit le mécanisme causal qui produit les phénomènes" (1972, p.118 et p.181).

La recherche didactique a montré la présence forte dans le raisonnement commun des explications causales. Piaget (1971) a étudié les caractéristiques et la genèse de l'idée causale dans le développement cognitif, la reliant à l'attribution aux objets d'un ensemble d'opérations. Selon lui, la causalité diffère des lois fonctionnelles, car ces dernières concernent des régularités générales et observables et impliquent des opérations *appliquées* aux objets, tandis que la causalité concerne des connexions nécessaires allant au-delà de l'observable et implique des opérations *attribuées* aux objets.

¹ Réalisme : "Doctrin d'après laquelle l'être est indépendant de la connaissance actuelle que peuvent en prendre les sujets conscients : *esse* n'est pas équivalent à *percipi*." (*Vocabulaire de la philosophie* d'André Lalande). Réalisme s'oppose à idéalisme, selon lequel, au contraire, l'être est contenu dans la pensée.

Andersson (1986) suggère que le noyau commun des conceptions des élèves soit une structure empirique de causalité, basée sur un schème *agent - instrument - patient*. Rozier et Viennot (1991) étudient un modèle général de raisonnement commun, *le raisonnement causal linéaire*, basé sur une séquence logique et chronologique d'enchaînements une cause—un effet. Gutierrez et Ogborn (1992) ont élaboré un cadre interprétatif pour le raisonnement causal commun basé sur un modèle mental mécaniste. Ogborn (1993) souligne "la nature fondamentale de l'action causale comme élément du raisonnement qui n'est pas détaché des objets et des événements, mais considéré comme partie essentielle de leur signification."

Quelques chercheurs (Gutwill et al 1996, Psillos & Koumaras 1993, Sherwood & Chabay 1993) ont expérimenté des séquences d'enseignement sur l'électricité dans lesquelles les élèves sont encouragés à utiliser le raisonnement causal pour des situations de changement (les transitoires des circuits électriques), plus proches de leur intuition, avant d'aborder les situations stationnaires et le raisonnement systémique.

Objectifs et méthodes de cette recherche

Dans cette recherche, j'analyse quelques tendances caractéristiques du raisonnement causal utilisé en physique par les élèves. La recherche a utilisé questionnaires et entretiens, avec élèves, étudiants et enseignants. Les différences entre raisonnement commun et usage scientifique sont mises en évidence, avec des suggestions pour l'enseignement.

La question "Deux blocs" (fig. 1) a été proposée, dans deux versions légèrement différentes, à 253 élèves des sections scientifiques de trois lycées italiens. Cette question a été prise d'une autre recherche (Caldas et Saltiel 1995) concernant les conceptions des étudiants sur le frottement. Dans la première version on demandait d'indiquer les forces agissant sur chacun des deux blocs, tandis que dans la seconde version on demandait seulement les forces agissant sur le bloc supérieur. La question "Un livre sur la table" a été donnée à 153 élèves italiens des deux dernières années de lycée scientifique. Les questions "Récipient" et "Ballon dans l'eau" ont été soumises respectivement à 148 et 168 étudiants belges en première année universitaire. 46 étudiants belges en première année universitaire et 36 enseignants italiens ont répondu à la question "Interactions".

Causes déplacées ou délocalisées

Dans la situation de la fig.1, le bloc B est placé sur le bloc A, qui est tiré par une force F horizontale. Il y a frottement entre les deux blocs. Demandés d'indiquer les forces agissant sur le bloc B, beaucoup d'étudiants (32%) ont considéré que la force F agirait aussi sur ce bloc, ainsi "déplaçant" la cause du mouvement au-delà du bloc A, en raison d'une sorte de lien entre les deux blocs dû au frottement ou à l'adhérence. En d'autres termes, ils considèrent une "transmission" de force de l'objet sur lequel la force réellement agit, à un autre objet en contact avec lui ².

«... F agissant sur A, agit aussi sur B, étant donné que entre A et B il y a du frottement... »

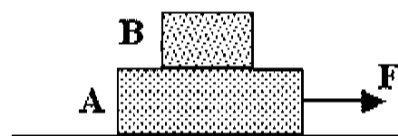


Fig.1 Les deux blocs

² Plusieurs étudiants pensent qu'aucune force horizontale n'agit sur le bloc supérieur, dont le mouvement est expliqué sans besoin d'une force, par l'idée d'entraînement ou d'adhérence entre les blocs (Caldas et Saltiel 1995).

« Puisque entre les deux boîtes il y a du frottement, F agit, avec une plus petite intensité et indirectement, aussi sur la boîte B. »

On observe un raisonnement similaire dans d'autres situations, par exemple dans la question suivante "Récipient", soumise à 148 étudiants de première année universitaire :

« Dans un récipient cylindrique il y a de l'eau. Si on déplace le récipient dans un endroit où la pression atmosphérique est plus faible, mais la gravité est la même, cela change-t-il quelque chose dans la force que l'eau exerce sur le fond du récipient ? »

66% ont répondu, correctement, que la pression change et diminue, 27% qu'elle ne change pas. Ce qui est intéressant ici ce sont les justifications données pour les réponses correctes par plusieurs étudiants, exprimant l'idée que l'air agit directement sur le fond du récipient.

« La pression atmosphérique exerce une pression sur le haut du liquide et donc sur le fond du récipient » « La pression exercée par l'eau même sur le fond est identique, mais la pression atmosphérique s'ajoute ... »

Selon ces étudiants, il y aurait deux forces distinctes agissant sur le fond du récipient, l'une exercée par l'eau et l'autre par l'air au-dessus du liquide, au lieu d'une seule force, exercée par l'eau qui est en contact avec le fond. Dans la formule de l'hydrostatique $p = p_{air} + \rho g \Delta h$ il y a une égalité mathématique qui indique que la valeur de la pression au fond est égale à la valeur de la pression à la surface plus la quantité $\rho g \Delta h$, tandis que dans l'interprétation des étudiants la pression au fond serait la résultante de deux forces par unité de surface effectivement, physiquement, exercées sur le fond, l'une par le liquide (qui serait égale à $\rho g \Delta h$) et l'autre par l'air au-dessus. Ce n'est pas seulement l'eau en contact avec le fond, mais aussi l'air au-dessus de l'eau qui est censé agir directement sur le fond même.

Cause efficiente et cause contingente

Les exemples précédents peuvent aussi être interprétés comme une confusion entre ce qui "provoque" un événement (la pression de l'air ou la force externe F) et ce qui agit effectivement pour le produire (la pression de l'eau ou la force de frottement). C'est la confusion, assez fréquente dans le raisonnement commun, entre ce que j'appellerai *cause efficiente* et *cause contingente*.

On tient un objet dans la main, on ouvre la main et l'objet tombe : quelle est la cause de la chute de l'objet, l'ouverture de la main ou la force de gravité de la Terre ? On pourrait répondre : toutes les deux, il n'y a pas *la* cause, il y a *les* causes, mais on peut pas se passer de prendre en compte la nature différente des deux "causes" envisagées. L'ouverture de la main permet à l'effet de la force de gravité de se manifester en tant qu'accélération vers le bas, mais c'est cette force de gravité qui fait tomber l'objet vers le bas. Cela revient à peu près à la différence de sens entre les verbes "provoquer" et "produire".

Dans la pensée commune on a tendance à se concentrer sur la *cause contingente* et à la confondre avec la *cause efficiente*. Dans la vie quotidienne, on s'intéresse surtout à ce qui provoque ou permet l'activation d'un événement, enlève les contraintes ou joue le rôle de déclencheur. Par l'interrogation "pourquoi", plutôt que les causes, souvent on cherche les "raisons", le sens, les buts ou les responsabilités.

Bachelard (1949, p.209) parle d'une "causalité de déclic mettant en action des causalités objectives". Halbwachs (1971, p.26) fait une distinction entre les "*conditions* de production du phénomène" et la cause "*vraie*", qui produit le phénomène.

Cette ambiguïté se manifeste dans le cas des fluides en présence de la gravité. Comment expliquer la variation de pression avec la profondeur ou l'altitude ? Quelle la cause de cette variation ? La force de gravité, le poids, provoque l'augmentation des forces de pression, mais ce sont les interactions entre les parties du fluide et entre le fluide et les parois solides qui "produisent" les forces de pression, ces dernières n'étant que les résultantes au niveau macroscopique de ces interactions, locales, superficielles, de nature électromagnétique.

Pour examiner si dans cette situation il y a confusion entre cause efficiente et contingente, la question "Interactions" a été soumise à 46 étudiants (première année d'université) et à 36 enseignants (en formation initiale ou continue). On demandait quel type de force ou d'interaction, parmi les quatre fondamentales (gravitationnelle, électromagnétique, forte ou faible), est celle qu'un nageur ressent sur ses tympans, quand il plonge en profondeur sous l'eau. Les résultats ont été très clairs et homogènes : 94% a répondu qu'il s'agissait d'une force gravitationnelle :

« Parce que c'est un phénomène lié à la force de gravité, donc à l'attraction exercée par la Terre sur l'eau », « Parce qu'elle dépend de l'accélération de gravité (loi de Stevin) », « La force est due au poids de l'eau située au-dessus », « la force exercée est le poids ».

Les justifications montrent le glissement de sens d'une description impliquant l'influence du poids sur la valeur de la pression, vers une identification de la force de pression avec le poids : la pression est liée au poids, le poids *cause, crée* la pression, la force de pression *est* le poids, donc une force gravitationnelle.

Ces tendances de raisonnement sont bien montrées par les commentaires d'étudiants, interrogés sur la valeur de la force exercée par l'eau sur le fond d'un récipient cylindrique :

« à mon avis, la force exercée de l'eau sur le fond du récipient dépend du poids de l'eau, en effet je pense qu'elle est juste le poids ».

« ...la pression n'est rien d'autre que le poids d'une colonne de fluide, dans ce cas-ci l'eau ».

Un problème similaire se retrouve dans l'analyse des forces de contact entre solides. On pose un livre sur une table et on demande quelles sont les forces agissant sur la table : la grande majorité des élèves a répondu en indiquant aussi le poids du livre (72% parmi 153 élèves italiens de lycée). L'attention se concentre sur le poids, qui est censé *provoquer* une force entre la table et le livre, et les interactions au contact entre le livre et la table sont oubliées.

*« La table est sujette à la force de gravité et à la force poids que le livre exerce sur elle. »
« la force poids du livre agit sur la table ... »*

Lors d'un entretien, un élève (niveau terminal) a répondu à cette question en évoquant, parmi les forces agissant sur la table, la force due à la pression de l'air, les forces du sol, le poids de la table et, enfin, aussi le poids du livre. Sollicité à être plus précis sur l'origine et la nature de cette force, il a fourni d'autres détails, variant beaucoup en cours d'entretien, par exemple :

"C'est une force de l'attraction de la Terre ... elle est comme la gravité, elle est la gravité ... elle est exercée par le livre, non, par la Terre, par tous les deux ... S'il n'y avait pas la gravité, le livre n'exercerait aucune force sur la table, donc c'est la Terre qui exerce cette force sur la table, en effet sur la Lune cette force serait plus petite. ... Mais non, ce n'est pas la Terre, mais la force dépend de la Terre, donc, de façon indirecte ... La Terre exerce une force sur le livre, donc de façon indirecte, aussi sur la table ..."

On voit bien toute la difficulté de cet élève et la confusion dans laquelle il est plongé, même s'il montre qu'il connaît assez bien les bases de la physique étudiée.

Un problème semblable surgit lorsqu'on veut expliquer quelle est la force qui cause l'accélération d'une voiture : est-ce la force du moteur ou la force de frottement exercée par la

route sur les pneus ? Ce problème n'est pas banal si encore dans un récent article dans le BUP les auteurs en débattent (Roux et Seigne 2001, p.505-506) : "à la question « qui accélère » ... le physicien un peu trop dogmatique... affirme que c'est la route qui accélère le véhicule. Bien sûr cette réponse n'est pas satisfaisante... Comment la volonté du pilote intervient-elle ? ... si on se souvient de la déformation de la couche de surface du pneumatique lors des modifications d'allure ... C'est cette modification de l'interaction qui est responsable des interactions mécaniques entre la route et le véhicule". Évidemment, le moteur *déclenche* l'apparition d'une force de frottement vers l'avant, mais c'est cette force de frottement qui *produit* directement l'accélération et qui est la quantité F dans la loi $F=ma$ pour la voiture. Cette distinction entre typologies explicatives me semble ici essentielle pour bien clarifier le problème et aussi surmonter les difficultés et le malaise exprimés par les auteurs de l'article.

Lois globales et explications locales

Ces types de raisonnement peuvent aussi être liés au fait que l'étudiant donne un *regard global* et indifférencié sur le système physique sans s'impliquer dans une analyse plus détaillée considérant les propriétés et les interactions locales. Cela renvoie à une autre caractéristique importante des raisonnements communs : le manque ou la difficulté de connexion entre une description globale, en termes de grandeurs et de lois formelles concernant le système, et une analyse locale, en détail, en termes de lois causales, de ce qui se passe à une échelle plus petite, surtout là où des interactions significatives ont lieu.

Par exemple, la loi de l'hydrostatique nous dit que la pression dans un liquide augmente avec la profondeur. Pour expliquer cela on fait appel au poids du liquide au-dessus, en considérant toute la hauteur du liquide jusqu'à la surface de contact avec l'atmosphère. Il s'agit d'un *raisonnement global*, en grand, où la pression en un point est mise en relation avec ce qui se passe dans les parties très éloignées du liquide. Mais on peut se demander en quoi le liquide en bas est différent du liquide en haut pour qu'il y ait une pression plus grande. Si rien ne change (température, densité, composition), cette différence devient un mystère. Voilà qu'il faut faire appel à un *raisonnement local*, en petit. Il ne suffit pas de dire que, pour qu'il y ait équilibre, la pression *doit* être plus grande en bas, il faut aussi s'imaginer *comment cela peut arriver*, quelles modifications interviennent dans le liquide. Et à température constante, c'est justement une différence de densité qui peut rendre compte de la différence de pression.

Un problème pareil existe pour les solides. La schématisation du *corps rigide* marche bien pour calculer la force qu'un livre exerce sur une table, mais l'origine de cette force demeure mystérieuse si l'on ne considère pas les déformations du livre et de la table. C'est seulement l'augmentation de ces déformations qui peut expliquer le fait que la force augmente si on ajoute un autre livre sur le premier. Le modèle du corps rigide permet de calculer ces forces mais ne permet pas de les comprendre.

Cette difficulté à connecter les aspects locaux et globaux apparaît aussi dans les réponses à la question "Ballon dans l'eau", dans laquelle on demandait d'abord de décrire les forces exercées par l'eau sur un ballon totalement immergé et ensuite si ces forces ont quelque chose à voir avec la poussée d'Archimède (Besson 2001 et 2004). Seulement 11% des étudiants ont identifié ou lié clairement la poussée d'Archimède avec la résultante des forces de pression ; 28% ont répondu qu'elle n'a rien à voir avec ces forces et 27% qu'elle concerne seulement ou coïncide avec la force sur le fond du ballon. Beaucoup d'étudiants ont souligné le contraste entre le caractère "global" de la poussée d'Archimède, considérée comme une force de volume agissant sur le ballon entier, et les forces de pression, forces de contact, *locales*,

agissant sur chaque petite partie de la surface du ballon. Ce contraste semble aux étudiants si radical qu'ils n'arrivent pas à saisir la connexion entre les deux phénomènes.

Demande de calculs et besoin d'explications

On sait que les élèves éprouvent des difficultés dans la compréhension des régimes permanents et à aborder un raisonnement systémique, ils préfèrent raisonner en termes d'événements qui se succèdent dans le temps, comme dans une histoire ou un récit (Viennot 2003). Mais une fois bien comprise l'impasse où vont mener certaines tendances du raisonnement commun, il est également licite de porter un regard plus critique sur le discours enseignant et sur le caractère *très artificiel* de certains raisonnements physiciens. En effet, comment peut-on imaginer une *transformation statique*, expression en soi auto-contradictoire, même si elle est corrigée avec un plus sage *quasi* ? Jusqu'à quel point peut-on se passer de ce *quasi* et qu'est-ce qui se cache derrière lui ? Bien sûr, dans les calculs cela marche, le *quasi* peut être (doit être) négligé, mais *bien calculer n'est pas toujours bien comprendre*.

Purifié de ses défauts et ingénuités, l'essentiel du raisonnement commun semble parfois plus proche de la réalité physique que l'image immobile et figée, proposée souvent dans les cours de physique. Le raisonnement commun pose l'exigence d'expliquer comment une situation d'équilibre ou stationnaire *se constitue* et comment elle *se maintient*. Cette double explication, concernant *la formation et le maintien* d'un état physique, est envisagée de façon différente par l'élève et par l'enseignant : l'élève s'intéresse davantage au problème de la formation, de la genèse de la situation, alors que l'enseignant se focalise sur les conditions et les modalités du maintien. Le premier raisonne surtout en termes de changement, le second en termes d'équilibre. Le premier envisage des mécanismes qui s'enchaînent dans une explication causale linéaire, tandis que le second considère plutôt des relations entre des grandeurs physiques valables à un instant donné. Mais ce contournement du changement, du transitoire, une sorte d'expulsion du devenir, peut apparaître comme une négation perverse de la réalité, et donner l'impression que la physique ne concerne pas vraiment le monde et la vie réels.

D'ailleurs les lois formelles, les équations d'état comme $pV=nRT$, la loi de Stevin et tant d'autres, décrivent une situation d'équilibre ou stationnaire, qui s'est formé par des interactions dynamiques entre les parties du système et au fond elles sont le résultat de lois causales régissant ces interactions. En effet, la loi des gaz et la loi de Stevin sont déduites des lois de la mécanique de Newton et aussi les équation de Maxwell de l'électromagnétisme peuvent être dérivées d'une loi causale (Jefimenko 2004). Selon Psillos (1995, pp. 67-68), dans l'étude des circuits électriques en courant continu "le raisonnement attendu des élèves suppose un point de vue systémique et a-causal ... Les équations du circuit ne représentent pas un processus physique à travers lequel le circuit a atteint son état stationnaire, et ne peuvent être le support d'aucun mécanisme causal", tandis que "le raisonnement des élèves est causal, dans le sens qu'ils cherchent les causes qui peuvent avoir conduit le circuit dans son nouvel état". Selon Piaget (1965, chap.2), « en physique, on a beau proscrire la causalité en tant qu'explication, en ordonnant de se limiter aux lois : la recherche de l'explication causale demeure plus que jamais un besoin essentiel de l'esprit ». Alors, si on veut se raccorder, en quelque façon, avec la pensée commune, il faudrait essayer d'expliquer le changement sans le nier.

Par exemple, pour expliquer le fait que la pression dans un récipient plein d'eau augmente avec la profondeur, on pourrait proposer une sorte d'histoire en deux phases distinctes.

Dans une première phase, on fait l'hypothèse qu'il n'y a pas de gravité. Alors la pression est égale partout dans le liquide ; d'ailleurs, en absence de gravité, il n'y a pas de haut et de bas.

On imagine ensuite de faire apparaître la gravité. Qu'est-ce qu'il arrive à l'eau ? Quels changements se produisent ? L'eau tend à tomber vers le bas. Si elle tombe librement, rien ne change dans l'eau, la pression demeure égale partout. Mais si le récipient est tenu immobile, alors l'eau s'écrase vers le bas sur le récipient, la masse volumique augmente un peu, ce qui entraîne une variation de pression, si bien que les parties de l'eau situées plus en bas, ayant une pression plus grande, peuvent soutenir les couches d'eau qui sont au-dessus³.

Au lieu d'une *démonstration* faisant appel à une nécessité logique et à un *enchaînement déductif*, comme c'est le cas dans les présentations usuelles, il y a ici *une histoire qui se déroule*, montrant comment il arrive que les choses soient comme elles sont, et on s'appuie sur les idées et les tendances de la pensée commune qu'on a décrites auparavant.

Conclusions et implications

Les élèves et plus en général la pensée commune, pour comprendre une situation physique, ne semblent pas se satisfaire de l'application de lois formelles et de relations fonctionnelles. Ils expriment l'exigence d'une explication causale, d'un mécanisme, qui puisse rendre compte de la dynamique de faits et effets qui a amené à un certain état des choses. Les raisonnements impliqués et les caractéristiques des connexions causales mis en œuvre présentent quelques différences marquées par rapport à ceux qui sont plus communément utilisés et considérés acceptables par les savants et les enseignants.

J'ai mis en évidence trois aspects, qui sont connectés entre eux et avec les habitudes de pensée de la vie courante : une confusion entre cause efficiente et contingente, entre les conditions d'occurrence d'un phénomène et la cause le produisant ; une tendance à déplacer ou délocaliser les causes ; une difficulté à connecter les causes locales et les effets globaux.

Ces aspects sont liés: une manque d'analyse des détails locaux des interactions et propriétés peut entraîner à donner un regard global ne distinguant pas bien les endroits spécifiques, localisés, où les forces agissent et donc à délocaliser ou déplacer les forces et les causes. En outre, cette approximation et ce globalisme d'analyse peuvent amener ou être liés à une confusion entre ce qui déclenche ou provoque un phénomène et ce qui le produit directement, cela en relation avec l'habitude, dans la vie quotidienne, à s'intéresser plutôt aux responsables et à ce qui a permis ou favorisé le déclenchement d'un événement. C'est le sens du "pourquoi" qui peut être très différent, selon les contextes et les buts, comme on sait bien.

Ces tendances de raisonnement, et d'autres trouvées par d'autres auteurs, doivent être prises en compte dans l'enseignement. Il faudrait les considérer non seulement comme des obstacles pour un apprentissage correct mais aussi comme des ressources dont l'apprenant dispose (Hammer 2000) et que l'enseignement doit essayer d'activer, coordonner et restructurer selon les situations spécifiques, dans le but de rendre plus cohérent et riche le raisonnement physique. C'est justement en utilisant les forces de raisonnement existantes de l'élève, dans une dynamique positive de développement conceptuel, qu'on peut favoriser un changement.

³ D'ailleurs cet exemple n'est pas tellement fantaisiste, si l'on imagine un récipient plein d'eau en chute libre, qui est ralenti et puis arrêté : dans la phase initiale, durant la chute libre, tout se passe comme s'il n'y avait pas de gravité.

Références

- ANDERSSON B. (1986) The experiential Gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science, *European Journal of Science Education*, 8(3), 155-171.
- BACHELARD Gaston (1949) *Le rationalisme appliqué* (Paris, PUF).
- BESSON Ugo (2001) *Une approche mésoscopique pour l'enseignement de la statique des fluides. Étude des raisonnements des apprenants, élaboration et expérimentation d'une séquence d'enseignement*, Ph.D. thesis, University of Paris "Denis Diderot" (Paris 7).
- BESSON Ugo (2004) Some features of causal reasoning: common sense and physics teaching. *Research in Science & Technological Education*, 22(1), 113-125.
- BESSON Ugo (2004) Students' conceptions of fluids. *International Journal of Science Education*, 26 (14), p.1683-1714.
- BUNGE Mario (1963) *Causality. The place of the casual principle in modern science* (Cambridge MA, Harvard University Press).
- CALDAS Hélène, SALTIEL Edith (1995) Le frottement cinétique : analyse des raisonnements des étudiants, *Didaskalia*, n°6, pp. 55-71.
- GUTIERREZ Rufina & OGBORN Jon (1992) A causal framework for analysing alternative conceptions, *International Journal of Science Education*, 14 (2), pp. 201-220.
- GUTWILL J., FREDERIKSEN J., RANNEY M. (1996) Seeking the casual connection in electricity: shifting among mechanistic perspectives, *International Journal of Science Education*, 18(2), 143-162.
- HALBWACHS Francis (1971) Réflexions sur la causalité physique. Causalité linéaire et causalité circulaire en physique. In Mario BUNGE et al. *Les théories de la causalité* (Paris, PUF).
- HAMMER David (2000) Student resources for learning introductory physics, *American Journal of Physics*, 68 (7), pp. S52-S59.
- HARRÉ Ron (1972) *The Philosophies of Science* (Oxford, Oxford University Press).
- JEFIMENKO Oleg D. (2004), Presenting electromagnetic theory in accordance with the principle of causality, *European Journal of Physics*, 25, p.287-296.
- MACH Ernst (1883), *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*, Leipzig, Brockhaus.
- OGBORN Jon (1993) Approche théorique et empirique de la causalité, *Didaskalia*, 1, pp. 29-47.
- PIAGET Jean (1965) *Sagesse et illusion de la philosophie*, Paris, PUF.
- PIAGET Jean (1971) *Causalité et opérations*, in: PIAGET et GARCIA *Les explications causales*, PUF.
- PLANCK Max (1949) *Vorträge und Erinnerungen*, Darmstad.
- PSILLOS Dimitris (1995) Adapting instruction to student's reasoning. In Psillos D. (ed), *European research in science education, Proceeding of the 2nd Ph. D. Summer School*, Thessaloniki, pp.57-71.
- PSILLOS D., KOUMARAS P. (1993) Multiple causal modelling of electrical circuits for enhancing knowledge intelligibility, in: M. CAILLOT (Ed) *Learning electricity and electronics with advanced educational technology*, NATO ASI series F, vol.115 (Berlin, Springer-Verlag), pp. 57-75.
- ROUX Paul et SEIGNE Jean-Robert, mars 2001, L'énergie en mécanique et en thermodynamique, *BUP*, n°832, p.491-507.
- ROZIER Sylvie et VIENNOT Laurence (1991) Students' Reasoning in Thermodynamics, *International Journal of Science Education*, 13 (2), pp. 159-170.
- RUSSELL Bertrand (1912) On the Notion of Cause, *Proceedings of the Aristotelian Society*, XIII, 1-26.
- SHERWOOD B.A. & CHABAY R.W. (1993) Conceptual model for understanding the behaviour of electrical circuits, in: M. CAILLOT (Ed) *Learning electricity and electronics with advanced educational technology*, NATO ASI series F, vol.115 (Berlin, Springer-Verlag), pp. 23-35.
- VIENNOT Laurence (1993) Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants, *Didaskalia*, 1, pp. 13-27.

Un ordinateur portable pour chaque élève : quelles influences sur les enseignements scientifique et technologique au collège ?

BOILEVIN Jean Marie, Enseignant-chercheur, UMR ADEF (INRP, IUFM d'Aix-Marseille, université de Provence – Aix-Marseille 1), Marseille, France

BRANDT-POMARES Pascale, Enseignant-chercheur, UMR ADEF (INRP, IUFM d'Aix-Marseille, université de Provence – Aix-Marseille 1), Marseille, France

RANUCCI, Jean Francis, Doctorant, UMR ADEF (INRP, IUFM d'Aix-Marseille, université de Provence – Aix-Marseille 1), Marseille, France

Introduction

Depuis la rentrée scolaire 2003, le Conseil Général du département des Bouches du Rhône dote chaque élève de 4^{ème} et de 3^{ème} d'un ordinateur portable (OP). Les enseignants des classes concernées se voient aussi confier le même équipement dans le cadre de cette opération.

Nos recherches envisagent d'étudier l'apport de l'usage des OP dans les systèmes de transmission – appropriation de savoirs, mis en place au collège et concernant plus particulièrement les enseignements scientifiques et technologiques. L'objectif est d'identifier et de caractériser les éventuelles modifications des pratiques enseignantes dans le cadre d'un prêt généralisé de machines organisé au niveau d'un département. Le but des observations menées est d'arriver à recueillir des informations sur les pratiques des élèves et des enseignants lorsqu'elles s'appuient sur l'usage d'OP dans le cadre de leur utilisation en classe mais aussi en dehors de la classe, sur des espaces de travail collaboratif via Internet. Quel est l'impact sur les situations d'enseignement de ces changements de conditions matérielles, quelles sont les modifications qu'ils entraînent pour les élèves, quelle est leur portée et leur influence réelle ? Autant de questions pour la recherche suscitées par cette nouvelle organisation scolaire.

Contexte de l'étude

Les mesures prises par le Conseil Général des Bouches du Rhône à la rentrée scolaire 2003, comportent plusieurs volets visant tous une informatisation croissante :

- l'équipement en OP des classes de 4^{ème} et de 3^{ème} (élèves et enseignants) de l'ensemble des collèges des Bouches-du-Rhône ayant répondu favorablement à l'initiative ;
- le câblage et la mise en réseau de l'ensemble des établissements ;
- la création de 130 postes d'accompagnateur technique informatique (ATI) dans les collèges publics ;
- l'équipement des collèges publics et privés en casiers pour ranger les ordinateurs portables.

Pour « lutter contre la fracture numérique » un effort est fait aussi en direction de l'équipement en postes fixes des établissements ; l'objectif affiché par le Conseil Général étant d'un poste fixe pour cinq élèves. Il s'agit donc d'une arrivée massive d'ordinateurs dans tous les collèges puisque pour la seule première année, le chiffre évoqué est supérieur à 30 000 ordinateurs portables prêtés.

La première année, la distribution des OP s'est faite progressivement depuis la fin septembre dans les collèges dont les conseils d'administration avaient validé les conventions de mise à disposition du matériel. A la fin janvier, la quasi-totalité des élèves et des enseignants des établissements volontaires étaient équipés. La deuxième année, les travaux de câblage sont encore en cours pour équiper les établissements de bornes wi-fi qui offriront la possibilité d'utiliser les réseaux sans fil pour se connecter à Internet. Ce déploiement technique requiert visiblement plus de temps que prévu, mais sans cela, la communication entre ordinateurs, l'échange de données, la consultation de sites web... ne peuvent s'envisager que via le réseau téléphonique au domicile des élèves. Ils disposent pour cela d'un forfait mensuel gratuit de 10 heures chez un fournisseur d'accès sécurisé (filtres pour éviter la connexion à certains sites). Chaque OP est équipé d'un système d'exploitation, d'une suite bureautique, d'un dictionnaire multimédia ainsi que d'un antivirus. La question d'autres contenus n'a pas été traitée à l'origine la première année mais elle se pose au moins sur le plan de chacune des disciplines (manuels numérisés, logiciels spécifiques, etc.). Les établissements vont être dotés par le rectorat d'un crédit spécifique pour l'acquisition de logiciels reconnus d'intérêt pédagogique. Le Conseil Général devrait fournir une somme de 15 euros par élève.

Cadre théorique

Depuis quelques années, les études d'usages des technologies de l'information et de la communication dans l'éducation (TICE) se sont multipliées (PNER, 2002 ; MEN 2004 ; Larose & al, 2004). Elles montrent que les usages pédagogiques et didactiques se développent lentement dans les pratiques enseignantes mais que ce développement est encore mal connu. Ainsi le rapport PNER (p. 17) met en particulier l'accent sur l'incertitude qui demeure sur le bien-fondé de l'introduction des usages des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans l'éducation et la formation : *« C'est un fait qu'il n'existe pas de preuve « scientifique » de l'efficacité supérieure de l'enseignement avec des technologies éducatives par rapport à un enseignement qui n'intègre pas ce type de support. »* De plus, face à la volonté de l'Institution d'intégrer les TIC dans le monde de l'éducation, et celle des décideurs politiques d'investir dans ces technologies, l'usage pédagogique se développe lentement dans les pratiques enseignantes et ce développement est mal connu.

A l'instar de Baron et Bruillard (2001) nous pensons qu'une approche centrée sur un champ théorique unique ne suffit pas à expliquer la diversité des phénomènes à prendre compte. Pour identifier et caractériser les changements de pratiques enseignantes, nous considérons le travail de l'enseignant comme une activité (Leontiev, 1974, 1975 ; Luria, 1979 ; Vernant, 1997 ; Vygotski, 1985). Ainsi l'introduction des OP permet de penser l'enseignement comme une situation d'activité instrumentée dans laquelle l'usage de l'ordinateur constitue un des moyens d'action de l'enseignant. L'usage des OP par le professeur est considéré par rapport à la nature de l'activité enseignante dans laquelle les processus de transmission-appropriation sont centraux. Enfin, ces modifications des pratiques ne pourraient être considérées sans la prise en compte de tout apport nouveau dans un système existant. Ce projet de recherche s'inscrit ainsi dans une perspective dynamique qui permet de saisir les modifications simultanées de l'environnement et des pratiques instrumentées dans les situations d'enseignement-apprentissage où la logique de la discipline, la logique de l'enseignant et celle de l'élève doivent être analysées tant en classe qu'en dehors de la classe (Amigues & Ginestie, 1991 ; Ginestie & Andréucci, 1997).

L'usage et la genèse instrumentale

Ce que Rabardel définit très précisément comme instrument n'existe pas par nature. L'artefact - outil, instrument¹, objet technique, *Objet Matériel Fabriqué* (Vérillon & Rabardel, 1985)- ne devient réellement *instrument qu'en situation, inscrit dans un usage, dans un rapport instrumental à l'action du sujet, en tant que moyen de celle-ci* (Rabardel, 1995, p. 60). Pour cet auteur, l'artefact est susceptible de devenir un instrument dans l'usage qui en est fait. En lui même, l'artefact ne constitue qu'une composante partielle de l'activité instrumentée, l'autre composante relevant de l'apport propre de l'utilisateur.

L'appropriation est le processus par lequel le sujet reconstruit pour lui-même des schèmes d'utilisation d'un artefact au cours d'une activité significative pour lui. Un artefact devient instrument lorsqu'il devient médiateur de l'action pour le sujet. Rabardel parle alors de genèse instrumentale. L'artefact n'est pas en soi instrument ou composante d'un instrument (même lorsqu'il a été initialement conçu pour cela), il est institué comme instrument par le sujet qui lui donne le statut de moyen pour atteindre les buts de son action. L'instrument est une entité mixte composée de l'artefact et des schèmes que le sujet lui associe.

Rabardel distingue dans la genèse instrumentale le processus d'instrumentalisation (lié aux artefacts) de celui d'instrumentation (lié aux schèmes). Le processus d'instrumentalisation intéresse la composante artefactuelle de l'instrument par attribution de fonction(s) alors que l'instrumentation tournée vers le sujet est constitutive de la capacité du sujet à *s'adapter à de nouvelles contraintes, de nouveaux objets*, à la genèse des schèmes.

Ce cadre constitue une des bases à partir desquelles se fera l'analyse des situations d'enseignement-apprentissage qui recourent aux OP et aux fonctions instrumentales qu'ils sont appelés à jouer pour enseigner ou pour apprendre

Enseignement-apprentissage

Ces conditions instrumentales peuvent varier selon les contenus des tâches proposées aux élèves et les modes de questionnement adoptés qui peuvent solliciter différemment le recours à un même outil. Si on s'appuie sur l'idée que l'apprentissage dépend essentiellement de la nature du savoir mis en jeu, un point de vue didactique s'impose puisque l'enjeu des échanges en classe (entre professeur et élève (s) ou entre élèves) est la construction de connaissances dans un domaine particulier. « *L'élève et le professeur n'occupent pas des positions symétriques dans le rapport au savoir. Le second non seulement en « sait » plus que le premier, mais a la responsabilité d'organiser des situations d'enseignement réputées favorables aux apprentissages du premier* » (Johsua & Dupin, 1993, p. 249). Ce qui nous intéressera plus particulièrement, ce sera justement de savoir comment les professeurs utilisent cet outil pour enseigner et organiser les conditions d'apprentissage des élèves.

Enseigner avec les TICE: des mutations

L'acte d'enseigner est à nouveau questionné par le déploiement des plans d'équipement informatique au sein de l'Éducation Nationale, plans décidés de façon centralisée et plaçant les professionnels de l'enseignement (enseignants, chefs d'établissement, documentalistes, experts techniques et pédagogiques, gestionnaires) dans l'obligation de trouver des applications en termes d'usages pédagogiques à des dispositifs techniques.

¹ Notons que dans le langage courant l'outil semble plus déterminé par rapport à l'opération dans laquelle il intervient alors que l'instrument demanderait plus d'engagement du sujet dans l'activité.

Les publications ne manquent pas qui promettent l'avènement d'une nouvelle ère caractérisée par un accès universel aux connaissances et la multiplication d'entreprises apprenantes². Toutefois, les résultats ne sont pas encore au rendez-vous et l'on en vient progressivement à admettre que l'on manque de compréhension sur la réalité de cette pratique, tant du point de vue des enseignants que des étudiants (par exemple Lagrange et Grugcon, 2003).

Pourtant, les mises en garde quant aux limites des usages de l'Internet ne manquent pas. Perriault (2002, p. 93), parmi de nombreuses réserves, rappelle que, faute d'être « *enchâssée dans une expérience professionnelle et pédagogique de longue date* », la formation en ligne souffre de « l'absence de médiateurs humains ».

Questions de recherche

Partant de l'hypothèse très générale selon laquelle l'introduction d'une nouvelle ressource matérielle (ordinateur portable) va modifier les relations au savoir dans la classe (relation enseignant – savoir et élève – savoir) et hors de la classe et modifier ainsi l'appropriation des savoirs, nous allons étudier plus finement les changements introduits par les OP dans l'appropriation des savoirs jusque-là transmis avec des postes fixes ou non interconnectés.

Des études empiriques devraient permettre de comprendre en quoi et comment les TIC renouvellent les systèmes de transmission-appropriation de savoirs. En effet, l'introduction des TIC, et notamment des OP, renouvelle l'acte de médiation scolaire.

En outre, ces études devraient mettre en évidence les objectifs pédagogiques des enseignants pour l'usage des TIC dans l'enseignement-apprentissage. De multiples questions apparaissent alors.

Comment s'articule l'enseignement-apprentissage instrumenté et sa mise en œuvre avec l'introduction des ordinateurs portables au collège ? Quelles sont les logiques didactiques et pédagogiques relatives aux situations d'enseignement-apprentissage ? Quelles sont les difficultés auxquelles les acteurs doivent faire face avec l'introduction des OP et quels sont les problèmes que cette introduction permet de résoudre ? Quelles sont les retombées sur les situations d'enseignement et quelles remises en cause, s'il y en a, des analyses théoriques des situations de classe sont susceptibles d'être faites ? Dès lors que les interactions hors de la classe se trouvent médiatisées qu'en est-il du rapport au savoir ? En d'autres termes quels concepts de la didactique développés à partir de situations d'enseignement-apprentissage plus traditionnelles restent valides avec l'usage d'OP dans les enseignements et plus particulièrement ceux de sciences physiques et de technologie ?

La mise en œuvre d'ordinateurs pour l'enseignement instrumente l'accès au savoir. Dans la situation d'enseignement l'enjeu des échanges est la construction de connaissances dans un domaine particulier. La mise à disposition d'un espace numérique de travail, permettant le travail à distance souhaité par les enseignants (devoirs à la maison, par exemple), et la prise d'information par le groupe de recherche est un moyen d'observer une pratique d'échanges médiatisés au-delà de l'usage uniquement en classe ou sur le réseau Internet des OP. Dans cette optique les diverses technologies de l'information et de la communication devront pouvoir être utilisées en mettant en pratique les différents concepts développés dans les travaux de recherches passés et en cours. En particulier, cet environnement de travail devrait être en mesure de stimuler et de supporter l'interaction entre pairs sur des tâches bien définies.

² Parmi une abondante littérature, on pourra se référer à Mingasson, 2002. Pour une discussion critique, voir par exemple Metzger, 2002.

Méthodologie

Les recherches entreprises portent sur des champs d'investigation différents qui ont pour point commun d'apporter un éclairage qualitatif à la fois des situations d'enseignement-apprentissage en classe mais aussi dans leur prolongement hors de la classe notamment sur les questions de rapport au savoir avec un espace de travail collaboratif.

En classe

Nous avons suivi l'arrivée des OP dans quatre collèges et nous nous sommes particulièrement intéressé aux disciplines sciences physiques et technologie. Les questions évoquées précédemment sont abordées essentiellement sous des aspects qualitatifs. Les données empiriques recueillies s'appuient, d'une part, sur le discours des enseignants sur leur pratique et d'autre part, sur des observations des pratiques.

La première année, des entretiens individuels avec les enseignants de sciences physiques et avec des membres de la communauté scolaire ont été menés. De plus, un recueil du discours autour de leur pratique est constitué du carnet de bord rempli par chaque enseignant (il s'agit de l'agenda de l'enseignant où celui-ci présente le contenu des séances de classe en précisant s'il y a usage ou non des OP) et des grilles d'analyse des séquences d'enseignement (pour chaque séance de classe où il est fait usage des OP, l'enseignant complète un document préparé à cet effet). Concernant les entretiens, l'analyse des transcriptions est organisée pour repérer des usages réels ou suggérés de la part des personnels interrogés. Les documents papier (traces écrites des pratiques des enseignants) ne semblent pas en nombre suffisant actuellement pour envisager une analyse approfondie. L'accent est mis sur l'articulation tâche-activité comme analyseur des situations didactiques.³ Le croisement de ces deux analyses permet de caractériser les interactions qui existent entre trois logiques concourantes et éventuellement concurrentes : celle de la discipline, celle de l'enseignant et celle de l'élève.

De plus, des enregistrements vidéo de séances de classe ont été effectués. Pour permettre l'observation de la situation particulière de changement initié par un apport externe, il nous a paru utile de tenter de neutraliser au maximum tous les autres facteurs. Aussi avons nous privilégié un terrain d'observation déjà connu. Un enseignant de technologie a été observé ; il s'agit d'un enseignant expérimenté exerçant depuis plusieurs années dans un établissement réputé difficile et ayant l'habitude de se servir des ordinateurs dans sa pratique professionnelle. Le dispositif mis en place a permis l'observation de situations dans laquelle l'enseignant a décidé de se servir des OP pour la première fois. L'observation des deux premières séances faites par cet enseignant, qui recourt aux ordinateurs portables en classe, a donné lieu à la retranscription des enregistrements vidéo des séances ainsi qu'à l'analyse des discours de l'enseignant et des élèves et à l'analyse des interactions entre eux par rapport au savoir en jeu dans ces situations de classe.

Hors la classe

L'expérimentation a été réalisée avec deux classes de 4^{ème}. Dans l'une, c'est l'approche disciplinaire technologique qui est privilégiée alors que dans l'autre, c'est une approche pluridisciplinaire et spécifique des disciplines à travers la mise en place d'un Itinéraire de Découverte (IDD) qui est menée. L'outil mis à disposition des enseignants est un espace de

³ Pour une présentation de la problématique tâche-activité, voir par exemple Brandt-Pomares (2003).

travail collaboratif à distance. Celui-ci a été développé dans le cadre d'une recherche sur la mise en place d'un réseau de veille en formation (Ranucci, 2004). Ces travaux s'appuient sur différents recueils d'informations à partir des différentes étapes d'utilisation de cet espace de travail collaboratif à distance ; sur l'inscription dans l'espace de travail collaboratif : l'une faite en classe par les élèves, avec l'assistance de l'enseignant et des interactions avec le groupe classe, l'autre faite par l'enseignant. Cela devait nous permettre d'observer deux types de comportement de l'élève en face de ces outils, en collectif et en individuel. Un autre type d'informations recueillies concerne les taux de réussite dans les tâches relatives aux travaux à distances demandés autour de l'espace de travail collaboratif.

Résultats /Discussion

Les données recueillies concernent essentiellement la première année d'utilisation des OP. Nous concentrerons la discussion sur cette période.

Modèle didactique de l'enseignement questionné

L'introduction d'une nouvelle ressource matérielle (ordinateur portable) modifie les relations au savoir dans la classe (relation enseignant – savoir et élève – savoir) et/ou hors de la classe et modifie ainsi l'appropriation des savoirs. Les relations de pouvoir se trouvent aussi discutées puisque certains enseignants ont l'impression de voir leur autorité remise en cause devant leurs connaissances concernant les TIC mal maîtrisées, voire moins bien maîtrisées que certains élèves.

La médiation scolaire se trouve en fait renouvelée. Le cours magistral où les élèves prennent des notes à partir de l'exposé du professeur n'est plus l'unique référence. Pour l'enseignant, il s'agit d'utiliser l'ordinateur en classe mais sous quelle forme : avec un vidéoprojecteur pour retrouver d'une certaine manière une forme connue et éprouvée du schéma classique du professeur au tableau, disposer les élèves comme en salle équipée d'ordinateurs ou comme en cours traditionnels, ou bien l'utiliser sous des formes innovantes.

Contrat didactique modifié

Il semble que l'introduction des ordinateurs portables dans les classes soit à l'origine d'une modification du contrat didactique. Il s'agit alors de redéfinir ce qui est de la responsabilité de l'enseignant et ce qui demeure à la charge de l'élève, tâche qui s'avère délicate à mettre en œuvre. L'observation du travail en technologie montre que l'enseignant est contraint de multiplier ses interventions pour faire avancer le temps didactique en demandant aux élèves de se concentrer sur ses interventions et de cesser de regarder leur écran. Mais en dehors de l'observation de cet enseignant plutôt pionnier, on retrouve un certain nombre d'éléments signalés par une enquête sur l'état des pratiques d'appropriation et de mise en œuvre des ressources informatiques par les enseignants du Québec (Larose, Grenon et Palm, 2004, p. 123). *« Pour qu'une praticienne ou un praticien chevronné modifie ses pratiques d'ordre pédagogique ou didactique, encore faut-il qu'il puisse imaginer, projeter et vivre des expériences de bénéfice réel tant au plan de la pratique que de ses effets sur les enfants auprès desquels il ou elle œuvre. Si les problèmes attendus sont supérieurs aux bénéfices escomptés, considérant que la large majorité des praticiennes et des praticiens sont des*

professionnels compétents et efficaces, il est peu probable qu'on voit émerger d'importantes modifications à leurs pratiques effectives. »

Genèse instrumentale

Il semble que la genèse instrumentale soit en cours et ne puisse être considérée comme achevée ni même avérée. Le fait que les conditions matérielles ne soient pas encore stabilisées constitue un obstacle concernant la composante artefactuelle à l'élaboration de la genèse instrumentale. La période vécue par les enseignants interrogés peut être considérée comme une période transitoire même si la responsabilité des élèves vis-à-vis du matériel qui leur est confié est déjà une avancée propice à une forme de genèse personnelle (fond d'écran, musique, etc.). Qu'en sera-t-il réellement des modifications des pratiques dans l'enseignement lorsque les difficultés matérielles seront levées ? Il faudra attendre l'année en cours pour obtenir des éléments de réponse suffisamment tangibles. Le déploiement quasi sans précédent d'un tel dispositif a sans doute présenté à l'épreuve des faits des difficultés qui ont retardé sa mise en oeuvre.

Conclusion

Au-delà des problèmes logistiques et techniques inhérents à une telle opération, il semble que les pratiques enseignantes soient questionnées à divers titres par l'arrivée des ordinateurs portables dans les collèges. La caractérisation des nouvelles pratiques comme des blocages rencontrés devraient permettre de déterminer l'influence éventuelle de ces machines sur l'apprentissage des sciences physiques, de la technologie et sans doute des autres disciplines. De plus le travail collaboratif devrait nous donner plus d'informations sur les interactions entre élèves, élèves et l'enseignant, comment se créent les regroupements, quels sont les questionnements, les périodes de travail....

Les résultats précédents peuvent paraître relativement précis et paradoxaux par rapport à l'empan très large du filtre d'observation. Mais cette première approche révèle effectivement les problèmes qui se posent à faire entrer dans les pratiques un outil dont la pertinence par rapport à la genèse instrumentale dans les activités concernées, c'est-à-dire celles des élèves pour apprendre et celles des professeurs pour enseigner, est moins évidente qu'il n'y paraît.

Bibliographie

AMIGUES René et GINESTIE Jacques, 1991, « Représentations et stratégies des élèves dans l'apprentissage d'un langage de commande : le grafset ». *Le Travail Humain*, vol 4, pp. 1-19.
BARON Georges-Louis et BRUILLARD Eric, 2001, « Une didactique de l'informatique », *Revue Française de Pédagogie*, 135, pp. 163-172.
BRANDT-POMARES Pascale, 2003, *Les nouvelles technologies de l'information et de la communication dans les enseignements technologiques. De l'organisation des savoirs aux conditions d'étude : didactique de la consultation d'information*. Thèse de doctorat, Université de Provence.

- JOHSUA Samuel et DUPIN Jean-Jacques, 1993, *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Paris, Presses Universitaires de France.
- GINESTIE Jacques et ANDREUCCI Colette, 1997, "Approach of assessment and teaching meaningful in Technology education in France : tries and mistakes", 8th PATT Conference, 10-14 April, Breukelen, PATT Foundation.
- LAGRANGE Jean Baptiste et GRUGEON B, 2003, "Vers une prise en compte de la complexité de l'usage des TIC dans l'enseignement. Une méta-analyse des publications d'innovation et de recherche en mathématiques ", *Revue française de pédagogie*, n° 143.
- LAROSE François, GRENON Vincent et PALM Stéphane B., 2004, *Enquête sur l'état des pratiques d'appropriation et de mise en œuvre des ressources informatiques par les enseignantes et les enseignants du Québec*, Centre de Recherche sur l'Intervention Educative, Sherbrooke.
- LEONTIEV Alexis, 1974, "The problem of activity in psychology", *Soviet Psychology*, 13, pp. 14-33.
- LEONTIEV Alexis, 1975, *Activité, conscience, personnalité*, Moscou, Éditions du progrès.
- LURIA Alexandre, 1979, *The making of mind : A personal account of Soviet Psychology*, Cambridge M.A., Harvard University Press.
- METZGER Jean-Luc, 2002, "Apports et limites des théories de l'apprentissage organisationnel : le cas de la réforme permanente ", *Formation emploi*, n°77, janvier-mars.
- MINGASSON Marc, 2002, *Le guide du e-learning : l'organisation apprenante*, Paris, Editions d'organisation.
- M. E. N. R. T., 2004, *Les attitudes des enseignants vis-à-vis des technologies de l'information et de la communication dans les premier et second degrés*.
- PERRIAULT Jacques, 2002, *L'accès au savoir en ligne*, Paris, Odile Jacob.
- Programme de Numérisation pour l'Enseignement et la Recherche (PNER), 2002, *Étudier les usages pédagogiques des technologies de l'information et de la communication : une pratique de recherche ou/et de légitimation ? Etude n °3* Groupe de travail Méthodes et outils pour l'observation et l'analyse des usages, Rapport final, Lyon.
- RABARDEL Pierre, 1995, *Les hommes et les technologies, Approche cognitive des instruments contemporains*, Paris, Armand Colin.
- RANUCCI Jean-Francis, 2004, « Veille technologique en formation », *Education Technologique*, n°24 juin 2004, Delagrave.
- VÉRILLON Pierre, RABARDEL Pierre, 1995, "Cognition and artifacts : a contribution to the study of thought in relation to instrumented activity", *European Journal of Psychology of Education*, 10, 1, pp 77-101.
- VERNANT Denis, 1997, *Du discours à l'action. Formes sémiotiques*, Paris, PUF.
- VYGOTSKI Lev, 1985, *Pensée et Langage*, Paris, Messidor/ Éditions sociales.

Apprentissage scientifique par problématisation en physique en terminale S

BRIAUD Philippe, MC, IUFM des Pays de la Loire – CREN Université de Nantes, 4 Chemin de Launay violette BP 12227 – 44322 Nantes cedex 3

Introduction

Des travaux de recherche en didactique des sciences ont montré l'intérêt des situations en classe où à travers des activités langagières, aussi bien d'écrit que d'oral, les élèves sont amenés à construire un savoir scientifique dans des conflits socio-cognitifs (Perret-Clermont, 1979).

Le travail que nous présentons dans cette communication porte sur une séquence en physique en classe de terminale S où l'on étudie le fonctionnement d'un circuit électrique avec un condensateur en vue d'établir le modèle électrocinétique de ce dipôle.

Dans cette recherche nous analysons les problématisations des élèves dans des situations de classe gérées par l'enseignant titulaire.

Cadre théorique

Les savoirs scientifiques ne sont pas des faits mais des réponses à des questions. Ils ne permettent pas seulement de résoudre des problèmes mais aussi d'en formuler de nouveaux, de les provoquer et de les construire (Orange, 2000). Cette relation dynamique entre les savoirs scientifiques et les problèmes dont ils sont solutions donne aux problèmes une place privilégiée dans les situations d'apprentissage.

Pour qu'il y ait problème, il doit y avoir une question qui a du sens et nécessite une réponse qui n'est pas connue, sinon il n'y a que rappel de connaissances mémorisées (Dumas-Carré et Goffard, 1997 p.9). L'objectif étant l'apprentissage d'un savoir scientifique dans un temps raisonnable c'est dans des situations-problème (Meirieu, 1990), fondées sur un objectif-obstacle (Martinand, 1994), que l'élève va pouvoir construire et structurer les savoirs scientifiques (Robardet, 2001).

Dans une situation d'apprentissage par résolution de problème l'élève doit identifier ce qui lui pose problème en faisant des choix entre différentes données empiriques et théoriques pour conduire son étude. Il lui faut répertorier les savoirs scientifiques dont il dispose pour savoir s'il doit en trouver d'autres ailleurs ou en construire. Cette activité de recherche met en relation les données du problème et les conditions de leurs traitements. Elle déploie toutes les phases de la problématisation : la position de la situation, la construction et la résolution du problème (Fabre, 1999, p 51).

Les tâches d'explication mettent en tension des faits et des théories. C'est donc dans une recherche d'explication que nous inscrivons l'apprentissage d'un nouveau savoir scientifique par problématisation. Problématiser en sciences c'est mettre en tension un registre empirique

(les données) avec un registre des modèles (les nécessités construites) dans un registre explicatif (Orange, 2000, p.27). Apprendre en sciences c'est passer d'une opinion à un savoir scientifique raisonné.

L'objectif du travail réalisé avec les élèves de terminale S était de leur faire prendre conscience que le modèle électrocinétique des conducteurs ohmiques (la loi d'Ohm) ne permet pas d'expliquer le fonctionnement du circuit électrique avec un condensateur. Ce constat doit les amener à chercher une autre relation, que la loi d'Ohm, entre le courant qui traverse le condensateur et la différence de potentiel entre ses bornes.

Pour étudier la problématisation du condensateur par les élèves nous avons convenu, avec l'enseignant titulaire de cette classe, de leur faire expliquer le fonctionnement d'un circuit constitué d'un condensateur en série avec une lampe, un interrupteur et un générateur de tension continue. Comme nous le verrons, le dispositif utilisé en classe est un peu plus sophistiqué.

Méthodologie

La séquence proposée aux élèves s'est déroulée en trois temps :

1) Une première séance d'une heure un jeudi en fin d'après midi où les vingt élèves sont répartis en six groupes de trois et un de deux. Les groupes ont une vingtaine de minutes pour : se mettre d'accord sur le fonctionnement d'un circuit électrique qui est placé sur le bureau du professeur, et rédiger l'explication qu'ils vont présenter devant les autres élèves. Le schéma du circuit électrique représenté sur la figure 1 ci-dessous, était dessiné au tableau. Pendant leur préparation les élèves discutent entre eux dans les groupes et pour tester des hypothèses ils peuvent manipuler le circuit. Ensuite chaque groupe présente son travail à l'ensemble de la classe.

2) Une séance de travaux pratiques de deux heures le lendemain en début d'après midi. Les élèves sont répartis par binôme. Ils disposent d'un protocole, directif, de TP pour étudier le dipôle RC avec un dispositif d'acquisition informatique. Ils doivent mesurer l'évolution temporelle de la tension aux bornes d'un condensateur placé en série dans un circuit avec un générateur de tension continue et un conducteur ohmique R, déterminer graphiquement la constante de temps RC de ce circuit, étudier la décharge du condensateur et l'influence qu'ont les valeurs de R et de C, sur le temps de charge du condensateur. Ce TP a été mis en place par l'enseignant seul.

3) Une dernière séance d'une quinzaine de minutes le lundi en début d'après midi où les élèves ont répondu par écrit à la question suivante : A partir de la courbe [obtenue vendredi en TP] représentant l'évolution temporelle de la tension aux bornes du condensateur pendant sa charge, est-il possible de retrouver l'explication du fonctionnement du circuit [de la première séance] au démarrage ?

Ces trois séances étaient conduites par l'enseignant titulaire de cette classe. L'auteur de cet article a assisté –avec une participation limitée– qu'aux deux premières séances. Les discussions entre les élèves, en groupe, lorsqu'ils manipulent et lorsqu'ils exposent, ont été enregistrées et transcrites. Nous avons aussi récupéré les documents écrits par les élèves au cours des séances 1) et 3). Pendant les exposés de la séance 1) des élèves ont pu compléter leurs documents. Il ne nous est pas toujours facile de distinguer ces écrits de ceux réalisés pendant la préparation en groupe.

La deuxième séance ne fait pas l'objet de notre travail de recherche. Nous y avons assisté pour voir comment les élèves utilisent leurs connaissances scientifiques en électricité dans des travaux pratiques.

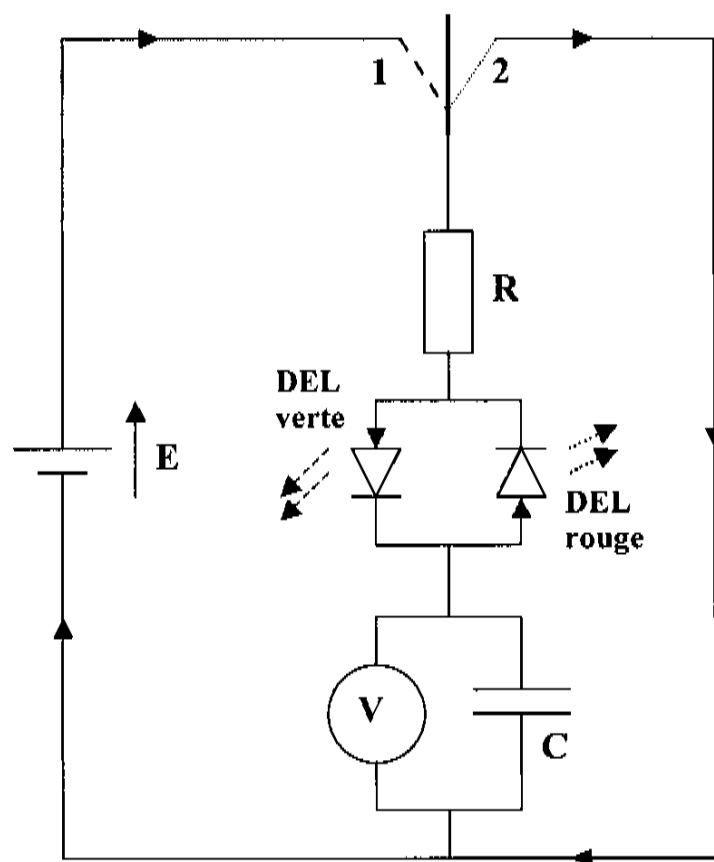


Figure 1 : Schéma du circuit électrique étudié en classe de terminale S. Les flèches -verte (--) pour le circuit avec l'interrupteur en position 1 et rouge (...) en position 2- ont été placées par les élèves pour indiquer le sens de parcours du courant électrique.

L'analyse que nous proposons maintenant porte sur notre interprétation des discours des élèves et de leur interaction et des documents écrits qu'ils nous ont remis.

Productions des élèves

Au cours de la première séance quatre groupes, sur les sept, sont venus revoir le fonctionnement du circuit pour bien distinguer les deux étapes où l'interrupteur est en position 1 et 2. Un groupe s'est aussi intéressé à la valeur limite de la tension aux bornes du condensateur dans le circuit 1. Un autre groupe s'est déplacé pour vérifier que le fonctionnement à l'étape 2 nécessite le passage à l'étape 1.

Un groupe a demandé à l'enseignant ce qui se passait dans le condensateur, sans obtenir de réponse.

Les travaux écrits des élèves et les contenus des exposés montrent qu'au cours de cette première séance les élèves ont su relier les deux fonctionnements du circuit à la charge et la décharge du condensateur. Cinq groupes sur sept ont représenté le sens du passage du courant sur leur schéma du circuit, en utilisant des crayons de la même couleur que celle des diodes électroluminescentes (DEL pour la suite). Les élèves n'ont pas utilisé le sens de circulation du courant électrique dans les deux circuits pour problématiser leur fonctionnement.

Les explications fournies par les différents groupes sont assez semblables et reposent sur les mêmes observations :

- Interrupteur en position 1 : La DEL verte est allumée et la tension [mesurée] aux bornes du condensateur augmente.
- Interrupteur en position 2 : La DEL rouge est allumée. Son éclairage et la tension [mesurée] aux bornes du condensateur diminuent au cours du temps.

Nous donnons ci-dessous l'extrait de l'exposé du premier groupe. Le professeur est repéré par la lettre P et les élèves par les autres lettres de l'alphabet. La même lettre est utilisée pour le même élève lorsque nous arrivons à l'identifier par sa voix :

178 P *Et les gars...*

179 E *On écoute* (plusieurs élèves)

180 A *Donc on a vu que quand on mettait l'interrupteur sur la position 1. Le courant passait dans la borne plus du générateur jusqu'à la borne moins. Vous avez compris ?*

(Rires des élèves)

181 A *Ensuite et quand on met. Mais par contre on sait pas pourquoi elle s'éteint au fur et à mesure la verte. Après ensuite quand on charge et qu'on met sur la position 2. Donc le le le condensateur était chargé.*

182 A *Donc le courant remonte et il passe par la diode de droite. Donc elle s'allume et ça repasse par la résistance. D'ailleurs elle est parcourue dans l'autre sens. Donc pour que le courant puisse passer dans l'autre sens. Donc elle remonte et ça fait un circuit fermé pour que la lampe s'allume assez longtemps. Mais elle s'éteint aussi au fur et à mesure parce que le condensateur se décharge. Donc voilà...*

(Les élèves se mettent à discuter entre eux)

Dans cet extrait on voit que ce groupe d'élève a problématisé le fonctionnement du circuit 2 tandis que le comportement de la DEL verte, lorsque l'interrupteur est en position 1, reste inexpliqué pour eux.

Tous les groupes étaient arrivés au même résultat à la fin de la préparation des exposés. Et comme le montre ci dessous la suite de l'extrait précédent. C'est le rôle de la résistance dans le fonctionnement des circuits qui pose problème aux élèves:

183 P *Attendez attendez. Donc voilà ce qu'elles ont dit. Mais si vous avez des questions. Allez-y. Elles ... Oui ? Non ?*

184 C *La résistance elle sert à quoi ?*

184 F *Bê heu on pense que ...A faire heu à stopper le courant. Enfin si y'en avait trop qui passait. Ou heu non à limiter le courant pour les diodes parce que peut-être qu'elles supportent un certain nombre de Volts.*

185 C *Oui mais heu à ce moment là dans le deuxième circuit ça ferait péter la diode aussi. Oui parce que le courant*

Les élèves se mettent à discuter entre eux

Les exposés suivants et les discussions qu'ils entraînaient, ont principalement porté sur le rôle de la résistance dans le fonctionnement du circuit et notamment sur l'extinction de la DEL

verte lorsque le condensateur est chargé. Deux groupes d'élèves ont des problématisations différentes :

- Une problématisation où c'est le condensateur qui garde l'énergie :

224 D *Nous on a comme le premier groupe sauf qu'on a constaté que quand la verte était heu allumée. Heu elle s'éteignait au bout d'un temps quand le condensateur il était.*

225 F *Quand la tension*

226 D *Quand la tension du condensateur était égale à 10,90 Volts. Et après elle s'éteignait. Donc on pense que le condensateur il quand il se charge avec une limite pour heu... et puis après l'énergie qu'il a emmagasine...*

227 E *Emmagasinée (plusieurs élèves en riant)*

228 D *Elle est libérée bê pour allumer la rouge.*

229 P *Des questions ?*

230 E *... L'énergie libérée ... ????*

231 P *Ok. Elles, elles ont amené une observation supplémentaire. Et elles ont donné une explication.*

Les élèves discutent entre eux

232 G *Pourquoi elle s'éteint la diode verte ?*

Elèves rient

233 D *Bê on pensait que. Comme le condensateur en fait il a un rôle de petite résistance. Hé bê une fois qu'il est chargé au maximum. Il peut plus emmagasiner heu....*

234 E *L'énergie (plusieurs élèves en riant)*

235 D *Et donc du coup il heu ça passe plus dans le circuit heu c'est à dire que ... L'énergie elle sera bloquée là. Et du coup elle peut plus. Ça fait ... comme si là on avait un interrupteur... Et que c'était ouvert. Enfin ça passe plus.*

236 P *C'est bon allez-y. Vous avez quelque chose de nouveau ?*

- Et une problématisation où c'est la résistance qui protège les diodes :

242 G *Alors nous on pense heu. La même chose du circuit quand il est fermé aux DEL. Nous on pense que le condensateur en fait dans le circuit 1 heu la diode pourrait être tout le temps allumé si il serait pas là.*

Les élèves rient

243 G *En fait c'est le condensateur qui nous pose problème. Dans le circuit 1 on sait pas pourquoi l'énergie bascule quand il est chargé le condensateur. Jules y va vous expliquer la résistance.*

244 H *Donc on pense en fait que la résistance elle sert que pour le premier circuit et en fait heu...*

245 G *Bê en fait la résistance elle empêche la tension d'atteindre un niveau trop élevé en fait. Une tension qui ferait griller la première diode en fait. Enfin la diode hé rouge je crois et ça ferait que heu le condensateur peut pas se recharger en fait au dessus de la tension heu que pourrait admettre la première diode donc après quand il se décharge il y a plus pas besoin de résistance car il peut pas délivrer une tension au dessus.*

246 G *de ce que peut supporter la diode.*

247 H *Ca sera pas le maximum de la diode. Mais ce sera ce que permet la*

248 G *Donc on sait que le générateur il a 12,6 donc le maximum de la valeur sera de 10,90 comme on voit sur le voltmètre. C'est pas forcément le maximum de la diode mais c'est ce que la résistance permet de faire passer dans la diode.*

249 H *On suppose qu'elle sert à pas faire griller la diode.*

250 I *Bê tu nous as dit que la résistance elle servait pas à grand chose. Enfin elle laisse pas passer le courant.*

251 G Elle laisse pas passer heu elle laisse pas passer au dessus d'une certaine tension en fait.

252 H Elle peut pas laisser passer les 12,6 V en fait.

253 G Ouais voilà elle doit bloquer un peu quand même.

Malgré les quelques interventions de l'enseignant et du chercheur, le débat entre les élèves ne leur a pas permis de se mettre d'accord : sur le rôle de la résistance dans le fonctionnement des circuits et sur les raisons de l'extinction de la DEL verte dans le circuit 1.

A la fin de la séance l'enseignant a mesuré la tension aux bornes de la résistance avec un voltmètre. La valeur obtenue a laissé perplexe certains élèves, comme le montre l'extrait ci-dessous :

412 P Donc ça veut dire qu'il y aurait une tension aux bornes de la résistance quand elle est ... Je vais chercher un voltmètre et vous allez vérifier quand ... Combien vaut la tension aux bornes de la résistance.

Les élèves discutent. On entend le mot résistance...

413 P Branches aux bornes de la résistance.

414 K Ah vous avez confiance hein !

415 P Ah quoi sert la résistance ?

Des élèves discutent du branchement. (On entend la sonnerie, les élèves rangent leurs affaires)

416 P Attendez le résultat. On mesure la tension aux bornes de la résistance. 0 on a 0 !

Les élèves rient

417 K Il est cassé.

418 P Non non il est pas cassé !

Conclusion

La relation dynamique entre les savoirs scientifiques et les problèmes dont ils sont solutions donne une place privilégiée aux problèmes dans l'enseignement-apprentissage des sciences.

Les tâches d'explication mettent en tension des faits et des théories. C'est donc dans une recherche d'explication que nous inscrivons l'apprentissage d'un nouveau savoir scientifique par problématisation.

Pour étudier les problématisations des élèves de terminale S du fonctionnement d'un circuit électrique avec un condensateur, nous avons analysé leurs discours lorsqu'ils débattent en groupe ou en classe entière. Dans ces séances, c'est l'apprentissage du modèle électrocinétique du condensateur qui est visé.

Pour problématiser les fonctionnements des deux circuits électriques, lorsque l'interrupteur est placé en position 1 ou en 2, les élèves mettent en tension des données du problème (232 G Pourquoi elle s'éteint la diode verte ?) dans un registre explicatif mécaniste, au sens large (avec des flux), pour construire des nécessités du registre des modèles (235 D Et donc du coup il heu ça passe plus dans le circuit heu c'est à dire que ... L'énergie elle sera bloquée là. Et du coup elle peut plus. Ça fait ... comme si là on avait un interrupteur... Et que c'était ouvert. Enfin ça passe plus.). Le raisonnement séquentiel qu'ils utilisent dans ces problématisations porte sur une seule grandeur, le courant électrique (dans lequel ils incluent la tension électrique), (Closset, 1983 et Joshua, 1985). Ce mode de raisonnement ne leur permet pas de distinguer les rôles du condensateur et de la résistance sur le fonctionnement des circuits. Deux problématisations du fonctionnement des circuits ont été proposées par des

élèves : Une où c'est la résistance qui limite la quantité d'électricité (le fluide) à transférer au condensateur et une où le rôle du condensateur est assimilé à celui d'une résistance soit petite soit grande. Et dans ce cas, le condensateur se comporte comme un interrupteur lorsqu'il est chargé.

Les travaux écrits par les élèves au cours de la séance 3 montrent que huit réponses sur les treize, utilisent le modèle électrique de la résistance (Loi d'Ohm $U=RI$) pour essayer de problématiser le fonctionnement du circuit 1. Alors qu'aucun élève n'y a fait référence au cours de la séance 1. Deux élèves utilisent un raisonnement systémique du circuit, un autre transvase la tension de la résistance au condensateur et trois autres constatent que le courant s'arrête lorsque le condensateur est chargé. Enfin six élèves pensent que le condensateur fait disparaître l'intensité lorsqu'il est chargé. Quatre d'entre eux le considèrent alors comme une grande résistance. Un élève mentionne seulement des résultats du TP réalisé à la séance 2.

Le travail proposé aux élèves leur a permis de problématiser le fonctionnement du condensateur en récepteur et en générateur, mais pas de construire son modèle électrocinétique.

Nous poursuivons l'analyse de ce travail des élèves pour voir comment la dynamique du débat influence leurs problématisations. Cette étude devrait nous permettre de mieux situer la problématisation dans l'apprentissage d'un savoir scientifique avec des situations-problèmes.

Bibliographie

CLOSSET Jean Louis, 1983, Le raisonnement séquentiel en électrocinétique, Thèse de doctorat, université Paris VII.

DUMAS-CARRE Andrée et GOFFARD Monique, 1997, Rénover les activités de résolution de problèmes en physique. Concepts et démarches, Paris, Masson & Armand Collin éditeurs.

FABRE Michel, 1999, Situations problèmes et savoir scolaire, Paris, Presse Universitaire de France.

JOSHUA Samuel, 1985, Contribution à délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique, Thèse de doctorat, université d'Aix-Marseille II.

MARTINAND Jean Louis, 1994, La didactique des sciences et de la technologie et la formation des enseignants, ASTER, 19, pp 61-75.

MEIRIEU Philippe, 1990, Apprendre ... Oui, mais comment, Paris, ESF.

ORANGE Christian, 2000, Idées et Raisons, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université de Nantes.

PERRET-CLERMONT Anne-Marie, 1979, La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale, Berne, Peter Lang.

ROBARDET Guy, 2001, Quelle démarche expérimentale en classe de physique ? Notion de situation-problème, BUP n° 836, pp 1173-1190.

Liaisons inter et intra moléculaires et les transformations de la matière: le point de vue des élèves

COKELEZ Aytakin, Docteur, IUFM d'Aquitaine, DAEST, Université Bordeaux 2, Pau, France
DUMON Alain, Professeur, IUFM d'Aquitaine, DAEST, Université Bordeaux 2, Pau, France

Introduction

Différencier une transformation chimique d'un changement d'état nécessite de maîtriser non seulement les différents concepts mis en jeu (substance chimique, molécule, atome, ion, élément) mais également leur mise en relation (registres macroscopique et nanoscopique) et leurs interactions (liaisons covalentes ou ioniques ; liaisons intra ou inter moléculaires). Comme le font remarquer Hesse et Anderson (1992, p. 278) la distinction entre transformation chimique et transformation physique « *est bien plus complexe que beaucoup d'enseignants et d'auteurs de manuels le pensent couramment* » et ils ajoutent que « *l'apprentissage de la transformation chimique (et nous pensons du changement d'état) requiert des modifications complexes dans l'écologie conceptuelle de beaucoup d'élèves* ». Il n'est donc pas étonnant que plusieurs études fassent ressortir la difficulté des élèves à différencier les deux types de transformations (Méhcüt, 1989 ; Sanmarti et al. 1995; Reynolds et Brosnan, 2000 ; Solsona et al; 2003). Dans le registre macroscopique, c'est la sélection des changements de propriété permettant d'effectuer un choix qui est problématique (Osborne et Cosgrove, 1983). Dans le registre des modèles, nous avons mis en évidence, en accord avec d'autres auteurs, que les élèves rencontrent des difficultés dans la maîtrise des objets de ce registre (atome molécule, ion) (Cokelez et Dumon, 2004a) et des interactions entre ces objets (liaison covalente ou ionique) (Cokelez et Dumon, 2004b). Il en résulte qu'ils ont du mal à imaginer la possibilité d'une réorganisation des atomes au cours d'une transformation chimique (Laugier et Dumon, 2000). Pour certains élèves, la réaction chimique est plutôt un processus d'addition et de collage des réactifs qu'une interaction pendant laquelle les liaisons chimiques se rompent et se reforment (Andersson, 1990 ; Ben-Zvi et al. 1987 ; Caamano Ros, 1993). Peu d'études ont été menées sur la différenciation entre liaisons inter et intra moléculaires par les élèves et la prise en compte de ces liaisons pour interpréter les transformations de la matière. Toutefois, Peterson et Treagust (1988, 1989) relèvent que un quart à un tiers des élèves (17-18ans) ne comprend pas le sens de ces termes et confond les intensités relatives des forces des liaisons inter et intra moléculaires. Ces élèves pensent que, lors d'un changement d'état, ce sont les liaisons covalentes qui sont rompues plutôt que les liaisons intermoléculaires. Cette conception est également identifiée par Barker et Millar (2000).

Question de recherche et méthodologie

L'objectif de ce travail est d'identifier, par une étude transversale de la classe de seconde à la terminale, comment les élèves prennent en considération la rupture des liaisons inter et/ou intra moléculaires pour interpréter les transformations de la matière et comment évoluent leurs systèmes explicatifs suite à l'enseignement reçu. Pour cela, un questionnaire papier crayon a été soumis en début d'année scolaire (sous le seul contrôle de leurs enseignants qui avaient reçu les consignes de passation), dans un premier temps à 930 élèves de différents

lycées de l'agglomération paloise : 239 élèves de seconde, 422 élèves de première et 269 élèves de terminale. Parmi les différentes questions de ce questionnaire, il a été demandé aux élèves de donner leur avis sur quatre propositions selon une échelle à quatre niveaux (1- « Tout à fait d'accord », 2- « Plutôt d'accord », 3- « Plutôt pas d'accord », 4- « Pas d'accord du tout »), puis de justifier leur choix. Devant le faible nombre d'élèves de terminale ayant justifié leur réponse à ces quatre questions, un deuxième échantillon de ce niveau de classe a été testé (158 élèves). Les choix de ces élèves seront regroupés avec ceux du premier échantillon, mais ce sont leurs seules justifications qui seront analysées. Nous avons ensuite mis en relation les réponses données par chaque élève aux questions à échelle de choix par l'établissement de tableaux croisés.

Analyse des réponses des élèves

Pour interpréter les choix et les justifications des élèves des différents niveaux d'enseignement il convient de se référer au savoir à enseigner :

Au collège, les changements d'état de la matière sont définis à travers le modèle particulaire : de l'état solide à l'état gazeux, on passe d'un état compact ordonné à un état dispersé et désordonné. Les molécules se conservent au cours de cette transformation. La réaction chimique est interprétée en terme de réarrangement entre les assemblages d'atomes.

En seconde le concept de liaison covalente est introduit. Au cours d'une transformation chimique, des liaisons se rompent, d'autres se forment, ce qui conduit à une réorganisation des atomes au sein des espèces chimiques lors du passage des réactifs aux produits.

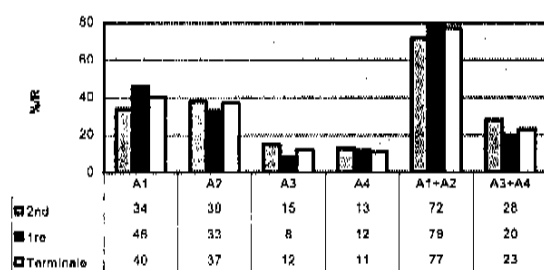
A la fin de la classe de première, les élèves doivent être capables de mettre en relation l'aspect énergétique des transformations avec la cohésion de la matière et de comparer les ordres de grandeur des énergies de cohésion de deux types d'assemblages : les associations d'atomes dans les molécules isolées (gaz) et les assemblages de molécules dans les liquides ou les solides moléculaires. Les changements d'état sont interprétés en terme de modification des interactions moléculaires.

Dans le questionnaire soumis aux élèves nous avons préféré utiliser l'expression « liaisons intermoléculaires » à la place « d'interactions moléculaires ». En effet, un questionnement préalable de quelques élèves de seconde a mis en évidence que le terme « interaction » est compris par les élèves dans le sens de réaction et non d'action réciproque.

Rupture des liaisons inter et/ou intra moléculaires au cours de la transformation chimique ?

Affirmation A) : « Pendant la transformation chimique, les liaisons intermoléculaires (entre les molécules) sont rompues ».

Figure 1 : Evolution des choix des élèves concernant la rupture des liaisons intermoléculaires lors d'une transformation chimique.



Les nombres et taux de choix pour chaque échantillon sont les suivants : seconde 198 (83%); première 390 (92%); terminale 380 (89%). La figure 1 permet de comparer l'évolution des choix des élèves au cours de leur scolarité (de A1, *tout à fait d'accord*, à A4, *pas d'accord du tout*). Dans cette figure et dans celles qui suivront, les pourcentages sont calculés par rapport au nombre total d'élèves ayant effectué un choix. Les résultats montrent que le taux des élèves qui sont d'accord avec la rupture des liaisons intermoléculaires lors d'une transformation chimique (A1+A2) est toujours élevé

pour les trois classes (72%, 79%, 77%). Comme ce n'est qu'en fin de première que le bilan énergétique conduisant à la détermination de la chaleur de réaction prend explicitement en considération, et dans deux ouvrages seulement sur les sept analysés, les deux types de « liaisons », seules les justifications des élèves nous permettront d'aller plus loin dans l'interprétation de ces résultats.

Justifications des élèves :

Le nombre et le taux de justifications calculés par rapport au nombre total de choix sont les suivants : seconde (83, 42%) ; première (105, 27%) ; terminale 1 (15, 7%), terminale 2 (82, 52%). Peu d'élèves sont donc en mesure de justifier leur choix. Pour expliquer ce faible taux on peut, soit faire l'hypothèse que les élèves se sentent peu armés pour le faire, soit considérer un effet de lassitude consécutif au positionnement de la question dans un questionnaire plus général (12^{ème} sur 14 questions). On doit cependant faire remarquer que les questions 13 et 14 ont eu des taux de réponses plus élevés : respectivement (45, 66, 52%) et (64, 55, 36%). Les résultats de l'analyse des justifications sont reportés dans le tableau 1.

Tableau 1

Justification		Seconde			Première			Terminale 2		
		N1	N2	T%	N1	N2	T%	N1	N2	T%
Sans idée de rupture	Il n'y pas de liaison entre les molécules	3	2	6	3	16	18		5	6
	Rupture réservée aux changements d'état		1	1					4	5
	Les liaisons restent les mêmes	1	9	11		1	1			
Avec idée de rupture partielle		3	2	6	1		1	6	4	12
Avec idée de rupture	En terme de réaction entre molécules	9	1	11	30	4	33	32	4	44
	En terme de séparation	17	2	21	17		16			
Confusion	Liaisons inter/intra	22	10	36	27	3	29	22	3	32
	Transfo chimique et changement d'état	3	1	4						
Divers		3	1	4	1	1	1		2	2

N1: Le nombre de conceptions trouvées dans les justifications faites pour les choix A1 et A2.

N2: Le nombre de conceptions trouvées dans les justifications faites pour les choix A3 et A4.

T: Le taux global de chaque conception. Les pourcentages sont calculés par rapport au nombre total de justifications.

Les différentes justifications données par les élèves permettent de mettre en évidence différentes populations :

Ceux qui ne sont pas d'accord car : "Il n'y a pas de liaisons entre les molécules mais entre les atomes" ou parce que "la rupture de ces liaisons est réservée aux changements d'états". On notera que la première justification atteint 18% auprès des élèves entrant en première. Cela semble correspondre à un effet de l'enseignement reçu en seconde : une liaison ne peut être que covalente.

Ceux qui hésitent, mais qui pensent que c'est peut être possible s'il y a un changement de phase lors de la transformation (12% en terminale) ;

Ceux qui conçoivent que "Les molécules doivent se séparer pour pouvoir réagir et donner de nouvelles molécules". Plus on progresse dans les apprentissages plus cette prise en considération de la globalité de la transformation chimique augmente (11, 33, 44%);

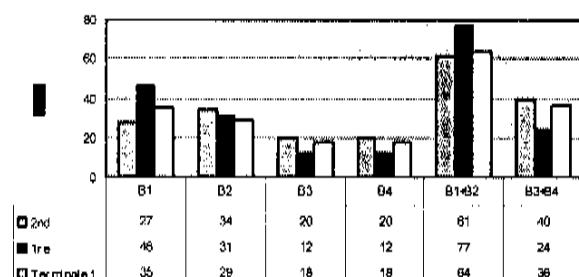
Ceux qui disent simplement que "Les molécules se détachent/se séparent/se dispersent". Formulation qui peut éventuellement s'interpréter par une confusion entre transformation chimique et changement d'état ;

Ceux qui font la confusion entre liaisons inter et intra moléculaires (environ 1/3 des élèves de chaque niveau). Cette confusion apparaît principalement sous la forme : "Les liaisons se rompent pour donner de nouvelles liaisons/de nouvelles molécules" ou "Les atomes se réorganisent/s'échangent".

Affirmation B) : « Pendant la transformation chimique les liaisons intramoléculaires sont rompues »

Les nombres et taux de choix pour chaque échantillon sont les suivants : seconde (189, 79%) ; première (378, 90%) ; terminale (375, 88%). La figure 2 permet de comparer l'évolution des choix des élèves au cours de leur scolarité (de B1, *tout à fait d'accord*, à B4, *pas d'accord du tout*).

Figure 2 : Evolution des choix des élèves concernant la rupture des liaisons intramoléculaires lors de la transformation chimique.



On constate que le pourcentage d'élèves ayant répondu d'accord avec cette proposition est relativement élevé et passe par un maximum en début de première. Cependant on observe une certaine tiédeur des élèves dans l'affirmation de cet accord : les pourcentages de choix B1 et B2 sont peu différents. Enfin, on ne peut que s'étonner que le quart des élèves de première et un peu plus du tiers de ceux de terminale n'envisagent pas la rupture des liaisons intramoléculaires au cours de la

transformation chimique. Il semble que l'enseignement de fin de première n'a eu que peu d'effet sur ces élèves.

Justifications des élèves :

Les nombres et taux de justifications sont de nouveau très faibles : seconde (62, 33%) ; première (102, 27%) ; terminale (72, 48%). Les résultats de l'analyse des justifications sont reportés dans le tableau 2.

Tableau 2

Justification		Seconde			Première			Terminale 2		
		N1	N2	T%	N1	N2	T%	N1	N2	T%
Sans idée de rupture	Les molécules restent les mêmes/les atomes restent liés/restent les mêmes	1	5	8	9	3	12		13	18
	La transfo. chimique n'a pas d'enjeu sur ces liaisons		1	1	1		1		3	4
Avec idée de rupture	En termes de réarrangement des atomes	24	2	36	34	2	35	21		29
	En terme de changement de nature des molécules	13	1	19	47		46	16		22
	En terme de transformation chimique	2		3	1		1	13		18
Confusion	Liaisons inter/intra	1	1	3	2		2	1	2	4
	Transfo chimique et changement d'état	1	3	6						
	Atome/molécule	5	7	17					1	1
Divers		3	2	7	1	2	3		2	3

Comme le montre le tableau, la majorité des élèves qui donnent une justification le fait en envisageant la rupture des liaisons (58, 82, 69%), soit en terme de réarrangement des atomes : *"Les atomes se détachent/ se déplacent/ changent de place/ se réorganisent"*, *"Les atomes vont former de nouvelles molécules (les liaisons doivent se rompre)"*, soit en terme de modification de la nature des molécules : *"les molécules changent pour former une nouvelle molécule"*, soit simplement sous la forme d'une transformation (réactifs → produits différents).

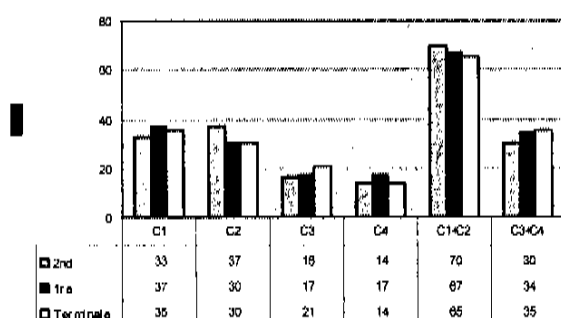
Il apparaît cependant que pour certains élèves, il n'y a pas de rupture de ces liaisons lors de la transformation (9, 13 et 22%) : *"les liaisons intramoléculaires ne sont pas rompues/ les atomes restent ensemble/ liés"*, *"les molécules restent les mêmes"*. Il est paradoxal de

constater que ce pourcentage augmente avec le niveau d'avancement des études. On constate que seuls des élèves de seconde confondent, en nombre non négligeable, atome et molécule. Le concept de liaison intramoléculaire et la prise en compte de sa rupture au cours de la réaction chimique semble maîtrisé par une majorité d'élèves, même si environ le tiers des élèves de terminale n'envisage pas la rupture de telles liaisons.

Rupture des liaisons inter ou intra moléculaires au cours d'un changement d'état ?

Affirmation C) : "Lors de la fusion, ou de la vaporisation, les liaisons intermoléculaires (entre les molécules) sont rompues".

Figure 3: Evolution des choix des élèves concernant la rupture des liaisons intermoléculaires lors d'un changement d'état.



Les nombres et taux de choix pour chaque échantillon sont les suivants : seconde (178, 74%) ; première (346, 82%) ; terminale (349, 82%). La figure 3 permet de comparer l'évolution des choix des élèves au cours de leur scolarité (de C1, *tout à fait d'accord*, à C4, *pas d'accord du tout*).

Ici encore, l'accord est hésitant (% de C1 voisin de % de C2). On constate que, malgré l'enseignement reçu en fin de première, plus du tiers des élèves entrant en terminale est en désaccord avec l'affirmation C.

Justifications des élèves :

Les nombres et taux de justifications sont toujours faibles : seconde (66, 37%) ; première (57, 16%) ; terminale (61, 40%). Les résultats de l'analyse des justifications sont reportés dans le tableau 3.

Tableau 3

Justification		Seconde			Première			Terminale 2		
		N1	N2	T%	N1	N2	T%	N1	N2	T%
Sans idée de rupture	Les molécules restent groupées/ associées/ liées / fusionnent		1	2	1	1	4		3	5
	Le C. E. / la fusion ne rompt pas ces liaisons		1	2	1	10	19		4	8
Avec idée de rupture	Un C. E implique la rupture de ces liaisons	5	1	9	17		30	17		27
	En termes de séparation/ d'agencement /de mobilité des molécules	24	4	42	14	6	35	14		23
Confusion	Liaisons inter/intra	2	8	15	1		2	3	7	16
	Transfo chimique et changement d'état	6		9	2	2	7	5	1	10
	Corps purs/ mélange	2		3						
Divers	Macro	5	3	12				2	2	8
	Autres	1	3	6	2		4	1	2	5

Les justifications données font apparaître différentes catégories d'élèves :

- Ceux qui ne sont pas d'accord car "Les molécules restent groupées/associées/liées" ou "Parce qu'un changement d'état (la fusion) n'est pas suffisant(e) pour rompre ces liaisons". Cette justification est très pertinente pour ce qui concerne la fusion. En effet, lors de ce changement d'état, on n'observe qu'une diminution de l'énergie d'interaction entre les molécules et non la rupture de « liaisons intermoléculaires ». Ils sont peu nombreux à formuler cette proposition ;

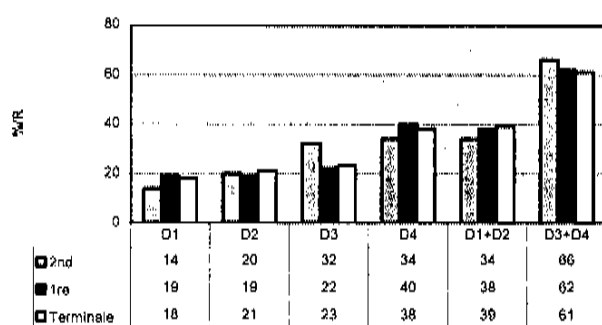
- Ceux qui justifient leur accord, soit en disant *"Un changement d'état nécessite la rupture des liaisons intermoléculaires"* ou *"Les molécules se détachent/ se séparent/ se dispersent/ sont moins liées/ modifient leur agencement"*, soit en terme de mobilité. C'est le cas pour la moitié des élèves de seconde et de terminale ayant donné une justification et de 65% de ceux de première.

On retrouve la confusion entre liaisons inter et intra moléculaires déjà relevée par d'autres auteurs (Peterson et al, 1986 ; Peterson et Treagust, 1989 ; Barker et Millar, 2000) dans des explications du type : *"Les liaisons intramoléculaires ne sont pas rompues"* pour ceux qui ne sont pas d'accord ou *"Les molécules sont modifiées"* pour les autres. La confusion entre transformation chimique et changement d'état, déjà constatée par ailleurs, est rencontrée chez certains élèves: *"les molécules réagissent avec d'autres molécules/ il y a aussi une transformation chimique"*. On notera que des justifications sont données au niveau macroscopique par les élèves de seconde sous la forme: *"L'eau est divisée en plusieurs gouttelettes"*, *"Car la vapeur n'est pas une matière"*. On en trouve également en terminale avec une formulation différente : *« Les molécules changent d'état »*.

Affirmation D) : "Lors de la fusion, ou de la vaporisation, les liaisons intramoléculaires (entre les atomes dans la molécule) sont rompues".

Les nombre et taux de choix pour chaque échantillon sont les suivants : seconde (174, 73%) ; première (341, 81%) ; terminale (342, 80%). La figure 4 permet de comparer l'évolution des choix des élèves au cours de leur scolarité (de D1, *tout à fait d'accord*, à D4, *pas d'accord du tout*).

Figure 4: Evolution des choix des élèves concernant la rupture des liaisons intramoléculaires lors d'un changement d'état



Si une majorité d'élèves de tous les niveaux est en désaccord avec cette proposition (66, 62, 61%), on constate une nouvelle fois que, malgré l'enseignement reçu en fin de première, environ 40% des élèves entrant en terminale pensent qu'il y a rupture des liaisons intramoléculaires lors d'un changement d'état. Les tableaux croisés entre les réponses aux affirmations C et D montrent que cette rupture accompagne souvent, pour toutes les classes, celle des liaisons intermoléculaires (21, 26, 22%)

Justifications des élèves :

Les nombres et taux de justifications sont les suivants: seconde (58, 33%) ; première (56, 16%) ; terminale (54, 35%). Les résultats de l'analyse des justifications sont reportés dans le tableau 4. La majorité des élèves donne une justification de la non rupture des liaisons intramoléculaires en adoptant les formulations suivantes : *"C'est un changement d'état, pas une réaction chimique/ ce sont les molécules qui se séparent"*, *"Les atomes n'interviennent pas dans le processus"*. En ce qui concerne les confusions, des élèves, soit ont des difficultés à différencier les liaisons intermoléculaires et intramoléculaires (*"un changement d'état entraîne la rupture des liaisons intramoléculaires"*), soit assimilent le changement d'état à une transformation chimique (*"Les atomes se séparent/les liaisons sont rompues/ pour former de nouvelles molécules/ C'est aussi une transformation chimique"*). Enfin, seuls certains élèves de seconde confondent atome et molécule.

Tableau 4

Interprétation		Seconde			Première			Terminale 2		
		N1	N2	T%	N1	N2	T%	N1	N2	T%
Sans idée de rupture	Les molécules restent les mêmes/ gardent leurs atomes/ se séparent	1	34	60	2	38	71		33	61
Avec idée de rupture	Sous l'action de la chaleur/ Agitation thermique							3		6
Confusion	Liaisons inter/intra	5	2	12	6	2	4	8		15
	Transfo chimique et changement d'état	4	1	9		1	2	4		7
	Atome/molécule	5	5	17						
Divers			1	2		7	13		6	11

Conclusion

L'interprétation de la transformation chimique par les élèves

Si l'on regarde les choix effectués par les élèves, on serait tenté de dire qu'ils sont capables, dans leur grande majorité, d'interpréter la globalité du phénomène lié à une transformation chimique : une rupture des liaisons intermoléculaires accompagnée de la rupture des liaisons intramoléculaires (pas nécessairement de toutes précisent à juste raison quelques élèves de terminale). Cependant, l'analyse des justifications nous oblige à tempérer cet optimisme. Ils sont peu nombreux à pouvoir justifier explicitement la rupture des liaisons intermoléculaires (le taux de justification augmentant de la seconde à la terminale) et à interpréter la rupture des liaisons intramoléculaire en terme de réarrangement des atomes, formulation attendue dès la sortie du collège. Par exemple, 40% des justifications données par les élèves de terminale le sont en terme de formation de nouvelles molécules ou sous la forme "les réactifs donnent des produits différents" (formulation de la classe de quatrième). De plus, les tableaux croisés entre les réponses aux propositions A et B montrent qu'ils ne sont respectivement que 38, 56, 44% à envisager (« tout à fait d'accord » et « plutôt d'accord ») simultanément la rupture des deux types de liaison. On constate une nouvelle fois que le maximum apparaît après les enseignements reçus en seconde.

L'interprétation des changements d'état;

On observe que 39% des élèves de terminale sont enclins à interpréter un changement d'état en terme de rupture des liaisons intramoléculaires. Des tableaux croisés entre les réponses aux affirmations C et D il ressort que le pourcentage d'élèves qui envisagent favorablement (« tout à fait d'accord » et « plutôt d'accord ») la rupture des liaisons intermoléculaires associée à la non rupture des liaisons intramoléculaires lors d'un changement d'état diminue de la seconde à la terminale (46, 41, 40%). Ces taux de choix et le fait que peu d'élèves soient en mesure de donner des justifications nous conduit à faire l'hypothèse que beaucoup d'élèves n'ont que peu d'idée de ce que représente une liaison intermoléculaire et qu'ils confondent facilement les liaisons inter et intra moléculaires. On peut conclure en disant que les élèves associent dans leur grande majorité la rupture des liaisons intramoléculaires à la transformation chimique (avec un maximum après l'enseignement de la liaison covalente en seconde) et la rupture des liaisons intermoléculaires aux changements d'états (avec une diminution de la seconde à la terminale). Cependant, les justifications de ces ruptures, soit en terme de réarrangement des atomes au sein des molécules, soit en terme de modification de l'agencement des molécules lorsqu'on passe d'une phase à l'autre, sont très faibles. De plus, bien que l'enseignement de fin de première fasse explicitement référence à ces modifications, il semble qu'il n'ait que peu d'effet sur les réponses données par les élèves.

Bibliographie

- ANDERSSON Björn, 1990, "Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16)". *Studies in Science Education*, vol. 18, pp. 53-85.
- BARKER Vanessa et MILLAR Robin, 2000, "Students' Reasoning about basic chemical thermodynamics and chemical bonding: What Changes Occur During a Context-based Post-16 chemistry course?", *International Journal of Science Education*, vol. 22, n° 11, pp. 1171-1200.
- BEN-ZVI Ruth, EYLON Bat-Sheva et SILBERSTEIN Judith, 1987, "Students' visualization of a chemical reaction", *Education in Chemistry*, vol. 24, pp. 117-120.
- CAAMANO ROS, A., 1993, "Conceptions of students about the composition and structure of matter and about understanding of chemical change and the forms of symbolic representation" (Title translated from Catalan), Doctoral Thesis, Universidad de Barcelona.
- COKELEZ Aytakin et DUMON Alain, 2004a, "Le savoir appris dans le registre des modèles (atome, molécule): Une étude longitudinale du collège au lycée", in actes de la Troisième European Conference in Chemical Education, (Ljubljana, 24-28 Août 2004).
- COKELEZ Aytakin et DUMON Alain, 2004b, "La liaison chimique : Du savoir de référence au savoir appris au lycée", in actes de la dix-huitième International Conference in Chemical Education, (Istanbul, 3-8 Août 2004).
- HESSE Joseph et ANDERSON Charles, 1992, « Students' conceptions of chemical change », *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29, n° 3, pp. 277-299.
- LAUGIER André et DUMON Alain, 2000, « Histoire des Sciences et modélisation de la transformation chimique », *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°826, pp. 1261-1284.
- MEHEUT Martine, 1989, « Des représentations des élèves au concept de réaction chimique ; premières étapes », *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 15-26.
- OSBORNE Roger et COSGROVE Mark, 1983, "Children's conceptions of the change of state in water", *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 20, n° 9, pp. 825-838.
- PETERSON Raymond et TREAGUST David, 1988, "Students understanding of covalent bonding and structure concepts", *The Australian Science Teacher Journal*, vol. 33, n° 4, pp. 77-81.
- PETERSON Raymond et TREAGUST David, 1989, "Grade-12 students' misconceptions of covalent bonding and structure", *Journal of Chemical Education*, vol.66, n° 6, pp. 459-460.
- PETERSON Raymond, TREAGUST David et GARNETT Patrick, 1986, "Identification of secondary students' misconception of covalent bonding and structure concepts using a diagnostic instrument", *Research in Science Education*, n° 16, pp. 40-48.
- REYNODS Yvonne et BROSNAN Tim, 2000, "Understanding physical and chemical change: the role of speculation", *School Science Review*, vol. 81, pp. 61-66.
- SANMARTI Neus, IZQUIERDO Mercè et WATSON Rod, 1995, "The substantialisation of properties in pupils' thinking and in the history of science", *Science Education*, n° 4, pp. 349-369.
- SOLSONA Núria, IZQUIERDO Mercè et De JONG Onno, 2003, "Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change", *International Journal of Science Education*, vol. 21, n° 6, pp. 645-665.

Développement d'une banque d'exercices et de leur analyse pour l'enseignement des sciences au lycée

COULAUD Marie, doctorante, UMR ICAR (CNRS, ENS LSH Lyon, ENS Lyon, INRP, université Lyon 2), équipe ADIS-Ist, groupe COAST, Lyon, France

Introduction

Dans le cadre du projet SESAMES¹ de développement d'outils pour les enseignants des sciences au lycée, nous avons élaboré en collaboration avec des chercheurs et des enseignants de lycée des outils d'évaluation. L'évaluation de l'acquisition par les élèves des concepts enseignés est inévitable dans la pratique des enseignants et il était important de mettre à leur disposition des tests adaptés aux séquences d'enseignement développées lors d'un précédent projet (Outils).

Notre travail se cible plus sur la compréhension que les élèves ont des concepts enseignés. L'évaluation de cette compréhension est loin d'être une évidence et il ne s'agit pas simplement de créer des exercices correspondant au contenu enseigné. Nous avons donc mené une réflexion plus générale sur les pratiques d'évaluation dans le cas de l'enseignement de la mécanique en classe de seconde. Les travaux de recherche ayant alimenté la construction et l'analyse de ces outils d'évaluation sont présentés ici. Les résultats sont ciblés sur le test permettant d'évaluer le concept de mouvement.

Cadre théorique

Nous présentons ici les éléments théoriques qui nous permettent de mieux appréhender les processus d'évaluation. Nous analysons ensuite certaines recherches sur l'apprentissage de la physique pour élaborer et analyser nos tests. Nous présentons enfin les limites des tests écrits en lien avec les caractéristiques de la situation de devoir surveillé.

L'évaluation de la compréhension

Définition de l'évaluation dans notre étude

Notre travail de recherche ayant pour but le développement d'outils pour les enseignants, il est nécessaire de prendre en compte la pratique des enseignants.

Nous considérons que l'évaluation a différentes fonctions dans la pratique des enseignants (Black, 1998 ; Chastrette, 1989). Pour remplir ces fonctions, l'enseignant peut utiliser

¹ SESAMES (Situations d'Enseignement Scientifique : Activités de Modélisation, d'Évaluation, de Simulation) est un projet soutenu par l'INRP

plusieurs méthodes d'évaluations (observation des élèves pour évaluer les capacités expérimentales, évaluation individuelle à l'oral, ...). Cependant, les tests écrits constituent un « passage obligé » face aux différentes institutions (conseil de classe, parents, etc.), permettent une préparation à l'examen du baccalauréat et représentent la méthode d'évaluation la plus couramment utilisée par les enseignants. Nous nous intéressons ici à cette forme d'évaluation. Nous nous plaçons donc dans le cas d'une évaluation instituée (Barbier, 1985) où les productions écrites des élèves en devoirs surveillés sont considérées comme les manifestations des connaissances acquises et permettent à l'enseignant d'évaluer l'état de ces connaissances.

Evaluation des connaissances des élèves : pratiques des enseignants et pratiques des chercheurs

Les tests utilisés par les enseignants ont une fonction de certification (Black, 1998) : l'enseignant fait un bilan de l'acquisition par l'élève des concepts enseignés et cette évaluation donne lieu à une note et éventuellement une appréciation. Elle peut être qualifiée de sommative puisqu'elle permet d'avoir une vue d'ensemble du travail de l'élève. On considère qu'une évaluation est formative si l'enseignant l'utilise en vue d'aider les élèves à apprendre (Perrenoud, 1988). Ces tests peuvent donc aussi être formatifs selon le travail fait par l'enseignant après le devoir (rendu aux élèves, correction, retour sur des points mal compris). Afin de préparer les élèves à l'épreuve du baccalauréat, le test écrit d'évaluation est le plus souvent un ensemble de problèmes, portant sur un programme défini, auxquels chaque élève doit répondre en temps limité. Pour résoudre chacune des questions de ces problèmes, l'élève doit mettre en jeu plusieurs compétences (maîtrise de différents concepts enseignés et de leur relations, connaissances mathématiques, expression française, raisonnement logique ...). Lors de la correction, l'enseignant évalue l'ensemble de ces compétences.

La pratique des chercheurs lors de l'évaluation de l'apprentissage des élèves est assez différente de celle des enseignants. Les chercheurs veulent souvent accéder à la compréhension que les élèves ont d'un concept ou même d'un aspect de ce concept et utilisent pour ceci des questions ciblées. On note une autre différence : l'utilisation de questions fermées, qui permettent de situer l'élève dans des catégories établies a priori. Les tests utilisés dans la recherche sont construits à partir d'hypothèses d'apprentissage et des travaux sur les conceptions d'élèves. Un exemple de test de mécanique développé par des chercheurs (Hestenes, Wells et Swackhamer, 1992) est le FCI (Force Concept Inventory). Les questions de ce test sont à choix multiple, leur objectif est d'évaluer la compréhension par les étudiants des concepts de base de la mécanique Newtonienne. Ce test peut être utilisé par les enseignants dans les pays anglo-saxons mais la forme (questions à choix multiples) est peu adaptée à la pratique des enseignants français.

La construction des tests et leur analyse

La construction des tests est alimentée par les travaux de recherche, aussi bien les tests et exercices développés par des chercheurs que les travaux plus généraux sur la construction des concepts scientifiques par l'apprenant.

Des exercices et problèmes de mécanique issus de recherches en didactique de la physique (Dumas-Carré et Goffard (1997), Halloun et Hestenes (1985)) sont une base pour le développement de tests. Les différents travaux sur les hypothèses d'apprentissage viennent compléter ces travaux. Nous prenons en compte le rôle des connaissances initiales dans l'apprentissage en utilisant les travaux sur les conceptions des élèves en mécanique (McCloskey, 1983 ; McDermott, 1998 ; Viennot, 1996). Nous choisissons aussi de reprendre

nous développons ces tests, principalement les travaux sur la modélisation (Tiberghien, 2000) et sur les registres sémiotiques (Duval, 1995). Afin de tester le degré de compréhension des concepts, nous évaluons plus spécifiquement la cohérence des réponses des élèves selon les contextes. En effet, de nombreuses études ont montré que les apprenants répondent différemment à différents types de questions mettant en jeu les mêmes concepts (Reif, 1987; Palmer, 1997; Millar et Hames, 2001 ; Savinainen, 2004). Cet aspect est primordial dans l'élaboration de nos tests.

La spécificité des tests écrits : la situation de devoir surveillé

Même si nous cherchons des formes d'exercices qui évaluent de façon plus ciblée la compréhension conceptuelle, il faut tenir compte du fait que la situation de devoir surveillé est une situation de réinvestissement de connaissances ayant de fortes contraintes (Coppé, 1993).

Les performances des élèves sont très différentes suivant qu'elles sont testées à l'oral ou à l'écrit. L'écrit est une forme complexe de l'activité verbale (Vygotsky, 1997) et demander à quelqu'un d'écrire est beaucoup plus contraignant que demander à quelqu'un de dire (Duval, 2001). De plus, l'évaluation des connaissances fait partie des pratiques très souvent implicites de la classe et est par conséquent inscrite dans le contrat didactique qui lie l'enseignant aux élèves (Brousseau, 1992). Les élèves doivent connaître ce que l'enseignant attend d'eux puisque ce qui est évalué est ce qui est considéré comme important (Johsua et Dupin, 1993). Plusieurs travaux (Félix, 2002) ont montré qu'une des différences entre les « bons » et les « mauvais » élèves provenait de la maîtrise de ses règles souvent implicites.

Un autre critère de réussite aux tests est certainement la représentation qu'un élève se fait du problème. Les travaux sur les différences entre novices et experts (Chi et al, 1981) montrent que la représentation qu'un individu se fait d'un problème conditionne très fortement sa réponse. Le travail de Julo (1995) souligne notamment l'importance des problèmes précédemment rencontrés dans la catégorisation et la représentation des problèmes à résoudre.

Objectif de production et questions de recherche

La littérature permet de mieux comprendre la complexité des faits d'évaluation et la variété des fonctions de l'évaluation de l'enseignant. Notre objectif est d'élaborer des outils d'évaluation ciblés sur la compréhension des concepts enseignés en utilisant les travaux de recherche qui nous éclairent aussi bien sur l'évaluation et la pratique des enseignants que sur les enjeux de la compréhension des concepts. Une partie de notre travail consiste donc à produire des outils et à les valider par rapport à leur fonction initiale. Nous chercherons donc à répondre aux questions suivantes :

Quel type de test, utilisable par des enseignants de lycée, peut être une aide à l'évaluation de la compréhension des concepts de base de la mécanique de 2nde ? En quoi un découpage du savoir enseigné peut permettre la fabrication de tels tests ?

En quoi les réponses des élèves aux tests ainsi élaborés permettent d'accéder à leur compréhension des concepts enseignés ?

Méthodologie

Développement des tests

Nous analysons les concepts de mécanique enseignés pour identifier et relier les éléments de base. Le programme de 2^{nde} et les choix faits dans la séquence d'enseignement proposée nous permettent de voir quels aspects des concepts de mouvement et de force sont mis en avant dans l'enseignement. Un exemple détaillé de la construction d'un test est présenté plus loin.

Recueil de données

Ce travail est effectué dans le cadre de l'enseignement de mécanique en classe de 2^{nde}. Comme nous l'avons indiqué, il s'agit de développer des outils pour accompagner une séquence existante. Cette séquence est consultable en ligne sur le site de l'Académie de Lyon².

Nous avons plus particulièrement étudié trois classes de 2^{nde} générale (2 enseignants) dans lesquelles des tests ont été donnés en cours de séquence. Nous avons développé un test pour chacune des trois premières parties de mécanique ("Description d'un mouvement", "Interactions et forces" et "Lois de la mécanique") ainsi qu'un test « bilan » de fin de séquence. Ce test final a été donné à un plus grand nombre de classes (13) (voir Tableau 1). Pour chacun de ces tests, quelques élèves ont été interviewés après la passation du test afin de s'assurer que leurs réponses reflétaient leur compréhension. Le tableau suivant présente une synthèse des données recueillies avec ces 4 tests.

	Classes où le test a été passé	Nombre d'élèves ayant réalisé le test	Nombre d'élèves interviewés après le test	
Test sur le mouvement	3 classes : A1, A2, B	94	8 (4 A1 + 4 A2)	
Test sur Interaction et Forces	3 classes : A1, A2, B	91	6 (3 A1 + 3 A2)	
Test sur les lois de la mécanique	3 classes : A1, A2, B	90	8 (3 A1 + 5 A2)	
Test final (sur les 3 parties)	13 classes : 3 + 10 (A1, A2, B, C, ..., L)	394 (93 + 301)		4 (C)

Tableau 1. Synthèse des données recueillies.

L'analyse des tests écrits

Les réponses écrites des élèves ont été analysées en termes de savoir en reprenant l'analyse faite pour l'élaboration des tests. L'analyse et le découpage du savoir en jeu dans ces tests nous a permis de construire des catégories des réponses aux questions ouvertes. Une analyse empirique de questions nous a permis de compléter ces catégories. Les réponses aux questions fermées et celles aux questions ouvertes ainsi catégorisées ont fait l'objet de tris à plat (utilisation du logiciel d'analyse statistique SPSS). Des croisements ont ensuite été effectués pour évaluer les cohérences des réponses des élèves sur des questions testant le même aspect de concept.

² adresse Internet du site : <http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/sesames>

Résultats / Discussion

Une importante partie de notre travail a été consacrée à l'élaboration des tests. Les résultats présentés ici correspondent à la construction d'un test portant sur la description d'un mouvement et à l'analyse des performances écrites des élèves de trois classes à ce test.

Un exemple de construction de test

La première partie de la séquence présente la description d'un mouvement à l'aide d'un modèle. Ce modèle se compose des points suivants : *représentation d'un objet par un point, trajectoire du point représentant un objet, vitesse du point représentant un objet, caractérisation du mouvement de ce point, référentiel*. Tous les exemples pris ici correspondent à l'évaluation des concepts enseignés dans cette partie.

Une analyse des savoirs en jeu dans l'enseignement a été faite en décomposant et organisant le savoir afin de tester chaque point de manière ciblée. Le mouvement, tel qu'il est enseigné dans la mécanique de seconde, met en relation trajectoire et vitesse. La trajectoire peut être orientée et la distinction entre sens et direction est importante en physique. De même, la vitesse est définie en mettant en relation des grandeurs de distance et de temps et on distingue la vitesse instantanée et la vitesse moyenne. Dans la caractérisation du mouvement (rectiligne uniforme, circulaire non uniforme, etc.) seules sont comprises les informations concernant le changement de direction et la variation de la vitesse instantanée (utiles pour le principe d'inertie). Le programme montre que la relativité du mouvement nécessite l'introduction de la notion de référentiel. De plus, le processus de modélisation du mouvement implique le choix d'un point matériel permettant la description du mouvement « principal ». Les différents aspects du concept de mouvement peuvent ainsi être organisés :

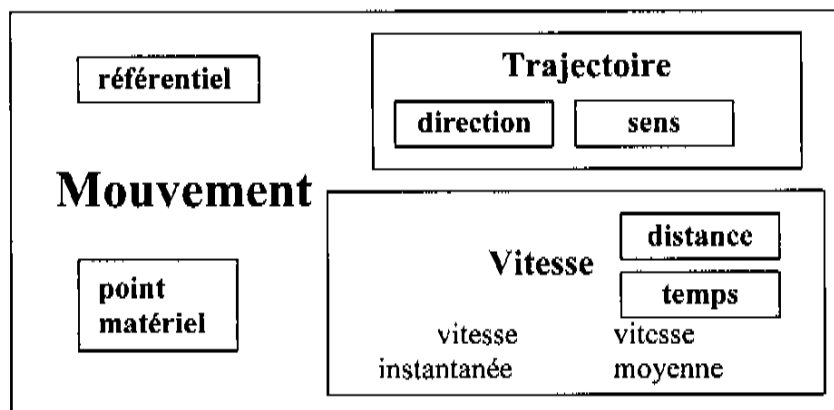


Figure 1. Analyse du concept de mouvement.

Nous avons choisi d'évaluer pour cette partie chacun des différents aspects ainsi mis en évidence. En nous inspirant d'exercices existants, en les enrichissant à partir des outils théoriques à notre disposition (conceptions, modélisation, registre sémiotique et cohérence) et en tenant compte des contraintes du programme, nous avons développé le test 1 (3 exercices) sur le concept de mouvement. Un des exercices ainsi développé est présenté plus loin (voir Figure 2).

Cet exercice correspondant à la compétence exigible formulée dans le programme officielle : « Décrire le mouvement d'un point dans deux référentiels différents ». L'énoncé introduit une situation familière (un manège) présentée en langue naturelle et une photo de cette situation. Les questions sont aussi posées en langue naturelle mais dans les termes de la physique. Nous avons demandé en premier aux élèves de choisir un point de l'enfant permettant d'étudier son

mouvement et de se positionner ainsi dans une situation de modélisation. Afin de vérifier que les élèves faisaient bien le lien entre les différents éléments du modèle (trajectoire, vitesse et mouvement), nous avons ensuite demandé la description de ces trois éléments dans différentes situations et dans différents référentiels. Pour que la réponse à cet exercice ne prenne pas trop de temps aux élèves, nous avons rédigé un exercice avec des questions à choix multiple.

Un enfant se rend à une fête foraine avec sa mère et veut faire un tour de manège. Sa mère l'installe dans une voiture du manège et va s'asseoir sur un banc à côté du manège. Le manège se met en route puis atteint au bout d'un tour une vitesse constante et la mère voit alors son enfant passer devant elle à des intervalles de temps réguliers. On s'intéresse au mouvement de l'enfant.



Citez un point de l'enfant qui permet d'étudier son mouvement global :

Remplir le tableau ci-dessous colonne par colonne.

Situation étudiée	Le premier tour où le manège se met en route.	Le premier tour où le manège se met en route.	Après un tour de manège.	Après un tour de manège.	Après un tour de manège.
Référentiel	Voiture du manège.	Le centre du manège.	Le centre du manège.	Un autre enfant sur le manège.	Sa maman.
La trajectoire du point représentant l'enfant est	☐ un point ☐ une ligne droite ☐ un cercle ☐ autre :	☐ un point ☐ une ligne droite ☐ un cercle ☐ autre :	☐ un point ☐ une ligne droite ☐ un cercle ☐ autre :	☐ un point ☐ une ligne droite ☐ un cercle ☐ autre :	☐ un point ☐ une ligne droite ☐ un cercle ☐ autre :
La vitesse du point représentant l'enfant ...	☐ est nulle ☐ est constante non nulle ☐ augmente ☐ diminue	☐ est nulle ☐ est constante non nulle ☐ augmente ☐ diminue	☐ est nulle ☐ est constante non nulle ☐ augmente ☐ diminue	☐ est nulle ☐ est constante non nulle ☐ augmente ☐ diminue	☐ est nulle ☐ est constante non nulle ☐ augmente ☐ diminue
Le mouvement du point représentant l'enfant est ...	☐ rectiligne uniforme ☐ rectiligne non uniforme ☐ circulaire uniforme ☐ circulaire non uniforme ☐ immobile ☐ autre :	☐ rectiligne uniforme ☐ rectiligne non uniforme ☐ circulaire uniforme ☐ circulaire non uniforme ☐ immobile ☐ autre :	☐ rectiligne uniforme ☐ rectiligne non uniforme ☐ circulaire uniforme ☐ circulaire non uniforme ☐ immobile ☐ autre :	☐ rectiligne uniforme ☐ rectiligne non uniforme ☐ circulaire uniforme ☐ circulaire non uniforme ☐ immobile ☐ autre :	☐ rectiligne uniforme ☐ rectiligne non uniforme ☐ circulaire uniforme ☐ circulaire non uniforme ☐ immobile ☐ autre :

Figure 2. Exercice développé pour le test 1 (« description d'un mouvement avec un modèle »).

L'analyse du test sur le mouvement

L'analyse des réponses consiste tout d'abord à faire des tris à plat. On a ainsi une idée de la difficulté de compréhension par les élèves des différents aspects du concept de mouvement et donc du degré de complexité des questions. Par exemple, pour cet exercice où 94 élèves ont répondu, le taux de réussite va de 46% pour la description de la trajectoire dans la colonne 3 à 91% pour la description de la variation de vitesse dans la colonne 4.

L'analyse par ligne permet de voir dans quelle mesure les élèves pensent que la trajectoire, la vitesse et le mouvement dépendent du référentiel. Ainsi en comparant les réponses sur chaque ligne pour les deux premières colonnes et les trois dernières colonnes, les réponses montrent que la vitesse est pour les élèves interrogés l'élément le moins dépendant du référentiel (environ 20% des élèves ont indiqué la même variation de vitesse pour les 2 premières colonnes et pour les 3 dernières colonnes).

L'analyse par colonne permet de tester la cohérence des réponses. Voici le pourcentage d'élèves ayant répondu de manière cohérente (correcte ou non) colonne par colonne :

1 ^{ère} colonne	2 ^{ème} colonne	3 ^{ème} colonne	4 ^{ème} colonne	5 ^{ème} colonne
62%	78%	78%	65%	71%

Tableau 2 – pourcentage d'élèves dont les réponses présentent une cohérence entre trajectoire, vitesse et mouvement

Ce type d'exercice permet donc d'analyser différents aspects de la compréhension du mouvement par les élèves, et de mesurer le degré de compréhension en regardant la cohérence des réponses.

Conclusion

Nous avons vu, avec l'exemple d'un exercice, l'intérêt que pouvait présenter une telle méthode de construction et d'analyse de test. L'utilisation de la modélisation et des registres sémiotiques dans la construction des exercices est un outil pour varier les manipulations des savoirs proposés à l'élève. L'analyse et le découpage du savoir permettent de bien situer ce qui est demandé aux élèves. Plusieurs questions mettant en jeu le même aspect de concept sont un moyen de mesurer la cohérence des élèves.

Nous avons ainsi développé et analysé quatre tests. L'ensemble de ces outils sera diffusé d'ici la fin de l'été par le biais d'une plate-forme Internet (PEGASE³) mettant à la disposition des enseignants les exercices, les résultats et commentaires, des extraits de copie d'élèves et les entretiens correspondants. Un travail ultérieur, dans un avenir plus lointain, pourrait consister à étudier concrètement la pertinence de tels outils pour les enseignants.

Bibliographie

BARBIER Jean-Marie, 1985, *L'évaluation en formation*, Paris, PUF.

³pour les Professeurs et leurs Elèves : un Guide pour l'Apprentissage des Sciences et leur enseignement

- BLACK Paul, 1998, Evaluation et contrôle des acquis, in Andrée TIBERGHIE, Leonard JOSSEM et Jorge BAROJAS, *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*, ICPE.
- BROUSSEAU Guy, 1992, *Théorie des situations didactiques*, Grenoble, La Pensée Sauvage.
- CHASTRETTE Maurice, 1989, *Démarches et outils de l'évaluation*, Lyon, LIRDIS.
- CHI Michelene T. H., FELTOVITCH Paul J. et GLASER Robert, janvier-décembre 1981, " Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices ", *Cognitive science*, 5 (1-4), pp.121-152.
- COPPE Sylvie, 1993, *Processus de vérification en mathématiques chez les élèves de première scientifique en situation de devoir surveillé*, thèse de doctorat, Université Claude Bernard – Lyon I.
- DUMAS CARRE Andrée et GOFFARD Monique, 1997, *Rénover les activités de résolution de problèmes ; concepts et démarches*, Paris, Armand Colin.
- DUVAL Raymond, 1995, *Sémiosis et pensée humaine*, Bern, Peter Lang.
- DUVAL Raymond, 2001, " Ecriture et compréhension : Pourquoi faire écrire des textes de démonstration par les élèves ? ", in Evelyne BARLIN, Raymond DUVAL, Italo GIORGIUTTI, Jean HOUELINE et Colette LABORDE, *Produire et lire des textes de démonstration*, Paris, Ellipses, pp. 183-205.
- FÉLIX Christine, 2002, *Une analyse comparative des gestes de l'étude personnelle : le cas des mathématiques et de l'histoire*, thèse de doctorat, Université Aix-Marseille.
- HALLOUN Abou and HESTENES David, novembre 1985, The initial knowledge state of college physics students, *American Journal of Physics*, 53(11), pp. 1043-1055.
- HESTENES David, WELLS Malcolm et SWACKHAMER Gregg, mars 1992, Force Concept Inventory, *The Physics Teacher*, pp.141-158.
- JOHSUA Samuel et DUPIN Jean-Jacques, 1993, *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Paris, PUF.
- JULO Jean, 1995, *Représentation des problèmes et réussite en mathématiques : un apport de la psychologie cognitive à l'enseignement*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes.
- MCCLOSKEY Michael, avril 1983, " Intuitive Physics ", *Scientific American*, 4, pp.114-122.
- MCDERMOTT Lilian C., 1998, " Students' conceptions and problems solving in mechanics. Connecting Research in Physics Education with Teacher Education", in Andrée TIBERGHIE, Leonard JOSSEM et Jorge BAROJAS, *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*, ICPE.
- MILLAR Robin et HAMES Vicky, 2001, " Using diagnostic assessment to improve students' learning in science : Some preliminary findings from work to develop and test diagnostic tools", in : *Third Conference of the European Science Education Research Association (ESERA)*, Thessaloniki, Grece.
- PALMER David, juillet 1997, " The effect of context on students' reasoning about forces ", *International Journal of Science Education*, 19(6), pp. 681-696.
- PERRENOUD Philippe, 1988, " La part d'évaluation formative dans toute évaluation continue ", in INRAP, *Évaluer l'évaluation*, Dijon : INRAP, pp. 202-210.
- REIF Frederic, 1987, " Instructional design, cognition, and technology: applications to the teaching of scientific concepts ", *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), pp. 309-324.
- SAVINAINEN Antti, 2004, High school students' conceptual coherence of qualitative knowledge in the case of the force concept, thèse de doctorat, University of Joensuu.
- TIBERGHIE Andrée, 2000, " Designing teaching situations in the secondary school ", in Robin MILLAR, John LEACH et Jonathan OSBORNE (eds.), *Improving science education: The contribution of research*, Buckingham, Open University Press, pp.27-47.
- VERMERSCH Pierre, 1994, *L'entretien d'explicitation en formation initiale et en formation continue*, Paris, ESF.
- VIENNOT Laurence, 1996, *Raisonnement en Physique*, Bruxelles, De Boeck.
- VYGOTSKY Lev, 1997, *Pensée et Langage*, Paris, La Dispute.

Comment se construisent des problèmes au cours des débats « scientifiques » : étude comparée épistémologique et didactique à propos du concept de fossile. Place et rôle de l'enseignant dans la gestion des débats.

CREPIN Patricia, IUFM de Franche-Comté et CREN, université de Nantes

Projet de recherche et cadre théorique

Ce travail de recherche dirigé par C.Orange et recevant l'aide de G.Gohau s'inscrit dans le cadre théorique de la transposition didactique (Chevallard, Y ; 1991). Il s'intéresse plus particulièrement à la problématisation lors de la mise en œuvre de débat autour du concept de fossile selon deux axes, en histoire des sciences et dans la formation didactique des enseignants gestionnaires de débat en sciences.

♦ Des travaux en histoire de la paléontologie sur l'évolution du concept de fossile mettent en valeur une divergence d'idées à propos des objets récoltés de tout temps (F. Ellenberger , 1988, 1994). Des jeux de hasard préconisant une formation in situ terrestre voire sous l'influence d'une force céleste aux anciens restes de vivants parfois disparus et indicateurs d'anciennes mers, en passant par les pierres figurées, les fossiles ont eu de multiples interprétations défendues. (G. Bouillet & J. Gaudant ,2000). La communauté paléontologique aujourd'hui s'entend principalement sur la définition suivante : "reste, trace ou moulage naturel d'organisme conservé dans des sédiments" (A.Foucault & J-F. Raoult , 1995). Mais cette définition d'apparence univoque masque la recherche encore d'actualité du domaine de compréhension et d'extension (G. Rumelhard *in* M. Sauvageot-skibine , 1994) du concept de fossile. Or que faire du mammoth congelé dont on a prélevé encore des portions d'ADN ? Or que faire des moulages artificiels par remplissage de plâtre des cavités formées par la carbonisation des cadavres dans les cendres de Pompéi ? Or que faire de la conception de "fossile vivant" qui perdure et reste ambiguë pour la raison que l'évolution génétique n'est pas obligatoirement exprimée dans les phénotypes actuels (G.Lecointre & H.Le Guyander , 2001)?

S'ils ont été discutés, les fossiles, leur origine, leur formation et leur signification ont-elles été pour autant disputées ? C'est à dire y –a-t-il eu des protagonistes contemporains qui sont entrés en polémique au sujet des fossiles et ont argumenté leur point de vue ? G. Gohau (1990) fait part d'un débat entre Buffon et Voltaire où encore au XVIII^e siècle la question de l'origine des fossiles est controversée.

♦ D'autre part, cette recherche vise un repérage des compétences des enseignants dans ces situations complexes d'enseignement où ceux-ci gèrent des débats dits "scientifiques" (S. Joshua & J-J. DUPIN, 1993, 1999). Parmi la diversité des situations possibles de mise en débat en classe, dans cette communication, seuls les débats induits par la confrontation des conceptions initiales des élèves seront abordés. Ils sont vécus comme difficiles à mener à bien par les professeurs en formation initiale. Ce sont des situations critiques d'enseignement-apprentissage où les élèves doivent formuler des questions explicites, prendre conscience des problèmes fondamentaux liés au concept d'étude et où l'enseignant les guide en se faisant violence pour ne pas apporter des réponses. Or depuis 2002, par le B.O. du 14 février, les programmes de l'école primaire prescrivent ces situations d'enseignement où confrontation d'idées préalables, conflit, débat interne sont valorisés. La prise en charge de l'hétérogénéité des conceptions initiales, la diversité des obstacles associés (G. Bachelard, 1938 ; J-P. Astolfi

& B. Peterfalvi, 1997) d'une classe entière, et la gestion des interactions langagières en conflit socio-cognitif me semble être un problème majeur d'enseignement.

La problématisation (M. Fabre, 1999) par les élèves guidés par l'enseignant m'intéresse et m'interpelle fortement. Enseigner, c'est donner du sens aux élèves par la construction de problèmes permettant l'accès à un savoir partagé, soumis à la critique et confronté aux épreuves scientifiques. Cela m'apparaît comme une convergence ou un nœud problématique dans les pratiques repérées des enseignants a priori.

En recourant à l'analyse des débats historiques et à l'analyse des débats en classe, la recherche tentera de mieux cerner la construction des problèmes par des microanalyses des discours, le repérage des registres empiriques, des registres des modèles et des registres explicatifs construisant l'espace-problème (M. Fabre & C. Orange, 1997 ; C. Orange, 2001) La mise en relation des deux champs-épistémologique et didactique-sera envisagée dans cette communication à travers deux études de cas.

La problématique

La problématique principale de recherche est la suivante : Quelles sont les composantes critiques et prospectives des débats historiques de la communauté scientifique à propos du concept de fossile qui pourraient guider une transposition didactique raisonnée des débats dans la communauté scolaire d'aujourd'hui gérés par les enseignants ?

Je me propose donc de rechercher comment se construit une problématique lors des débats "scientifiques" historiques et pendant des débats "scientifiques" en classe de primaire et de collège. Par quels systèmes de questionnements et d'argumentations, la problématique évolue-t-elle dans ces deux champs ?

Le défi sera d'articuler des éclairages épistémologiques et des enquêtes didactiques à propos des débats liés au concept de fossile. Quel est l'espace-problème construit dans chaque cas ? Quels sont les obstacles révélés dans chaque situation ?

Des questions de recherche :

- ◆ Quels ont été les différents champs de questionnements élaborés par les communautés scientifiques successives autour du concept de fossile du XVI^e siècle à nos jours ? Quelles ont été les différentes mises en relation entre les objets fossiles récoltés et les conceptions du vivant, de la classification des vivants, de l'évolution ? Quels ont été les débats scientifiques fondateurs de la construction du concept ?

- ◆ Quelles problématisations peuvent être construites dans une communauté scolaire ? La dévolution du problème engendre-t-elle des débats qualifiés de scientifiques ? Quels sont les choix opérés par les enseignants pour mener un débat ? Quelles difficultés perçoivent-ils ? Quelles argumentations réflexives proposent-ils ?

- ◆ Vers une mise en relation des deux axes de recherche en vue de curriculums potentiels : Les grilles d'analyse en histoire des sciences pourraient-elles servir de référence à une transposition didactique du concept de fossile dans les classes de l'école primaire et de collège ? Et inversement les grilles d'analyses des situations réelles de classe pourraient-elles renvoyer à des controverses historiques ? Quels outils didactiques en lien avec le concept de fossile, permettraient l'autonomie des enseignants pour la genèse et l'exploitation des débats "scientifiques" ?

Méthodologie

En adéquation avec la problématique et les questions de recherche, les deux champs d'investigation sont effectués séparément dans un premier temps puis tenteront d'être corrélés dans un second temps.

En histoire des sciences

La prospection et l'analyse de textes historiques aboutissent à une sélection de textes fondamentaux dans la mise en débat et la construction de problèmes. Comment ont été sélectionnés et retenus les textes historiques ? Ils sont de deux ordres.

- Soit ils répondent aux critères d'une mise en débat et d'une problématisation autour du concept de fossile : un dialogue- voire une dispute- est engagé entre plusieurs interlocuteurs -ce qui réduit d'emblée considérablement les données historiques- . Et leur désaccord développe une argumentation étayant la controverse avec explicitation des questions et des problématiques.
- Soit a posteriori d'un débat de classe, certains textes peuvent offrir un éclairage historique des hypothèses divergentes des naturalistes par comparaison aux hypothèses des élèves sur le même objet d'étude fossile. Le besoin a été révélé par exemple, à la suite de la mise à jour d'une problématique construite avec les élèves d'une classe de CM 1 après récolte et observation d'articles et de tiges d'encrines dans une manière oxfordienne. Les mémoires de l'Académie des sciences du XVIII^e siècle et les dictionnaires du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris de la même période sont une source intéressante.

Pour cette présentation, je me limiterai à un manuscrit de J-E Guettard (non daté), source originale que j'ai transcrit et qui n'avait pas été encore exploitée.

En didactique

La méthodologie prépare l'analyse de débats "scientifiques" menés dans des classes sous trois bases de données :

- en amont du débat par l'analyse des conceptions initiales des élèves et son appropriation par l'enseignant
- la prestation pratique de l'enseignant du primaire ou du collègue
- en aval du débat par l'enseignant lui-même

L'objectif principal est mesurer et délimiter un espace des possibles concernant les pratiques d'enseignement scientifique générant et conduisant des débats.

Public ciblé

Pour l'année scolaire 2003-2004, deux études de cas ont été effectuées : un enseignant du primaire (CM 1, 27 élèves) et une enseignante en collège (4^e, 21 élèves). Chaque professeur sera suivi sur deux années consécutives d'enseignement.

D'un autre côté, les conceptions initiales de trois classes de cycle 3 (3 CM 1 respectivement de 25, 24 et 15 élèves), antérieures à 2004 ont été prélevées.

Pour l'année scolaire 2004-2005, deux autres études de cas sont en cours d'exploitation : une enseignante de CM 2(18 élèves) et un autre enseignant de CM 1(26 élèves)

Les objets d'étude

Nous pouvons distinguer deux types de corpus :

♦ D'une part un corpus extensif sera constitué à partir de la totalité des classes précédemment citées. Les conceptions initiales d'élèves échantillonnées sur les trois premières classes antérieures à 2004, ont permis la construction d'une grille d'analyse proposant à l'enseignant une catégorisation des obstacles repérés et qu'il pourra potentiellement rencontrer dans sa classe.

Des obstacles ont été au préalable repérés et proposés aux enseignants avec des illustrations à l'appui :

- des obstacles épistémologiques liés à la pensée commune selon l'école bachelardienne : un temps historique, un événement unique, une vision fixiste- prégnance de l'état actuel-, l'absence de frontière vivant / non vivant, une métamorphose des êtres vivants passés en vivants actuels.
- et des obstacles psychogénétiques liés au développement de l'individu selon l'école piagétienne : l'animisme et l'artificialisme.

L'analyse des réponses pour la totalité des neuf classes permettra par la suite d'affiner ce corpus grâce à la représentativité de 200 élèves environ.

♦ D'autre part un corpus intensif comprend :

- *des outils didactiques*, supports de quatre situations d'enseignement potentiellement génératrices de débats scientifiques et leur appropriation par les enseignants :
 - Des conceptions initiales des élèves de sa classe spécifique émergeant suite aux questions suivantes posées par l'enseignant " Qu'est-ce qu'un fossile ? Comment se forme un fossile ? Est-ce que tu connais d'autres fossiles que ceux que nous avons vu la dernière fois ? A ton avis, à quoi sert aujourd'hui l'étude des fossiles ? " La pluralité des questions permet de faire un diagnostic le plus précis des premiers modèles explicatifs de chaque élève par écrit. Ces modèles devraient resurgir dans l'espace collectif du débat et être soumis à la critique des autres élèves. Une fiche méthodologique d'analyse interactive est associée.
 - Six ensemble de restes d'animaux marins actuels et de fossiles et une fiche d'activité
 - Un site fossilifère et une fiche d'activité
 - Un questionnaire comprenant 6 questions ouvertes sur l'origine de l'homme et sa place dans le monde des vivants

Seul le premier outil didactique sera analysé mais au préalable de l'émergence des conceptions, les élèves de la classe de CM 1 ont manipulé quelques fossiles par le biais de second outil proposé. Ils ont donc auparavant trié un ensemble de fossiles et de restes de vivants actuels qui pouvaient être corrélés.

- *des séquences filmées* des débats collectifs de classe qui offriront la possibilité d'une analyse thématique (macrostructure des problèmes), d'une analyse de discours (microstructure des problèmes, controverses entre pairs) et d'une analyse linguistique (descripteurs d'une argumentation)
- *des traces écrites* collectives, individuelles ou par groupe ; en classe ou dans le cahier de sciences de l'élève
- *des entretiens d'explicitation* auprès des enseignants avant et après la mise en oeuvre d'un débat scientifique dans leur classe. Les entretiens ultérieurs à la mise en débat dans la classe n'ont pas été enregistrés par souci de mise en confiance de l'enseignant mais ont donné lieu à des prises de notes de mémoire. Quant aux entretiens postérieurs aux débats de classe, ils ont été enregistrés systématiquement par les méthodes dans un premier temps en autoconfrontation simple puis en autoconfrontation croisée (Y. Clot, 1999). Ce sont des méthodes utilisées en psychologie du travail, basée sur l'étude clinique de l'activité - d'enseignement dans notre cas présent- appuyée sur des formes différenciées de co-analyse du travail. L'analyse de sa propre activité, en différé sur support vidéo, se fait soit avec le chercheur(autoconfrontation simple) soit avec le chercheur et ses pairs, considérés comme experts sociaux de référence (autoconfrontation croisée). L'objectif principal est mettre à jour chez l'enseignant ses moments de choix, de conflits intérieurs, donc les moments critiques pour la gestion d'un débat et la problématisation escomptée. D'après Y. Clot (1999) elles permettraient de provoquer une attitude réflexive de l'enseignant en le rendant " plus conscient, obligé à faire le tour de leurs possibilités et de leurs limites, autant d'occasion de développer la conceptualisation de la situation, le sujet réalise (au sens fort du terme) ses

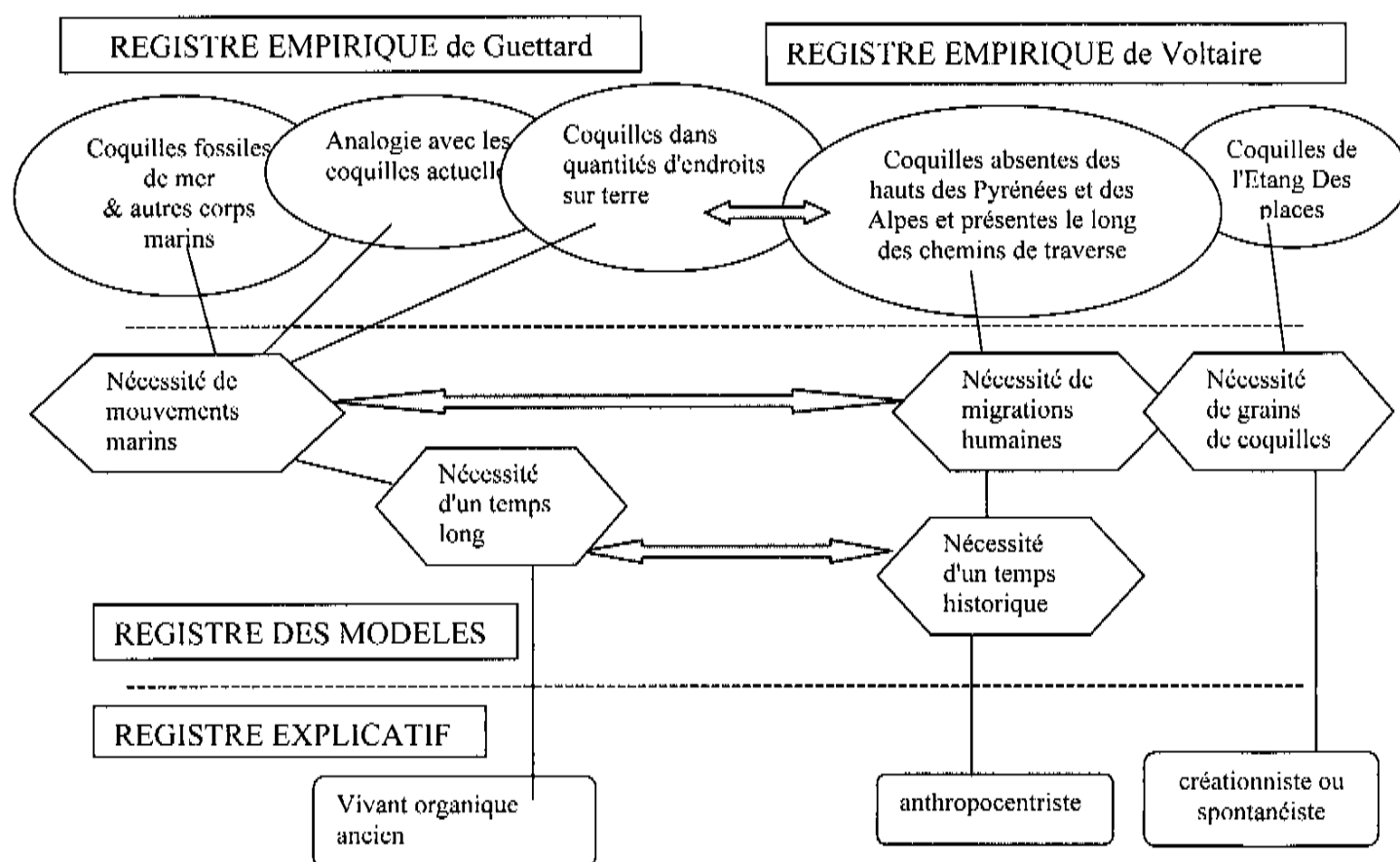
activités, les développe. En se transformant en langage, les activités se réorganisent et se modifient."

Premiers résultats partiels

Je m'appuie sur la proposition de macrostructure d'un débat proposé par M. FABRE et C. ORANGE (1997) afin de schématiser la construction de l'espace – problème entre savants du XVIII^e siècle ou entre élèves guidés par l'enseignant.

Une étude de cas d'un débat entre J-E Guettard et Voltaire

A partir du manuscrit de l'académicien J-E Guettard qui est une réponse à un extrait des œuvres complètes de Voltaire "Des singularités de la nature", l'organigramme suivant a pu être schématisé. Le problème de l'origine des coquilles fossiles est décliné par les trois réponses hypothétiques discutées qui appartiennent à trois registres explicatifs différents : défendue par Guettard une origine organique d'anciens vivants marins, défendue par Voltaire une origine minérale ou origine artificielle liée à l'homme. Pour chacune de ces hypothèses différentes objections successives sont données. Et un même argument- le nombre d'endroits où elles ont été observées – est une contrainte du registre empirique qui sert à la fois à Guettard et à Voltaire pour construire leurs objections. L'organigramme ci-dessous révèle les corrélations (—) et les mises en tensions (↔) par désaccord des deux interlocuteurs.



Une étude de cas d'un débat en CM 1

Ce débat a été mené par J-P. Caré à l'école Helvétie de Besançon, professeur des écoles. Pour envisager le rôle de l'enseignant dans la mise en débat des élèves et la construction d'une problématique, il est préférable de partir d'une microstructure du débat. Cette microstructure est une microanalyse d'un temps restreint de la cinquième (5) à la cent sixième occurrence (106)(10 minutes) de la séance de confrontation- à partir des deux premières questions d'urgence- des conceptions initiales des élèves suite à une présentation d'une élève, Clara. Elle retrace la totalité des idées, opinions ou argumentations avancées.

♦ Quelle place et quel rôle de l'enseignant montre cette schématisation dans le débat mené en classe ? Dans cette transcription fine 40 occurrences du professeur ont induit 62 occurrences élèves. Parmi ces prises de paroles d'élèves, 35 occurrences d'élèves ont été induites par le retour de parole au professeur et 27 occurrences d'élèves pour lesquelles la prise de parole n'est pas revenue au professeur. Sept moments d'interactions langagières entre élèves ont été répertoriés comprenant de 2 à 7 occurrences élèves maximum. Cette première estimation quantitative peut donner une première idée du rapport du temps de parole entre le professeur et ses élèves. Du point de vue qualitatif, les interventions langagières de l'enseignant ont des fonctions différentes. Soit elles peuvent être qualifiées de passives ou neutres (26 au total de catégorie A du tableau ci-dessous. Elles seraient équivalentes à un simple geste de l'enseignant pour la passation de parole. Elles sont signalées dans l'organigramme par des flèches simples. Soit l'intervention langagière pourrait être qualifiée d'active (23 occurrences au total de catégorie B). Elles sont signalées dans l'organigramme par des flèches doubles grisées.

<i>A/temps de silence accordé avant de passer la parole</i>	1
<i>A/Onomatopées, divers neutres</i>	2
<i>A/Passage du relais de parole par les prénoms</i>	17
<i>A/Répétition de la formulation d'élève</i>	7
<i>B/Reformulation de la proposition d'élève</i>	2
<i>B/Questionnement fermé:</i>	
- aux autres élèves	2
-à l'élève référent au tableau	1
<i>B/Questionnement ouvert:</i>	
- aux autres élèves	3
-à l'élève référent au tableau	4
<i>B/Demande d'explication plus approfondie, d'argumentation</i>	4
<i>B/ Mise en perspective</i>	
-des désaccords d'élèves	1
- des accords entre élèves	1
<i>B/Avis, jugement de l'enseignant</i>	1
- valorisation explicite ou implicite de l'élève (D'accord)	
<i>B/Trace écrite</i>	0
<i>B/ coupe la parole aux élèves</i>	4
<i>par ou souci des règles sociales de vie de classe ou n'entend pas</i>	

Quelles interactions sont favorables ou défavorables au débat et à la problématisation ?

♦ En réponse à cette question, quels moments de choix critiques se définit l'enseignant lui-même lors d'une autoconfrontation croisée avec deux de ses collègues maîtres-formateurs et moi-même ? (transcription en cours)

Discussion

Envisageons une comparaison du fonctionnement d'un débat historique avec un débat en classe.

Y a-t-il débat, débat en sciences ou débat scientifique ?

- dans l'exemple pris en histoire des sciences, la posture des deux protagonistes est très différente : Voltaire, philosophe, veut maintenir le doute dans l'esprit du public alors que Guettard, physicien, répond plus par obligation en considérant la notoriété de Voltaire et en s'en moquant pour mettre fin à cette discussion qu'il juge infantine. Les registres explicatifs convoqués sont trop éloignés pour engendrer un véritable débat. D'ailleurs Voltaire n'a eu aucune correspondance avec Guettard alors qu'il en a eu avec Buffon et De la Sauvagère (T. Besterman, 1977). Avec ce dernier, il restera en correspondance jusqu'à la fin de sa vie en qualifiant dans sa lettre du 10 août 1777 "...de charlataneries dont on nous berce. On rougira d'avoir dit que les Alpes et les Pyrénées ont été formées par les mers...". Il refuse donc lui aussi d'envisager finalement une véritable discussion et reste sur sa conviction première.

Ce premier exemple conforterait la réflexion avancée par G. Gohau (1998) qu'il n'y aurait pas engagement de véritable débat scientifique.

- Dans les situations de mise en débat offertes aux élèves, ceux-ci, en tentant de cerner au plus juste le domaine de compréhension du concept de fossile, génèrent un domaine d'extension du concept en ouvrant une multitude de problèmes. L'enseignant doit gérer cette complexité en favorisant le débat et les élèves entre en grand nombre dans la discussion. Il peut simplement être chef d'orchestre des échanges entre élèves ou il peut les aider à comparer leurs opinions, à solliciter leur argumentation, à mettre en doute leur point de vue.

Ce deuxième exemple *amenderait* le point de vue de Y. Chevallard (1999) qui avance que du moment qu'il y a transposition didactique il n'y a pas débat **scientifique** en classe. Bien sûr c'est une redécouverte par les élèves du concept de fossile. Mais l'intérêt ici est différent puisqu'il réside dans le fait de donner du sens à l'apprentissage en permettant aux élèves de s'approprier la question initiale de l'enseignant en la démultipliant en un questionnement divergent et spécifique à leurs préoccupations. Cette dévolution est favorable à développer une attitude scientifique en cernant les questions pertinentes et en les argumentant. Cette phase de problématisation est d'ailleurs un bon révélateur des obstacles corrélés au concept de fossile chez des élèves de primaire comme du secondaire.

Le paradoxe de l'actuel : principe de raison ou obstacle ?

Il est manifeste qu'un obstacle commun a généré le débat historique et le débat en classe de primaire : le fait de rendre contemporain à l'homme la formation des coquilles fossiles. Dans le cas des élèves de CM 1 c'est la conception artificialiste - l'objet fossile étant perçu comme un objet possible taillé par les hommes préhistoriques- qui est la plus vivement débattue. Dans le cas de Guettard et Voltaire, c'est une conception anthropocentriste liée aux déplacements et repas humains. La référence à l'actuel, à un temps proche historique et non pas géologique sont sollicités comme mode de pensée similaire. Mais l'espace-problème est différent : la problématique de la formation et de l'origine des coquilles fossiles ouvre sur les problèmes de formation des montagnes et de régressions marines, voire sur une création dans la terre in situ et donc une origine uniquement minérale. Donc soit c'est un registre explicatif naturel qui mobilise un espace géographique très grand et un temps long, soit c'est un registre explicatif artificiel qui mobilise un espace géographique restreint et un temps court, soit c'est un registre explicatif de création divine affranchi de l'espace et du temps. Pour les élèves, ces trois problèmes ne sont pas corrélés et ne sont jamais explicités. Leurs préoccupations secondaires, périphériques au débat principal portent sur la couleur d'un fossile, la taille d'un fossile en pierre morcelée par rapport à la taille de l'animal mort, l'ancienneté des fossiles, la cause de disparition des fossiles et plus particulièrement des dinosaures et enfin la mise en forme d'un

fossile dans une pierre dure. Quant à la controverse majeure, elle repose essentiellement sur la conception ou non d'une fabrication humaine, la conception ou non d'une formation naturelle. De nombreuses fois il y a des explications enfantines montrant l'ambiguïté de la référence à l'actuel : le fossile meurt ; le crocodile-référence à une espèce actuelle- est considéré comme un fossile ; la pierre dure - prégnance de cet état actuel observé- et l'incrustation supposée de l'animal. Il me paraît intéressant de soulever ce paradoxe de raisonnement qui met en tension les argumentations ou les conceptions des élèves comme l'ont fait les naturalistes : le paléontologue ne peut faire autrement que s'appuyer sur la biodiversité actuelle qu'il prend en référence mais doit aussi suffisamment s'en affranchir pour laisser libre cours à un imaginaire contrôlé pour concevoir l'évolution des vivants et donc des êtres vivants différents au cours des temps géologiques. Ainsi une des plus belles ruptures épistémologiques en paléontologie a été mise en valeur par S.J.Gould (1991) en proposant une " vie étrange et fabuleuse ... des organismes de Burgess qui n'appartiennent pas à des groupes zoologiques connus ". Cette tension entre science et imaginaire est une richesse d'entrer en débat. Je citerai Valmont de Bomare(1768) qui rendait compte de la recherche du sens univoque du concept de fossile à cette époque et le questionnait par le biais d'un classement en fossiles nativa (propres à la terre) et en fossile hétéromorphe (étrangers à la terre ayant appartenu au règne végétal ou animal) "Que d'hypothèses, que de conjonctures, que de systèmes pour expliquer comment ces substances ont été pour ainsi dire, dépayssées & transportées d'un règne dans un autre" On dispute tant qu'on ne fait qu'imaginer ; l'observation seule peut lever les doutes & conduire à la vérité"

Références bibliographiques

- ASTOLFI, J-P. et PETERFALVI, B. (1997) Stratégies de travail des obstacles : dispositifs et ressorts in *Aster N°25 Enseignants et élèves face aux obstacles*. Paris, INRP. P193-216
- BACHELARD,G. (1938,1972) *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin
- BESTERMAN,T. (1977) *Voltaire. Correspondance*. Paris, Gallimard
- BOUILLET,G & GAUDANT,J. (2000) La genèse et l'interprétation des "fossiles" dans la science classique : de la Renaissance aux Lumières in *Bulletin de la société géologique de France Tome 171-N°5*. Paris, SGF p587-601
- CHEVALLARD,Y. (1991) *la transposition didactique*. Grenoble, La pensée sauvage.
- CLOT,Y. (1999) *La fonction psychologique du travail* Paris, Presses universitaires de France
- ELLENBERGER, F. (1988/tome1, 1994/tome 2) *Histoire de la géologie*. Paris, Technique et documentation-Lavoisier
- FABRE, M. (1999) *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris, PUF
- FABRE, M. et ORANGE,C (1997) Construction des problèmes et franchissements d'obstacles in *Aster N°24 Obstacles : travail didactique*. Paris, INRP. P37-57
- FOUCAULT, A. & RAOULT, J-F. (1995) *Dictionnaire de géologie*. Paris, Masson
- GHETTARD,J-E. (non daté, postérieur à 1768) Ms 2186, Minéralogie I, B. Notes diverses sur la minéralogie, son utilité, la façon de l'étudier- Réponse à Voltaire au sujet de la formation des pierres et coquilles. p50- 58
- GOHAU, G. (1995) Traquer les obstacles épistémologiques à travers les lapsus d'élèves et d'écrivains in *Aster N°20 Représentations et obstacles en géologie* Paris, INRP. P21-41
- GOHAU,G. (1990) *Les sciences de la Terre au 17^e et 18^e siècles Naissance de la géologie*. Paris, Albin Michel.
- GOHAU,G. & TIRARD,S. (1998) Y a-t-il des débats en sciences ? in *Raison présente N°126 Démocratie, débats et mensonges*. Paris, Nouvelles éditions rationalistes.
- GOULD,S.J. (1991) *La vie est belle*. Paris, Seuil
- JOSHUA, S et DUPIN, J-J. (1993, 1999) *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, Puf
- LECOINTRE,G. & LE GUYANDER,H. (2001) *Classification phylogénétique du vivant*. Paris, Belin.
- ORANGE,C. (2001) *Idées et raisons. Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la terre*. Habilitation DR, Nantes
- PETERFALVI, B. (2001) *Obstacles et situations didactiques en sciences : processus intellectuels et confrontations. L'exemple des transformations de la matière*. Thèse dir. J-P. Astolfi, Rouen
- VALMONT DE BOMARE (1768-1769) *Dictionnaire raisonné universel d'Histoire naturelle*. Paris
- VOLTIRE, (1768, 1879) Des singularités de la nature in *(Œuvres complètes de Voltaire. Mélanges VI*. Paris, Garnier frères. p125-157.
- SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1994) Les trames conceptuelles, outils de formation en didactique de la biologie in *Didaskalia n°5*. p91-105

De l'école au collège, le rapport au vivant d'élèves de 10 - 11 ans

DELL'ANGELO-SAUVAGE Michèle, PRAG SVT, IUFM Créteil, UMR STEF (ENS Cachan, INRP), France

COQUIDÉ Maryline, Professeur, IUFM Bretagne, UMR STEF (ENS Cachan, INRP), France

Introduction

La liaison école-collège a fait l'objet de plusieurs études, tant d'un point de vue psychologique que sociologique, pédagogique ou didactique. Par ailleurs, le « rapport au vivant » des élèves, jamais considéré comme un « état. » mais caractérisé comme une relation qui s'établit, contextuellement, entre un individu et un « objet » biologique, peut se transformer en fonction de diverses interactions (Coquidé, 2000). Ce « rapport au vivant », qui dépend de différents facteurs, psychologiques, épistémiques, sociologiques, anthropologiques et culturels, peut se manifester par des attitudes variées, des comportements moteurs ou langagiers de l'élève, en présence d'un être vivant.

En quoi une meilleure compréhension du rapport au vivant des élèves peut-elle contribuer à la didactique de la biologie ? Est-il possible de repérer une action scolaire dans le rapport au vivant d'un élève et dans son éventuelle évolution ? Un enseignement disciplinaire des sciences de la vie, à l'entrée du secondaire, contribue-t-il à modifier ou à enrichir ce rapport au vivant des élèves ?

Pour permettre de mieux comprendre ces modifications éventuelles, nous avons suivi, dans le cadre d'une thèse en cours, une cohorte de jeunes élèves, en classe de CM2, puis actuellement durant leur enseignement de SVT de différentes classes de sixième.

Après avoir discuté des enjeux éducatifs et didactiques d'une meilleure compréhension du rapport au vivant des élèves, nous proposons, dans cette communication, de présenter les différents éléments du corpus actuellement construits, puis les indicateurs retenus pour an

Cadre théorique

L'élève à l'école et au collège

Dans une perspective sociologique, Dubet et Marticelli (1996) ont dressé un portrait de l'écolier et du collégien, et montré l'évolution de ses comportements vis-à-vis d'une norme scolaire et au sein d'un groupe. Montandon (1997) y a ajouté l'inventaire des émotions les plus fréquentes, ressenties face aux pratiques enseignantes. Dans un contexte plus pédagogique, Cousin et Felouzis (2002) soulignent les éléments de rupture ressentis par les élèves entrant en sixième et leur engagement progressif dans l'adolescence : l'entrée au collège marque le passage dans un « espace rationalisé » avec davantage de discipline, de règles de vie clairement annoncées, de nouvelles façons d'apprendre et de travailler. La relation à l'enseignant est aussi très différente car elle devient plus distante : les élèves ne sont plus autant perçus dans leur individualité.

L'aspect curriculaire, qui évolue au moment où l'élève passe d'un enseignant généraliste à des enseignants spécialisés, a aussi été envisagé. Ainsi, la recherche coordonnée par Ritter (1986), bien qu'un peu ancienne aujourd'hui, a étudié le point de vue des enseignants (602 instituteurs et 821 professeurs de collège, en arts plastiques, français, histoire-géographie, langue vivante et mathématiques). Elle a permis de comparer leurs opinions, de définir leurs attentes et de recueillir leurs représentations sur les pratiques qu'ils mettaient en œuvre en CM2 et en 6^{ème}. Ces études montraient que, d'une façon générale, les instituteurs étaient plus sensibles aux comportements sociaux et à une ouverture sur le monde. La dimension « lieu de vie » de l'école apparaissait essentielle. Les professeurs du secondaire, de leur côté, attendaient des élèves des comportements plus « scolaires », et le collège était perçu surtout comme lieu d'apprentissage. D'un point de vue disciplinaire, il est intéressant d'y reprendre les conclusions concernant, par exemple, l'enseignement de l'histoire. Pour les instituteurs, une importance était donnée aux pratiques collectives, de groupes et à la socialisation. La place de l'écrit et des apprentissages restait restreinte, mais des liens nombreux étaient tissés avec l'histoire et le passé. Pour les professeurs d'histoire-géographie, il apparaissait essentiel d'acquérir des connaissances et un vocabulaire spécifique. Le cours, l'étude de documents, la synthèse et l'évaluation étaient des préoccupations importantes, et il s'agissait davantage de permettre une meilleure compréhension du présent. Pour les professeurs de mathématiques, ce qui primait était la rigueur, l'acquisition des connaissances, avec beaucoup d'écrits pour structurer le raisonnement, contrôler et consolider les acquis. Les divergences apparaissaient davantage dans les méthodes : les instituteurs étaient davantage préoccupés par l'intérêt des élèves et la variété des supports et beaucoup moins par la transmission de modèles de référence et la précision de l'expression. Ces deux exemples illustrent un certain nombre de divergences selon la discipline enseignée (on remarque en particulier que les attentes des instituteurs sont assez différentes en mathématiques et en sciences humaines) et entre enseignants du primaire et du secondaire. En outre, l'enquête menée par Lebeaume (2000), relative aux indices utilisés par les élèves du primaire pour reconnaître les différentes matières scolaires, montre que ceux-ci ne retiennent que rarement des caractères intrinsèques (objets de savoir, méthodologie spécifique, nature des tâches,...), mais surtout des caractères extrinsèques (emploi du temps, cahier utilisé, enseignant intervenant).

Les élèves doivent donc s'adapter et il sera intéressant de savoir, dans le domaine des sciences de la vie, s'ils perçoivent des différences et mettent en place des stratégies spécifiques selon le niveau d'enseignement.

Le rapport au vivant des élèves

Les perspectives historiques et anthropologiques montrent une complexité des rapports au vivant

Une hiérarchie du vivant

Le rapport au vivant de l'humain, qui ne se situe ni dans la conscience, dans la perception et dans les émotions du sujet seul, ni dans l'objet biologique seul, mais bien dans une mise en relation, peut présenter différentes caractéristiques. Ainsi, les rapports de l'humain au vivant, les attitudes de l'homme à l'égard de l'animal, en particulier, sont, de tout temps, apparus complexes. Actuellement nous n'avons pas la même attitude vis-à-vis d'espèces considérées comme très proches, et vis-à-vis d'autres. Un classement, couramment répandu dans l'inconscient collectif, place les mammifères au sommet d'une hiérarchie, reléguant les invertébrés et davantage encore les végétaux à des niveaux subalternes du monde vivant. Cette hiérarchie joue dans les conceptions du vivant.

Différents rapports au vivant

Historiquement, les premiers rapports au vivant semblent relever d'un fondement utilitaire, ce *rapport utilitaire* a d'ailleurs contribué à la construction de tout un ensemble de connaissances empiriques, issues par exemple de l'agriculture ou de la chasse. Mais, dès les premières civilisations, un rapport mystique vis-à-vis de la nature se développa. Des animaux, voire des végétaux, furent incorporés à des dogmes religieux ou furent objets de culte, avec développement d'un *rapport sacré*.

D'un point de vue anthropologique, le rapport de l'homme à l'animal diffère fondamentalement si celui-ci est sauvage ou domestique, et se caractérise souvent par un « *jeu sur la distance* » (Lizet et Ravis-Giordani, 1995). Comme l'analyse Geneviève Carbone dans son étude sur la peur du loup (1991), depuis des siècles et à travers toutes les civilisations, le rapport au vivant, et en particulier à l'animal, évolue souvent dans *une double tension* : à la fois attirance et répulsion, admiration et crainte. François Terrasson (1997), de son côté, divise les êtres humains en deux groupes. D'un côté, ceux qui aiment la nature, la respectent, composent avec elle ; de l'autre ceux qui la craignent et sont effrayés par son exubérance et de ce fait, ne pensent qu'à la maîtriser, la dominer, la vaincre. Il montre le poids du groupe d'appartenance, du cadre de vie et de la région qui nous placent d'emblée dans un clan ou l'autre, mais il souligne aussi l'existence de dissidents.

Et comment pourrait se caractériser un *rapport scientifique* au vivant ? Est-ce dans une attitude d'investigation ? Est-ce dans un questionnement spécifique ? Est-ce dans une méthodologie de recherche d'informations ou de mise à l'épreuve d'idées explicatives ? Rappelons, qu'historiquement, le *rapport expérimental à l'animal* s'est construit, peu à peu, au XVII^e siècle, dans l'Occident cartésien, et à partir d'une relation qui désacralisait le vivant (Salomon-Bayet, 1986). Est-ce qu'en « retour », les connaissances que l'humain construit, peuvent transformer ses rapports au vivant ?

Le rapport au vivant d'un élève à la fin de l'école primaire peut être considéré comme résultant de multiples facteurs. Il se construit et se transforme sous l'influence conjointe d'éléments individuels comme le caractère propre de l'enfant, et d'éléments extérieurs comme la famille, le milieu de vie et l'école.

Les perspectives psychologiques montrent l'influence de l'âge et du caractère propre de l'élève...

De nombreux auteurs montrent l'évolution du rapport au réel des enfants. Wallon (1952) décrit le syncrétisme de la pensée comme une contamination entre les mots, les choses où les idées, liée à l'expérience du sujet. On observe alors un couplage qui peut se faire par assonance (vent, vivant), par analogie (respiration, mouvement), par opposition (vivant, non vivant) ou par lien de cause à effet (vieux, mort). On parle de pensée par couple.

Piaget (1947) définit des stades de développement psychogénétiques, correspondant à une appréhension évolutive du réel : vers trois ans, le vivant est essentiellement associé à ce qui bouge. Le caillou n'est pas vivant sauf si on le lance. Progressivement des composantes sensorielles sont ajoutées. Entendre, bouger, avoir faim, avoir froid ou chaud, entrent dans les critères du vivant. Vers six ou sept ans, sont vivants des objets qui participent à l'action : tableau, encre... L'intentionnalité apparaît : « le vent souffle pour pousser les nuages ». Jusqu'à onze ou douze ans, la notion d'infini n'est pas maîtrisée, ce qui empêche la compréhension de la mort. Ensuite, elle forme un couple avec la naissance et elle est associée à la vieillesse. Plusieurs didacticiens ont aussi étudié les représentations du vivant des élèves et leurs évolutions depuis la maternelle jusqu'au collège (présentation synthétique in Guichard et Deunff, 2001).

Par ailleurs, un certain nombre de facteurs individuels, liés à la personnalité même de l'enfant, interviennent pour moduler ses approches du vivant. C'est ce que l'on nomme des traits de caractère (comme, par exemple, être craintif, patient ou bien curieux...).

...mais aussi les influences psychosociales

L'importance du vivant dans la culture conduit également à solliciter les travaux de psychologie culturelle de Bruner (1996) pour la compréhension du développement de l'enfant, de l'acquisition du langage et de l'élaboration de la pensée. Le contexte culturel détermine les processus cognitifs de l'individu qui apprend, le cognitif et l'affectif sont interdépendants. De même, le vivant étant rencontré à la fois dans la vie quotidienne et à l'école, les perspectives développées par Vygotsky, l'importance du langage et les relations entre concepts quotidiens et concepts scientifiques relatifs au vivant seront à retenir (Da Silva, 2004).

L'enfant est donc naturellement influencé par le rapport que ses parents (et aussi ses enseignants successifs) entretiennent avec le vivant. L'éthologiste Montagner (2002) définit trois types de relations possibles avec les animaux :

des relations « *utilitaires* » établies avec des espèces susceptibles d'aider l'homme grâce à leurs capacités complémentaires ou différentes et qui sont liées essentiellement aux soins et à l'alimentation ;

des relations avec des animaux dits « *de compagnie* » dont l'objectif essentiel est d'apporter des satisfactions à l'humain ;

et des relations avec les animaux dits « *familiers* », qui reposent davantage sur des échanges réciproques.

Une grande majorité d'élèves de l'école primaire n'ont, actuellement, que rarement l'occasion de s'approcher d'animaux autres que familiers. Montagner montre cependant le rôle fondamental que peut jouer un animal dans le développement de *compétences socle* : attention visuelle soutenue, élan à l'interaction, comportements affiliatifs, organisation structurée et ciblée du geste, imitation.

Par ailleurs, la mort est devenue un sujet tabou dans notre société. Jeannine Deunff (2000) montre à quel point cela peut fausser les rapports du jeune enfant avec le vivant.

L'influence de l'école primaire

Le curriculum prescrit

Il insiste sur trois grands axes d'études : découvrir le vivant et les grandes fonctions biologiques, connaître son propre corps, différencier, classer les différents êtres vivants, et découvrir les relations qui existent entre eux. Les principaux objectifs sont de distinguer vivant et non vivant, de mieux comprendre son corps et le maintenir en bonne santé, de respecter les autres êtres vivants et de se sentir responsable de son environnement.

Le curriculum réel

Les rencontres avec le vivant à l'école primaire diffèrent selon les classes, et selon les moments ou les thèmes étudiés. Trois cas de figure peuvent se présenter ou se combiner.

Un contact quasi permanent avec des êtres vivants et une familiarisation pratique au vivant.

Les observations dans les classes montrent une présence très variable du vivant, depuis des élevages, des végétaux soigneusement entretenus, un « coin nature » ou même un espace

jardin, jusqu'à des classes totalement « aseptisées » sans la moindre trace d'êtres vivants (exceptés l'enseignant, les élèves et une pauvre plante verte décorative...).

Un contact temporaire avec le vivant

Il peut s'établir à l'occasion de sorties (forêt, jardin...), de visites (ferme, apiculteur, zoo...). Il est aussi souvent présent pour des séquences précises : animal ou végétal apporté le temps d'une étude : développement d'un bulbe, métamorphose d'une chenille... Parfois, ce sont des organes issus du vivant qui sont donnés à étudier, à travers des dissections par exemple.

Une présence virtuelle du vivant, sans contact

L'étude du vivant se fait aussi à travers son image (livres, vidéo, CDrom) (Ndiaye, 1990), sa schématisation et sa modélisation. Des logiciels informatiques peuvent mimer la vie ou simuler des expériences.

La compréhension du vivant ne se limite pas aux séquences de sciences. De nombreuses lectures mettent des mots et des illustrations sur des notions comme naître, grandir, manger, vieillir, et même souffrir et mourir. L'histoire et la géographie mettent souvent en relation climat, agriculture, élevage et période de famine. Le cadre d'une étude des réseaux trophiques est installé. L'éducation à la citoyenneté est aussi un moment pour comprendre le vivant puisqu'elle est fondée sur le respect des autres et de l'environnement.

Questions de recherche

Quelles caractéristiques retenir pour étudier le rapport au vivant des élèves ? Avec quels indicateurs ? Observe-t-on des différences selon les êtres vivants considérés ? Observe-t-on des évolutions de ce rapport au vivant entre la classe de CM2 et la classe de sixième ? Un impact d'une action scolaire peut-il être repérable ?

Méthodologie

Pour contribuer à mieux caractériser le rapport au vivant d'élèves de 10-11 ans, et pour étudier un impact éventuel de l'entrée au collège et d'un enseignement plus disciplinaire, nous suivons une cohorte d'élèves et construisons un corpus constitué de plusieurs éléments.

Premier élément du corpus

Il s'agit d'une analyse du curriculum prescrit, avec comparaison des contenus et des méthodes de l'école primaire, en particulier le cycle 3, avec ceux de la classe de sixième.

Cette étude doit permettre de préciser les approches choisies par l'institution et de pointer les continuités et les ruptures susceptibles d'intervenir sur la construction du rapport au vivant des élèves lors du passage de l'école au collège.

Second élément du corpus

Il est constitué par un ensemble de notes et d'enregistrements audio et vidéo rassemblés :

- en 2003-2004, au cours de séances de sciences, dans quatre classes de CM2 (deux dans une même école de milieu semi rural, les deux autres dont une ZEP en milieu urbain),
- en 2004-2005, au cours de séances de SVT, dans quatre classes de collèges où se retrouvent certains des élèves suivis la première année.

Il est complété par des entretiens avec les enseignants et les chefs d'établissement.

Il s'agit d'approcher le curriculum réel. La transcription des enregistrements et les notes prises sur l'organisation de la classe fourniront des informations sur les méthodes d'enseignement choisies, les supports d'investigation utilisés et les connaissances en principe construites. Il s'agira de caractériser les différents rapports au vivant, privilégiés dans le cadre de la classe. Les photos et les films témoignent ainsi d'un certain nombre de commentaires, attitudes, comportements ou manifestations de la part des élèves pendant certains moments de classe. Ils seront analysés avec les critères définis pour le quatrième élément du corpus.

Troisième élément du corpus

Dans chacune des classes du primaire observées, deux courts extraits de films, portant sur les relations entre les êtres vivants ont été proposés. Après chaque extrait, deux questions ouvertes et deux questions fermées ont été posées. Ces questions tiennent compte du curriculum prescrit, à travers l'analyse faite du premier corpus.

L'analyse des réponses obtenues en CM2 devrait permettre d'évaluer la compréhension du vivant acquise par ces élèves ainsi que certains aspects de leur relation au vivant. La comparaison des réponses des différents CM2 sera mise en relation avec les observations faites au cours de l'année, du curriculum réel.

Une méthodologie analogue, en fin de sixième, permettra d'évaluer l'évolution des élèves sur ces mêmes thèmes au cours de cette première année de collège. Là encore la comparaison des différentes classes sera mise en relation avec le curriculum réel.

Quatrième élément du corpus

Il est constitué par un ensemble d'entretiens semi directifs, réalisés auprès de six élèves de chaque classe, sélectionnés de sorte à ce qu'il y ait autant de garçons que de filles et désignés par les enseignants suivants des critères de « réussite » (deux « bons », deux « moyens », deux « faibles », semblant pouvoir ne pas être trop intimidés). Chaque entretien a été enregistré (audio et vidéo). Le parti a été pris de placer chaque élève face à un ensemble d'êtres vivants, animaux ou végétaux, isolés ou dans un milieu de vie reconstitué. Le but est de caractériser ses rapports, par observation de ses réactions, et par l'analyse de ses propos dans un entretien semi-directif.

Résultats / Discussion

Construction d'une grille d'analyse du rapport au vivant et indicateurs

Les différents entretiens menés auprès des élèves et les observations nous conduisent, actuellement, à commencer à caractériser quatre grands « registres » de rapport au vivant, qui peuvent plus ou moins s'exprimer, dépendre de caractéristiques essentielles de l'élève dans ce contexte, et sont à moduler suivant l'être vivant dont il s'agit.

« Registres » de rapport au vivant	Dimensions de ces « registres »		Exemples d'indicateurs (attitudes et comportements face au vivant et/ou discours sur celui-ci)
Affectif	Dans le contact physique	Pour les sensations	Caresse, prend l'animal. Décrit ses sensations : on sent ses griffes, il bouge, il est doux. Trouve agréable.
		Pour le jeu	Voudrait jouer avec (le rat, le poisson mort...)
	Dans le rejet	Pour éviter le contact ou la vue	Ne prend pas l'animal. Manifeste sa peur ou son manque d'envie. N'aime pas (sa grande queue...). Ne veut pas faire ou voir (refuse de mettre les mains dans le bac, de disséquer ou même de voir la dissection.)
	Dans la relation	Pour échanger	Aime bien. Aimait l'avoir dans sa chambre. Aimait avoir (un rat), pour lui parler.
		Pour protéger	Veut s'occuper de l'animal. Ne veut pas qu'on lui fasse du mal. S'inquiète à son sujet.
		Pour dominer	Souhaite l'apprivoiser, lui faire faire ce que l'on a envie, le promener dehors en laisse
Pratique			Souligne les difficultés, pense à l'utilité, (manger face au poisson mort...), pense à l'action, (le poisson mort a été pêché).
Cognitif	Dans le constat		Regarde, cherche à voir, trouve intéressant.
	Dans l'interrogation		Cherche à voir comment il vit, il fait... S'interroge, pense à des expériences. Dissèque, manipule ...
	Dans la mobilisation de savoir		Déduit, cherche des liens entre ses connaissances et la situation. Expose ce qu'il sait ou croit savoir
Indifférent			Rien ne l'attire, ne l'intéresse parmi les vivants.
Autres			Souligne la beauté, parle des couleurs.

Il est probable que, d'ici la date du colloque, cette grille d'analyse ait été mise à l'épreuve sur différents éléments du corpus, et soit affinée.

Cette étude pourra, par la suite, contribuer à une formation conjointe des enseignants de CM2 et de professeurs de SVT de collège, au regard des observations faites.

Bibliographie

- BRUNER Jérôme, 1996, *L'éducation, entrée dans la culture*, Paris, Retz.
- CARBONE Geneviève, 1991, *La peur du loup*. Paris, Découverte Gallimard.
- COQUIDÉ Maryline, 2000, *Le rapport expérimental au vivant*, Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paris-sud, Orsay.
- COUSIN Olivier et FELOUZIS Georges, 2002, *Devenir collégien. L'entrée en classe de sixième*, Paris, ESF, Collection Pédagogie.
- DA SILVA Veleida Anahi, 2004, *Savoirs quotidiens et savoirs scientifiques : l'élève entre deux mondes*, Paris, Anthropos.
- DEUNFF Jeannine, 2000, *Dis maîtresse, c'est quoi la mort ?*, Paris, L'Harmattan.
- DUBET François et MARTUCELLI Danilo, 1996, *À l'école. Sociologie de l'expérience scolaire*, Paris, Seuil.
- GUICHARD Jack et DEUNFF Jeannine (coord.), 2001, *Comprendre le vivant, la biologie à l'école*, Paris, Hachette.
- LEBEAUME Joël, 2000, « Jeux d'étiquette, jeux de Kim, jeux de familles, puzzles ou devinettes à l'école », *Aster*, Paris, INRP, 31, pp. 197-216.
- LIZET Bernadette et RAVIS-GIORDANI Georges (dir.), 1995, *Des bêtes et des hommes. Le rapport à l'animal : un jeu sur la distance*, Paris, CTHS.
- MONTAGNER Hubert, 2002, *L'enfant et l'animal*, Paris, Odile Jacob.
- MONTANDON Cléopâtre, 1997, *L'éducation du point de vue des enfants*, Paris, L'Harmattan.
- NDIAYE Valdiodio, 1990, *Évaluation de l'utilisation de la vidéo dans les travaux pratiques universitaires en biologie*, Thèse de doctorat, Université Lyon 1.
- PIAGET Jean, 1947, *La représentation du monde chez l'enfant*, Paris, PUF.
- RITTER Pascale (coord.) et Colomb Jacques (dir.), 1986, *Enseignants de CM2 et de 6^{ème} face aux disciplines*, Recherche Articulation Ecole-Collège, Paris, INRP.
- SALOMON-BAYET Claire, 1978, *L'institution de la science et l'expérience du vivant*, Paris, Flammarion.
- TERRASSON François, 1997, *La peur de la nature*, Paris, Sang de la terre.
- WALLON Henri, 1952, *L'évolution psychologique de l'enfant*, Paris, Armand Colin.

Conception d'un protocole expérimental avec un logiciel dédié : apprentissages réalisés et difficultés rencontrées par des élèves de terminale S

D'HAM Cédric, maître de conférences, Université Joseph Fourier, Leibniz/MeTAH, Grenoble

ERGUN Mustafa, doctorant, Université Joseph Fourier, Leibniz/MeTAH, Grenoble

GIRAULT Isabelle, maître de conférences, Université Joseph Fourier, Leibniz/MeTAH, Grenoble

MARZIN Patricia, maître de conférences, IUFM, Leibniz/MeTAH, Grenoble

SANCHEZ Eric, professeur agrégé, INRP, Lyon

Introduction

Les activités de travaux pratiques (TP) tiennent une place importante dans l'apprentissage des sciences expérimentales. En effet, elles constituent des moments au cours desquels les apprenants ont la possibilité de mettre en relation des observables expérimentaux avec les éléments théoriques adaptés. Comme l'ont montré des travaux de didactique (Tiberghien *et al.* 2001), ces activités peuvent prendre de multiples formes, sans qu'il n'y ait de forte corrélation entre la forme de l'activité et son contexte (niveau des apprenants, matière scientifique ou pays dans lequel est effectué le TP). Les objectifs visés par l'enseignant peuvent également être de natures diverses (White 1996) : motiver, donner du sens aux apprentissages, acquérir des techniques ou des connaissances spécifiques, aider à la mémorisation ou permettre de relier des sujets abordés indépendamment les uns des autres.

Aujourd'hui, les TP sont de plus en plus souvent liés à l'utilisation de l'outil informatique, que ce soit pour le contrôle de la manipulation, pour le traitement des résultats, ou pour les rendre accessibles à distance. Dans notre communication, nous décrivons une séance de TP que nous avons mise en place et qui a la particularité de pouvoir être réalisée intégralement à distance par les apprenants grâce à un logiciel accessible par Internet. Nous nous attachons à caractériser les apprentissages réalisés ainsi que les difficultés rencontrées par des élèves de terminale ayant effectué ce TP.

Contexte de la recherche : le TP Educaffix.net

Le projet Educaffix.net a consisté à construire pour des apprenants de niveau terminale scientifique ou première année universitaire, une séance de TP de chimie qui puisse être effectuée en autonomie à partir d'un ordinateur connecté à Internet. La partie manipulation est réalisée à distance par l'intermédiaire d'un robot manipulateur. Les apprenants sont en présence de ce qui est convenu de nommer un « laboratoire virtuel » mais pour lequel la manipulation est effectuée réellement. Les résultats obtenus à partir de cette manipulation sont donc de même nature que pour un TP « classique » réalisé en présentiel. Cependant, la manipulation étant déportée, elle perd la position emblématique qu'elle a dans les TP présentiels, au cours desquels les apprenants consacrent généralement une grande partie de leur temps à manipuler des objets de nature expérimentale. La tâche de l'étudiant dans la séance de TP Educaffix.net est donc modifiée par rapport à un TP présentiel. En nous fondant

sur les travaux antérieurs qui soulignent l'importance de la planification dans un travail complexe (Arce et Betancourt, 1997, Hmelo *et al.* 2000, Séré, 2002) nous avons donc choisi d'assigner comme tâche principale à l'apprenant la conception du protocole expérimental qui sera ultérieurement réalisé par le robot manipulateur. Son travail s'effectue donc en amont de la manipulation réalisée par le robot. Nous faisons l'hypothèse que le fait de s'engager dans une activité de conception du protocole aide l'apprenant à s'approprier l'ensemble de la démarche expérimentale, et à structurer les différentes connaissances associées à la manipulation.

Au lancement du logiciel Educafix.net, l'apprenant prend tout d'abord connaissance du problème qui lui est proposé : « déterminer par spectrophotométrie la concentration du colorant E124 dans un sirop de grenadine ». Nous avons fait l'hypothèse qu'il était nécessaire de fournir des aides à un apprenant du niveau considéré pour lui permettre de concevoir un protocole expérimental adéquat pour répondre à cette question. Ces aides sont de plusieurs types. Tout d'abord, les données théoriques nécessaires pour réaliser le dosage sont accessibles dans un fichier qualifié de « cours ». Ensuite, l'interface de conception de protocole structure précisément la tâche de l'apprenant en mettant à sa disposition des actions manipulatoires pré-sélectionnées et en précisant les paramètres à spécifier pour chaque action (par exemple, si l'apprenant choisit l'action « réaliser un spectre » il doit spécifier les paramètres « $\lambda_{\min}$ », « $\lambda_{\max}$ » et « solution de mesure »). Finalement, un tuteur artificiel aide l'apprenant à concevoir le protocole en notifiant, à la demande, les incohérences du protocole proposé.

Pour plus de détails sur le système Educafix.net et sur la caractérisation de la tâche de conception de protocole expérimental se reporter à la littérature (d'Ham *et al.* 2004).

Cadre théorique

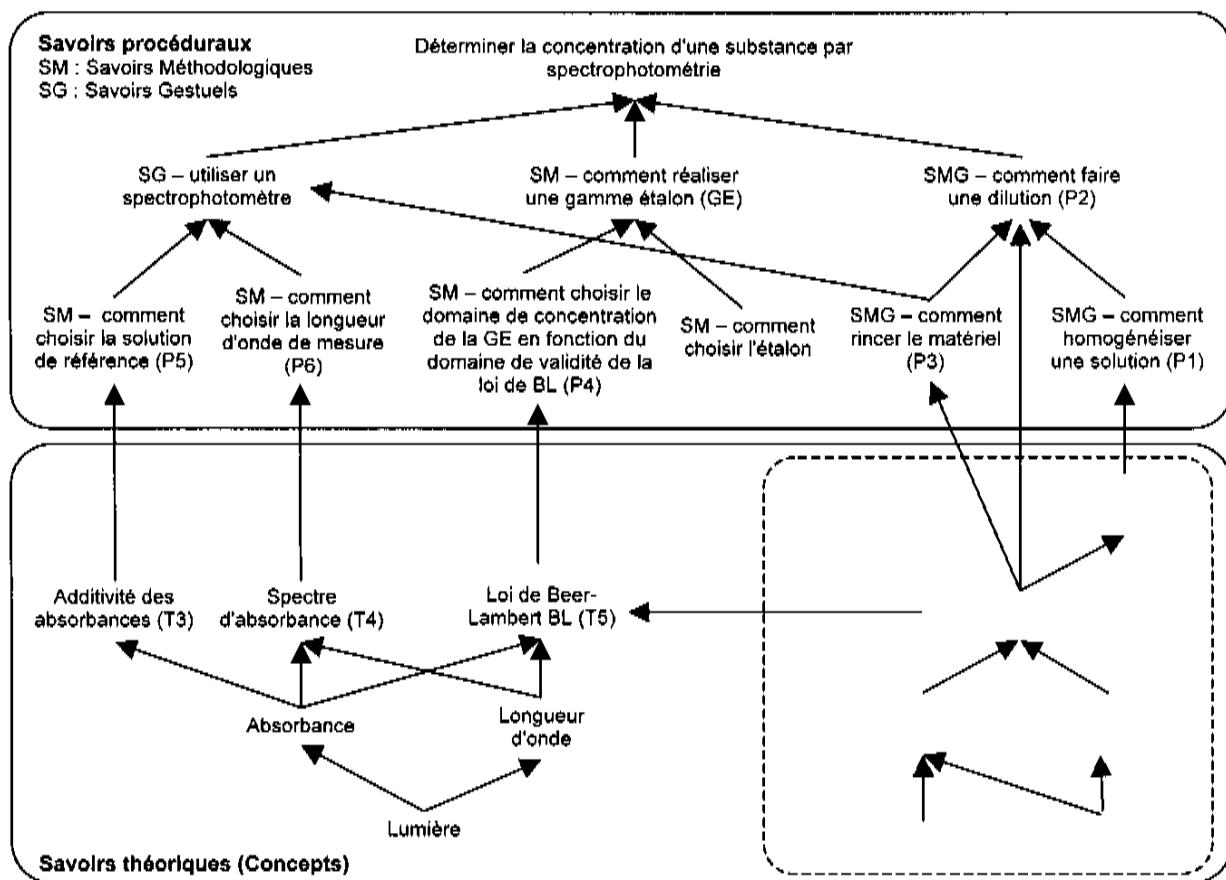
Le logiciel Educafix.net a été conçu à partir des hypothèses de travail décrites au paragraphe précédent. Son évaluation a été prévue selon deux axes : d'une part la caractérisation de la tâche de conception du protocole sur l'interface logicielle par les apprenants, et d'autre part la caractérisation des apprentissages qui sont favorisés au cours de ce type de tâche.

Le premier axe d'évaluation a trait à la caractérisation de la tâche de conception de protocole par les apprenants. L'activité de conception de protocole est une des activités constitutives de la démarche expérimentale. En ce sens, nous nous inscrivons dans les travaux qui tentent de caractériser le concept de démarche expérimentale et de le transposer dans l'enseignement (Devclay, 1989, Darley, 1996). Il faut cependant noter que la tâche de conception de protocole sur laquelle nous avons fondé notre travail est rarement mise en exergue dans la littérature traitant de la démarche expérimentale (Séré, 2002).

Le point principal de l'évaluation du logiciel Educafix.net concerne les apprentissages qui sont favorisés au cours du TP proposé. Nous devons tout d'abord différencier les apprentissages visés par les concepteurs des TP (Tiberghien, 2001) du fonctionnement intellectuel des étudiants réalisant les TP et les apprentissages corrélés (Séré et Beney, 1997). Afin de rentrer plus dans le détail des apprentissages spécifiques au TP Educafix.net, nous nous sommes attachés à décrire, sous forme de carte conceptuelle (Novak, 1988), les savoirs nécessaires à la réalisation du type de tâche demandé : déterminer la concentration d'une substance par spectrophotométrie. Dans notre carte, les savoirs ont été classés en deux catégories : savoirs théoriques et savoirs procéduraux ; de plus, les savoirs procéduraux peuvent avoir une composante méthodologique et/ou une composante gestuelle. Les savoirs

théoriques sont descriptifs, indépendants des usages et assez éloignés de l'action concrète. Ils représentent des faits et des principes. Les savoirs procéduraux consistent en une association entre des buts, des actions et des situations. Ils sont prescriptifs et spécifiques dans leurs usages. Les deux composantes des savoirs procéduraux que nous avons appelées "gestuelles" et "méthodologiques" correspondent d'une part, aux compétences perceptivo-gestuelles et d'autre part, à la conceptualisation des actions perceptivo-gestuelles (Vergnaud, 1996). Il faut noter que les savoirs gestuels n'interviennent que lors de l'exécution du protocole de manipulation ; pour la tâche de conception du protocole, seuls les savoirs théoriques et méthodologiques sont mis en œuvre.

La différenciation de ces types de savoirs permet de préciser à quels niveaux se font les évolutions dans la connaissance des apprenants ayant réalisé le TP Educaffix.net.



Savoirs théoriques et procéduraux à mettre en œuvre dans le TP Educaffix.net.
 Les flèches indiquent qu'un savoir est pré-requis par rapport à un autre savoir.

Questions de recherche

Deux questions de recherche ont fait l'objet d'une investigation. La première concerne l'évaluation de la capacité d'élèves de Terminale scientifique à concevoir un protocole expérimental cohérent par rapport au problème qui leur est soumis lorsqu'ils utilisent Educaffix.net. Il s'agit de repérer la nature des difficultés rencontrées, de manière à distinguer celles qui relèvent de la discipline elle-même de celles qui relèvent du contexte. Ainsi, les hypothèses peuvent elles s'énoncer comme suit :

Les difficultés rencontrées vont être liées :

- aux concepts mis en jeu ;
 - conceptions des élèves sur les notions en jeu,
 - contrat didactique lié à la tâche de conception de protocole ;
- à la déportation de la manipulation en temps et en lieu ;
- à l'ergonomie de l'interface.

La seconde question de recherche porte sur les apprentissages liés à la tâche de conception de protocole avec le logiciel Educafix.net. Au stade actuel de notre recherche, une seule hypothèse a été retenue et testée :

- la tâche de conception de protocole favorise les apprentissages de connaissances procédurales.

Méthodologie

Expérimentation

Deux expérimentations en classe ont eu lieu en février et mars 2004 avec 56 élèves, âgés de 17-18 ans, issus de deux classes de terminale S de deux lycées différents (Echirolles et Villefranche-sur-Saône). Les élèves ont travaillé, en binômes autonomes, à la conception d'un protocole expérimental en réponse au problème posé. Pour cela, ils ont utilisé, durant 1h30, le dispositif Educafix.net pour sa partie interface de conception de protocole. Les interventions des enseignants ont été limitées au maximum ; elles ont cependant été ponctuellement nécessaires en cas de blocage important dans la progression des élèves du fait de problèmes informatiques (plantage du logiciel), de problèmes de navigation à l'interface ou de problèmes liés à la compréhension des retours fournis par le tuteur artificiel. Le corpus qui a été obtenu au cours de ces expérimentations est le suivant :

- protocoles construits par les binômes après 1h30 de travail ;
- traces logicielles du cheminement des élèves dans le système Educafix.net ;
- enregistrements audio du dialogue des binômes et des interventions des enseignants.

Les protocoles construits, en tant que productions finalisées, permettent d'évaluer le niveau d'avancée des élèves pour la tâche qui leur a été assignée. Les traces logicielles et les enregistrements audio, donnent accès à l'historique du travail des élèves et par là même des indications précieuses sur les stratégies employées ainsi que sur la nature des difficultés qu'ils ont eu à surmonter.

En parallèle au travail sur le logiciel, un pré-test et un post-test "papier" ont été effectués quatre semaines avant et cinq semaines après l'expérimentation avec le logiciel. Ces deux tests ont pour fonction d'évaluer les connaissances des élèves avant l'expérimentation, ainsi que l'évolution de ces connaissances après l'expérimentation. Six questions ont été posées aux élèves, de façon identique dans le pré-test et post-test, pour connaître l'état de six connaissances procédurales : P1 à P6. Ces dernières sont formulées ci-dessous, avec la référence aux connaissances théoriques (T) sur lesquelles elles s'appuient, tel que défini dans la carte conceptuelle.

- Comment homogénéiser (P1) $\Leftrightarrow$ homogénéité (T2) $\Leftrightarrow$ concentration (T1)
- Comment diluer (P2) $\Leftrightarrow$ concentration (T1)
- Comment rincer (P3) $\Leftrightarrow$ concentration (T1)
- Comment choisir le domaine de concentration de la gamme étalon en fonction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert (P4) $\Leftrightarrow$ loi de Beer-Lambert (T5)

- Comment choisir la solution de référence (P5) $\Leftrightarrow$ additivité des absorbances (T3)
- Comment choisir la longueur d'onde de mesure (P6) $\Leftrightarrow$ spectre d'absorbance (T4)

De même, cinq questions ont été posées pour vérifier l'état des connaissances théoriques des élèves, supposées connues avant l'expérimentation. Il s'agit des connaissances théoriques T1 à T5, nécessaires à la construction des connaissances procédurales citées P1 à P6 :

- T1 : Concentration molaire : $C = n/V$
- T2 : Homogénéité : la valeur de la concentration est identique en toute partie d'un volume.
- T3 : Additivité des absorbances : l'absorbance d'un mélange est égale à la somme des absorbances des différents composants du mélange.
- T4 : Spectre d'absorbance : l'absorbance d'un composé varie de manière non aléatoire avec la longueur d'onde. Cela définit un spectre d'absorbance.
- T5 : Loi de Beer-Lambert, $A = \epsilon.l.C$ (ou $A = k.C$) : à une longueur d'onde donnée, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à sa concentration.

Méthodologie d'analyse

Les enregistrements obtenus lors du travail sur le logiciel ont été transcrits, et tout le corpus (protocoles construits, traces logicielles, enregistrements audio, pré-tests, post-tests) a été analysé suivant une grille faite à partir de nos hypothèses de recherche.

Pour la première question de recherche concernant les difficultés rencontrées par les élèves, les indicateurs recherchés se situent principalement dans l'historique des actions et dans les verbalisations des apprenants. Ces indicateurs permettent d'identifier les types de difficultés et notamment de faire apparaître les conceptions des élèves issues de notre analyse a priori. Si besoin, l'étude des réponses des élèves au pré-test et au post-test permet d'affiner notre analyse. Le tableau ci-dessous donne un aperçu de la grille utilisée pour analyser les difficultés des élèves.

Corpus	Indicateurs	Difficultés
- Traces logicielles - Réponses au pré-test	Rincer le matériel uniquement avec de l'eau	Conception : l'eau n'a pas d'influence sur le système chimique
- Traces logicielles - Enregistrements audio	Rincer l'aiguille avec la solution adéquate, une seule fois, avant l'ensemble des actions de dilution. Verbalisation faisant référence au contrat appliqué en classe	Contrat didactique non adapté à la méthode employée

Exemples d'indicateurs utilisés pour déterminer les types de difficultés rencontrées par les élèves.

Concernant la seconde question de recherche qui s'attache à déterminer les apprentissages liés à la tâche de conception de protocole, l'évolution des apprentissages testés est déterminée à partir de l'analyse des réponses au pré-test, des traces logicielles et des réponses au post-test. Des scores de réussite ont été attribués aux différentes réponses aux questions des pré-test et post-test afin d'évaluer l'acquisition des connaissances avant et après le travail sur le logiciel. Quant à l'évolution des connaissances procédurales au cours du travail sur le logiciel Educafix.net, elle est évaluée à partir des traces logicielles, en fonction de la réussite à certaines tâches de conception de protocole.

Résultats

Les résultats présentés ici sont issus des premières analyses réalisées sur notre corpus de données.

Le premier point à relever est que le système proposé aux élèves leur permet de réaliser la tâche de conception de protocole qui leur est demandée. En effet, sur les 28 binômes utilisateurs, 14 réussissent en 1h30 à concevoir un protocole qui va jusqu'à la dernière action nécessaire (mesure de l'absorbance de la solution de concentration inconnue). Sur ces 14 binômes, 7 proposent un protocole permettant d'obtenir un résultat expérimental valable (score total > 95 %).

Difficultés rencontrées par les apprenants

Les conceptions des apprenants peuvent être à l'origine de difficultés à concevoir le protocole. Lors de l'analyse a priori, nous avons proposé les conceptions regroupées dans le tableau ci-dessous.

Conception	Savoirs associés	Fréquence d'apparition
c1 : l'eau n'a pas d'influence sur le système chimique	T1 / P3	60 %
c2 : dans une solution, la concentration en soluté est homogène	T2 / P1	40 %
c3 : le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert est illimité	T5 / P4	45 %
c4 : la longueur d'onde n'a pas d'influence sur l'absorbance d'une solution	T4 / P6	15 %
c5 : l'eau en tant que solvant n'a pas d'influence sur l'absorbance de la solution	T3 / P5	20 %
c6 : la solution de référence est constituée de la solution mère	P5	45 %

Conceptions à l'origine de difficultés rencontrées par les élèves lors de la conception de protocole.

Les fréquences d'apparition indiquées dans le tableau des conceptions correspondent aux pourcentages de binômes d'étudiants chez lesquels nous avons pu détecter les indicateurs qui ont été définis a priori comme étant révélateurs de la conception correspondante. Ces indicateurs ont été principalement recherchés dans les traces logicielles, mais aussi dans les verbalisations et dans les réponses au pré-test.

Certaines difficultés peuvent être engendrées par l'application du contrat didactique en vigueur dans la classe à la situation Educaffix.net. Ce point concerne principalement les aspects de rinçage : le logiciel demande à ce que le matériel soit rincé avec un produit adapté avant utilisation (par exemple, rincer une aiguille de prélèvement avec la solution qui va être prélevée, pour ne pas modifier la concentration de la solution). Le contrat didactique en vigueur en classe, tel que déterminé lors d'un entretien avec les enseignants, est très différent : le matériel est généralement considéré comme propre et sec avant utilisation, et un lavage à l'eau est demandé après utilisation du matériel. Le rinçage préalable du matériel est donc une action qui n'est pas spontanément spécifiée par les élèves lorsqu'ils conçoivent leur protocole. Cette difficulté doit probablement être renforcée par le fait que la manipulation est déportée en temps et en lieu : l'éloignement du matériel utilisé ne favorise pas la réflexion concernant son utilisation adéquate.

Une difficulté qui a été rencontrée par une grande partie des élèves (45 % des binômes) concerne le choix de la longueur d'onde pour effectuer les mesures d'absorbance. Il faut noter que la procédure à utiliser (acquérir un spectre et choisir la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorbance λ_{Amax}) n'a pas été traitée de manière approfondie au cours des enseignements de chimie de terminale suivis. La difficulté est importante dans le sens où elle a pu bloquer l'avancement du travail des binômes durant de longues périodes. Nous expliquons cette importance par le fait que la manipulation est déportée en temps. En effet, les élèves doivent spécifier une action de protocole qui leur permet d'obtenir un résultat expérimental (λ_{Amax}) qui servira à spécifier les actions de protocole concernant les mesures d'absorbance. Cet aller-retour entre l'activité de conception de protocole et l'acquisition des résultats expérimentaux est délicat à anticiper pour les élèves.

Le dernier point pouvant générer des difficultés et que nous avons proposé dans nos hypothèses est lié à l'ergonomie de l'interface. Les résultats obtenus montrent que ce type de difficulté apparaît de temps à autre, mais qu'il est vite surmonté par les élèves et qu'il n'est pas un frein important à la conception du protocole.

Après cette première analyse, nous pouvons donc dire que les sources de difficultés pour les apprenants se situent principalement à trois niveaux : (i) les connaissances mobilisées à mauvais escient pour résoudre un problème (conceptions, contrat didactique) ; (ii) les contraintes liées à l'utilisation d'un robot manipulateur à distance (matériel différent du matériel habituel et non accessible physiquement aux élèves) ; (iii) la tâche de conception de protocole qui fait appel aux capacités d'anticipation des étudiants, et notamment l'utilisation de résultats expérimentaux à venir pour pouvoir spécifier certaines actions du protocole.

Apprentissages liés à la tâche de conception de protocole

L'hypothèse proposée pour cette question de recherche établit que la tâche de conception de protocole devrait favoriser les apprentissages de connaissances procédurales.

Les résultats obtenus à partir des pré-tests et post-tests, montrent l'évolution des connaissances théoriques et procédurales des élèves. Il apparaît que les connaissances théoriques sont pour la plupart acquises par les apprenants dès le pré-test (score global pour toutes les connaissances théoriques et pour tous les élèves de 61 %). On observe une légère augmentation du score global concernant les connaissances théoriques au niveau du post-test (70 % soit +9 %). Pour les connaissances procédurales, leur acquisition au niveau du pré-test est moins importante (score global de 54 %) mais leur évolution est plus forte comme indiqué par le résultat du post-test (72 % soit + 18 %).

Au cours du travail sur le logiciel Educafix.net, il y a une évolution positive (+7 % à +67 %) de la réussite aux tâches nous servant d'indicateurs pour l'acquisition de chaque connaissance procédurale. Il semble donc que l'acquisition des connaissances procédurales des élèves est bien favorisée par le travail de conception de protocole et que cet apprentissage a lieu lors de la résolution des problèmes pratiques liés au protocole, à l'aide du logiciel et, plus particulièrement, à l'aide des retours du tuteur artificiel.

Ces premiers résultats concernant les apprentissages réalisés sont maintenant à approfondir, notamment en essayant de mettre en évidence la réalité de l'apprentissage (en opposition à une stratégie type essai-erreur qui pourrait être envisagée) et le mécanisme de l'apprentissage des connaissances procédurales. Nous envisageons de tester l'hypothèse selon laquelle l'apprentissage des connaissances procédurales se fait par la mise en relation de connaissances théoriques avec des problèmes liés à la tâche à réaliser. Afin de tester cette hypothèse, nous projetons de rechercher dans les enregistrements audio, des verbalisations de binômes qui

explicitent un lien entre des connaissances théoriques et des éléments du problème expérimental.

Bibliographie

ARCE Josefina et BETANCOURT Rosa, novembre 1997, "Student-designed experiments in scientific lab instruction", *Journal of College Science Teaching*, n°27(2), pp. 114-118.

D'HAM Cédric, DE VRIES Erica, GIRAULT Isabelle et MARZIN Patricia, décembre 2004, "Exploiting distance technology to foster experimental design as a neglected learning objective in labwork in chemistry", *Journal of Science Education and Technology*, n°13(4), pp. 425-434.

DARLEY Bernard, décembre 1996, "Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2^{ème} année", *Didaskalia*, n°9, pp. 31-56.

DEVELAY Michel, 1989, "Sur la méthode expérimentale", *Aster*, n°8, pp. 3-15.

HMELO Cindy E., HOLTON Douglas L. et KOLODNER Janet L., 2000, "Designing to learn about complex systems", *The Journal of the Learning Sciences*, n°9(3), pp. 247-298.

NOVAK, Joseph D., 1988, "Learning science and the science of learning", *Studies in Science Education*, n°15, pp. 77-101.

SERE Marie-Geneviève, septembre 2002, "Towards renewed research questions from the outcomes of the European project labwork in science education", *Science Education*, n°86(5), pp. 624-644.

SERE Marie-Geneviève et BENEY Michel, décembre 1997, "Le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant des expériences : observation de séances de travaux pratiques en premier cycle universitaire scientifique", *Didaskalia*, n°11, pp. 75-102.

TIBERGHIEEN Andrée, VEILLARD Laurent, LE MARECHAL Jean-François, BUTY Christian et MILLAR Robin, septembre 2001, "An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries", *Science Education*, n°85(5), pp. 483-508.

VERGNAUD Gérard, 1996, "Au fond de l'action, la conceptualisation", in : Jean-Marie Barbier (coord.), *Savoirs théoriques et savoirs d'action*, Paris, PUF, pp. 275-292.

WHITE Richard T., 1996, "The link between the laboratory and learning", *International Journal of Science Education*, n°18(7), pp. 761-773.

La dimension expérimentale en mathématique : mythe ou réalité ?

DIAS Thierry, formateur associé IUFM de Lyon, LIRDHIST Lyon 1, Lyon, France

Introduction et cadre théorique

Plus personne ne conteste aujourd'hui que le savoir tout autant que le doute sont les éléments constitutifs de la science. Il en va de même quant au rôle déterminant de l'expérimentation dans la construction des connaissances scientifiques. En revanche, la question de savoir si les mathématiques comportent ou non une dimension expérimentale reste ouverte et d'actualité. Dans notre travail de recherche, nous abordons cette question dans le cadre de l'étude des phénomènes de construction et de diffusion des savoirs scientifiques dans ce qui relève des disciplines elles-mêmes, à partir d'une initiation aux techniques et théories propres aux deux domaines que sont la didactique et l'épistémologie des sciences. Il s'agit aussi d'une étude des modèles de fonctionnement des connaissances en situation de résolution de problèmes.

Pour cette étude, nous faisons référence essentiellement à la notion de milieu adidactique dans la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1990, 1998). C'est le milieu dans ses dimensions matérielles (matières, instruments, organisation spatiale et temporelle) et symboliques avec lequel les élèves sont amenés à agir durant la situation d'enseignement qui constitue notre définition référente. Nous nous interrogerons plus précisément sur l'étude des conditions et des caractéristiques du milieu pouvant être considéré comme celui d'une situation expérimentale en référence aux travaux de Bloch (2001). A travers cela, il s'agit bien d'interroger encore les relations entre mathématiques et réalité qui se doivent d'être expérimentales, comme nous le rappelle Chevallard (2004) :

"En quelques décennies, l'idée a été expulsée de la mathématique scolaire qu'elle est un outil pour penser le réel... les objets sur lesquels éprouver une construction mathématique ont été peu ou prou chassés de l'univers culturel et intellectuel de l'enseignement, si bien qu'on entretient au mieux un commerce purement théorique, et non pas expérimental, avec les constructions mathématiques essentielles. Or l'absence d'expérience affecte le sens de la théorie".

Question de recherche

Une de nos hypothèses de recherche est que le savoir de l'élève (à la manière du savoir scientifique) se construit en interaction synergique entre les idées (développement d'hypothèses) sur l'action et le fonctionnement d'un objet ; et sur la formulation langagière. C'est dans ce contexte que nous nous posons la question de la dimension expérimentale au-delà de la construction des savoirs dans les disciplines scientifiques empiriques. En effet, le concept "d'expérience" bien que traditionnellement rattaché aux disciplines des sciences de la matière et du vivant, caractérise d'une façon plus générale la démarche scientifique celle qui consiste à *mettre des hypothèses à l'épreuve des faits* (Hacking, 1989). Il nous paraît ainsi légitime d'interroger la notion d'expérimentation tant dans sa dimension sémantique au sein des programmes d'enseignement que comme un processus intégré dans la construction et la diffusion des savoirs scientifiques.

Méthodologie

La question du rapport entre mathématiques et réalité est consistante en ce qui concerne l'enseignement de cette discipline comme nous le verrons d'une part, en rappelant que cette question a déjà été posée explicitement il y a près de cinquante ans, d'autre part en explorant la place faite à l'expérimentation en mathématique dans les programmes de l'enseignement primaire et secondaire français actuellement en cours. Nous essaierons dans un premier temps d'interroger la signification de l'expérience et de l'expérimentation au travers de la lecture de ces programmes. Dans une deuxième partie, nous essayerons d'apporter des éléments de réponses à la question centrale de notre étude : peut-on parler d'une confrontation à la réalité dans l'activité mathématique ? Nous nous appuierons pour cela sur l'étude comparée de deux démarches d'apprentissage provenant de disciplines différentes, afin de dégager un certain nombre de caractéristiques concernant le rapport à la réalité dans l'activité mathématique. Cette confrontation au réel étant envisagée au sein d'un processus d'expérimentation. Il sera alors question de déterminer les premiers apports de cette recherche en terme de caractérisation d'un milieu didactique de type expérimental.

La place de l'expérimentation en mathématiques dans les programmes d'enseignement

Une brève apparition des travaux pratiques en mathématiques

La question de la dimension expérimentale en mathématiques n'est pas nouvelle chez les concepteurs de programmes comme Assude (2002) nous le rappelle en mettant en lumière un épisode un peu *oublié* de l'enseignement des mathématiques. En 1957, il fut en effet question d'une introduction généralisée de Travaux Pratiques dans les classes de Sixième et de Cinquième. Les extraits des Instructions officielles citées par l'auteur, témoignent d'une réponse positive à la question de la dimension expérimentale en mathématiques :

"Observation et expérimentation : s'agit-il vraiment d'aligner les mathématiques sur les autres disciplines ? Il n'est pas douteux qu'au départ, dans l'élaboration de toutes les sciences, les démarches intellectuelles sont de même ordre ; une discrimination intervient après, lorsque le mathématicien ayant créé des êtres de raison, va s'efforcer d'en étudier les propriétés. Mais son travail n'a de valeur profonde que si sa construction, toute abstraite qu'elle soit, prend solidement appui sur le réel, si elle est capable de le rejoindre et de s'y adapter dans une large mesure." (cité in Assude, 2002)

L'introduction des Travaux Pratiques en Mathématiques a été soutenue à l'époque par l'Association des Professeurs de Mathématiques et en particulier par son président Gilbert Walusinski, ainsi que par des mathématiciens de renom comme Maurice Fréchet ou Jean Leray.

Expérience et expérimentation dans les programmes français en cours

L'étude de la place de l'expérimentation à travers la lecture critique des instructions et programmes de mathématiques et de l'enseignement scientifique à l'école et au collège, vise à mettre en évidence la manière dont les concepteurs des programmes d'enseignement ont intégré ce point de vue notamment dans le cadre des préconisations relevant du champ des mathématiques.

Il apparaît désormais clairement qu'il faille mettre en évidence le rôle de la controverse scientifique même en mathématiques. Il pourra s'agir par exemple de la découverte des domaines de validité de certaines règles et ou définitions.

Les programmes de l'école maternelle : découvrir le monde

À l'école maternelle, les programmes¹ ne comportent pas de *chapitre* "mathématiques". Les compétences à développer dans cette discipline font partie d'un domaine intitulé : *découverte du monde*. On peut interpréter ce choix comme une volonté plus ou moins explicite de lier objets d'enseignement mathématiques et réalité environnante de l'élève. L'expérience dont il est question dans les programmes d'enseignement de l'école maternelle est d'abord qualifiée d'immédiate. Elle est présentée comme une phase ludique de tâtonnements, une démarche qui donne la priorité aux sensations précédant les perceptions. Toutes les expériences du sujet apprenant sont alors "proclamées" sources d'interrogation. C'est de leur récit a posteriori que doit naître leur structuration puis leur compréhension.

Par ailleurs, dès ce niveau d'apprentissage, on conseille particulièrement aux enseignants de développer des démarches de type "résolution de problème". Les situations d'apprentissage doivent donc comporter une part énigmatique ou pour le moins questionnante. Il est en effet envisageable que la seule sensation ne soit pas toujours source d'interrogation chez le jeune élève et qu'il faille donc chercher à la dépasser. L'enjeu de cet enseignement scientifique se situe dans le développement des compétences de l'élève à développer une nouvelle représentation du monde dans lequel il vit. Une représentation moins immédiate et moins subjective, s'appuyant sur des expériences personnelles sensibles expliquées et verbalisées donc par les échanges et l'entrée dans l'écrit

Les programmes de l'école élémentaire au cycle 2 : les mathématiques comme modèles

Au cycle 2, les mathématiques "quittent" le domaine de la *découverte du monde*. Le programme² insiste beaucoup sur la nouveauté du *champ d'expériences* qu'elles procurent désormais à l'élève. Le *nouveau champ d'expérience* dont il est question semble résider dans la possibilité pour l'élève d'utiliser les mathématiques comme *modèles*. Cette activité de modélisation détermine la construction d'un *nouvel univers* pour l'élève. Ce dernier apprend ainsi à ne plus s'en tenir à une simple perception du monde. Les pratiques mathématiques sont ici identifiées par l'emploi de quelques outils très primitifs (*un crayon et une règle...*) Ceci détermine vraisemblablement un nouveau point de vue épistémologique : les objets mathématiques sont au service de la modélisation du réel et non plus seulement des outils aidant à la perception.

Les expériences à mener peuvent être envisagées sur des objets mathématiques et plus seulement sur des matériaux du réel. Ici se situe donc le principal changement en terme de sémantique du mot expérience, et de son utilisation dans le champ spécifique des mathématiques. L'expérimentation sur des objets non réels est envisageable afin de favoriser un questionnement lui-même au service d'une meilleure représentation car enrichie par cette mise en mots qui permettra l'élaboration de premiers énoncés argumentatifs. Les étapes successives (essais/erreurs) qui jalonnent ce processus doivent conduire à des réponses *sans matériel*. Ce sont désormais les propriétés des objets qui doivent sous-tendre le questionnement de l'élève dans sa pratique mathématique. Cependant les textes insistent encore sur la nécessité de réaliser effectivement des expériences sur des objets réels. Cette démarche étant surtout destinée à étayer les difficultés rencontrées par les élèves dans la représentation des situations, mais aussi à contrôler les anticipations. L'activité dite mathématique n'est cependant pas seulement assimilée à de simples opérations de manipulation associées à leur verbalisation. Elle est qualifiée d'*intellectuelle* tout en continuant de prendre sa source dans des expériences questionnantes.

¹ Qu'apprend-on à l'école maternelle ? Les nouveaux programmes, CNDP/XO Editions, 2002

² Qu'apprend-on à l'école élémentaire ? Les nouveaux programmes, CNDP/XO Editions, 2002

Les programmes de l'école élémentaire au cycle 3 : la résolution de problèmes

Les programmes³ concernant le cycle 3 de l'école élémentaire mettent essentiellement l'accent sur la démarche d'apprentissage par résolution de problèmes. Elle est présentée comme l'activité centrale en mathématiques. Elle est au service de la production du sens des connaissances mathématiques. Ce point de vue s'accompagne d'un classement des mathématiques au sein d'un domaine plus général intitulé : ***Education scientifique***. Ainsi les mathématiques semblent destinées à servir d'outils au service des autres domaines scientifiques eux-mêmes résolument orientés vers une démarche expérimentale⁴.

L'ensemble de ce texte concourt surtout à une volonté de désenclaver les mathématiques d'une abstraction et d'une formalisation dont elles sont souvent victimes. Il s'agit de convaincre les enseignants de l'école primaire que les compétences à acquérir dans cette discipline sont indispensables pour une bonne intégration des individus *dans la vie courante*. Ainsi les objets qui en sont les enjeux sont-ils énoncés comme en lien direct avec le réel : acquérir des connaissances en mathématiques permet d'améliorer la confrontation avec la réalité du monde et ses nombreuses situations problématiques.

Les programmes du collège : la démarche scientifique

Les programmes du collège pour la 6^e

Dans le texte officiel l'activité mathématique est à nouveau qualifiée de *véritable*, et ceci grâce à ses composantes d'incertitude et d'indécision (le vrai pouvant être ici assimilé au réel sensible dans tout ce qu'il comporte d'aléatoire et de surprenant). Cette activité est clairement définie dans l'énoncé suivant :

identifier un problème, conjecturer un résultat, expérimenter sur des exemples, bâtir une argumentation, mettre en forme une solution, contrôler les résultats obtenus et évaluer leur pertinence en fonction du problème étudié.

On peut dès lors observer que l'expérimentation est citée comme partie prenante de l'activité mathématique d'un élève. Le choix du mot *expérimentation* (et non pas de celui d'*expérience*) semble corrélé à la forte préconisation faite aux enseignants : *entraîner les élèves à la pratique d'une démarche scientifique*. L'enjeu de cette formation étant annoncée comme celle du citoyen et qui dépasse donc très largement celle de l'élève. Développer des compétences dans le domaine de l'expérimentation étant alors défini (toujours dans le texte officiel) comme l'apprentissage du raisonnement, de l'imagination et de l'analyse critique.

Programmes du collège : cycle central, 3^e

Les objectifs généraux et l'organisation de l'enseignement des mathématiques décrits pour le programme de 6^e demeurent identiques pour le cycle central du collège. Cependant, il faut noter qu'apparaît dans le texte officiel et à ce niveau, la notion d'*étude expérimentale*⁵. Il est ajouté qu'elles ne doivent pas être confondues avec les démonstrations. Cette dichotomie entre expérimentation et démonstration est énoncée comme une mise en garde : il faut distinguer conjecture et théorème. Les programmes du cycle central du collège font en effet une place importante à l'apprentissage de la démonstration. Or il reste primordial de privilégier le recours à la démarche expérimentale dans la construction des connaissances pour les élèves de cette classe d'âge. Il s'agit donc de mettre les élèves en situation d'utiliser deux démarches complémentaires : la démarche inductive s'appuyant pour partie sur l'expérimentation et la démarche déductive propre à la démonstration. L'expérimentation doit entraîner peu à peu

³ Qu'apprend-on à l'école élémentaire ? Les nouveaux programmes, CNDP/XO Editions, 2002

⁴ Documents d'application des programmes Mathématiques cycle 3 page 5 : L'articulation avec d'autres domaines de savoir.

⁵ *les études expérimentales (calculs numériques, avec ou sans calculatrices, mesures, représentations à l'aide d'instruments de dessin, etc.) permettent d'émettre des conjectures et donnent du sens aux définitions et aux théorèmes.*

l'élève vers la pratique d'une activité mathématique ne s'appuyant plus seulement sur la certitude des théorèmes, mais sur la formulation de conjectures, donc de l'apparition du doute.

Un court détour par les programmes⁶ de l'enseignement scientifique à l'école

Les bases de la pensée scientifique sont abordées dès l'école maternelle au sein de laquelle les élèves doivent apprendre à *dépasser leur expérience immédiate* en interrogeant les manipulations effectuées. À l'école élémentaire on demande aux enseignants de consolider les capacités à raisonner en élargissant le champ des expériences. Les élèves doivent dépasser leur expérience immédiate et leurs représentations initiales en se confrontant au réel et en établissant des relations entre les phénomènes. Il s'agit de mettre en œuvre la démarche d'investigation, une pratique de la science en tant qu'action, interrogation, investigation, expérimentation et construction collective. On peut ici⁷ constater le rapprochement assez incontestable avec la définition de l'activité mathématique faite auparavant : chercher, abstraire, raisonner et expliquer. Seule la notion de raisonnement semble en retrait dans les textes de l'enseignement scientifique. Elle semble assombrie pour partie par l'activité de manipulation qui reste un enjeu déterminant dans la démarche expérimentale telle qu'elle est définie en appui sur le projet "La main à la pâte". Dans ces deux champs disciplinaires, (mathématiques et sciences dites expérimentales) il est bien question d'initier les élèves à une activité de recherche. Celle-ci est ancrée sur des problèmes proposés dans des situations pour lesquelles un milieu spécifique est créé par l'enseignant. Ce milieu de type antagoniste sollicite l'observation, le questionnement, la modélisation et l'abstraction mais aussi le recours à l'utilisation de la langue. Il est en effet facteur de contradictions, de difficultés, de déséquilibres qui doivent provoquer un apprentissage par adaptation. L'expérimentation est une démarche privilégiée mais n'exclut pas le recours aux connaissances déjà instituées. La démarche d'investigation en sciences et celle de la résolution de problème en mathématiques sont présentées toutes les deux comme essentielles.

Comparaison de deux démarches d'apprentissage en utilisant l'expérimentation, en mathématiques et en sciences

Les savoirs et connaissances mathématiques peuvent constituer un moyen de maîtriser les phénomènes de la réalité grâce notamment au recours à l'expérimentation au sens de l'expérience-outil⁸ ou expérience-validation telle que la définit Coquidé (2003). Contrairement à ce qui se passe de plus en plus en sciences expérimentale, la dimension expérimentale en mathématiques est peu présente dans les classes et ce malgré les injonctions institutionnelles. Cependant un dispositif né "à la marge" du système éducatif, Maths en Jeans, existe depuis 1989 et fait de timides apparitions en classe, en lien avec des recherches qui sont conduites en didactique des maths pour l'intégration de situations de recherches en classes, en particulier au sein de la composante SIRC (situation de recherche en classe) de l'ERTé maths à modeler⁹.

⁶ Documents d'application des programmes, Enseigner les sciences à l'école, CNDP, 2002

⁷ Enseigner les sciences c'est permettre aux élèves de se construire un premier niveau de représentation objective par l'observation puis le raisonnement... L'enseignant(e) sélectionne une situation de départ qui focalise la curiosité des élèves, déclenche leurs questions... Il amène à sélectionner les questions qui se prêtent à une démarche constructive d'investigation prenant en compte le matériel disponible et débouchant sur la construction des savoir-faire, des connaissances et des repères culturels prévus par les programmes. Qu'apprend-on à l'école élémentaire, Les nouveaux programmes page 243.

⁸ Expérience-outil ou expérience-validation sont des expériences pour conceptualiser, modéliser; elles permettent de construire des concepts par la résolution de problèmes.

⁹ <http://www.leibniz-imag.fr/MAM/sirc.php/>

L'expérience "Maths en Jeans"¹⁰

MATh-en-JEANS inaugurerait en 1989 une nouvelle manière de faire des mathématiques (et de faire faire des mathématiques) en remplaçant la démarche scientifique au cœur de l'activité mathématique, en faisant des savoirs mathématiques un enjeu de questionnement, d'enquête, de formulation, de recherche, de débat et de validation. Cette expérience menée d'abord dans l'enseignement secondaire, est basée sur un dispositif de jumelage d'établissements. L'enjeu principal et novateur étant de provoquer une attitude différente face au "*non-savoir*" : celle du chercheur et donc de la méthodologie de la recherche. Le rôle de l'enseignant devient alors celui de l'assistant (du chercheur donc de l'élève) au service de l'avancée des investigations expérimentales des élèves. Cet assistant "de luxe" peut donc consacrer toute sa vigilance et son savoir faire à l'aménagement d'un milieu riche et propice aux constructions des savoirs scientifiques. L'objectif premier de ces situations de recherche en classe est la production de réponses à des questions (Grenier, 2000). Les invariants de ces situations sont les éléments d'un triplet : question, conjecture, preuve. Le choix de la question initiale (l'énigme) est donc primordiale. Elle conditionne l'accès à des savoirs et connaissances mis en jeu dans les situations de recherche. Les objets mathématiques sont dans cette perspective, convoqués dans la formulation des conjectures, dans les tentatives de modélisation des énigmes mais aussi dans le maniement de la preuve. Les caractéristiques de la démarche expérimentale se retrouvent donc ici réunies, d'autant qu'il est très souvent permis aux élèves de mettre en acte leurs hypothèses par des activités manipulatoires sur du matériel apporté dans la situation ou construit par eux au cours de l'investigation. Ces types de situations permettent aux élèves d'évaluer seuls la réussite ou l'échec de leurs actions, de recommencer aussi souvent que cela s'avère nécessaire en prenant appui sur la pertinence ou non des démarches et stratégies mises en œuvre, et enfin, de formuler oralement un certain nombre d'hypothèses puis d'arguments. L'ensemble correspond assez bien aux caractéristiques d'une situation décrite dans la théorie des situations didactiques.

Le projet "La main à la pâte"

Présentation de la méthode

*La démarche préconisée par La main à la pâte privilégie la construction des connaissances par l'exploration, l'expérimentation et la discussion. C'est une pratique de la science en tant qu'action, interrogation, investigation, construction collective qui est visée et non pas l'apprentissage d'énoncés figés à mémoriser.*¹¹

L'opération "la main à la pâte" est importée en France d'une expérience Nord Américaine menée à Chicago dans une banlieue défavorisée. L'application des principes cités plus haut ayant conduit à une réussite spectaculaire des apprentissages scientifiques dans le contexte spécifiquement américain. Vigoureusement soutenue par deux prix Nobel de physique et accompagnée par de substantiels crédits aux Etats Unis, cette expérience se traduit en France par une volonté forte de la noosphère d'en intégrer les enjeux dans les textes relatifs à l'enseignement des sciences à l'école primaire. Cette volonté des instances institutionnelles s'accompagne de nombreuses aides et ressources pour les enseignants. La démarche pédagogique préconisée est bâtie sur une charte en 10 principes. Le rôle de l'enseignant y est principalement orienté vers l'aménagement du milieu des situations proposées afin de solliciter une investigation dite *raisonnée*. Un milieu somme toute assez proche de celui décrit comme antagoniste par Fregona (1995) à propos du modèle de milieu adidactique décrit par

¹⁰ **Math-En-Jeans** : Méthode d'Apprentissage des Théories Mathématiques en Jumelant des Etablissements pour une Approche Nouvelle du Savoir : <http://www.mjc-andre.org/pages/amcj/accueil.htm>

¹¹ <http://www.inrp.fr/lamap/>

Brousseau. En effet, il s'agit bien pour les élèves d'interagir avec lui dans les phases d'investigation comme dans celles d'expérimentation. Un contexte d'interaction qui concerne spécifiquement la tâche proposée à l'enfant, les ressources mises à sa disposition ainsi que les stratégies d'action qu'il peut mettre en oeuvre.

De quels objets scientifiques est-il question ?

Les principes fondateurs de la méthode énoncent clairement l'action d'expérimentation comme un incontournable dans le processus de construction des connaissances scientifiques. En revanche, il est légitime de s'interroger sur les objets de la recherche dont parlent les auteurs. En effet, ils sont d'abord cités comme des réalités concrètes et objectives (une chose palpable, un organisme vivant singulier) mais aussi comme des *phénomènes* (naturels, physiques). Puis, dans la description de l'activité de l'enfant, on envisage que l'objet d'investigation puisse aussi être une *question d'élève*. Une idée, un énoncé de conjecture étant alors assimilé à un objet appartenant au monde sensible. Ce questionnement initial est même présenté parfois comme la principale innovation par rapport à la démarche scientifique OHERIC¹² plus ancienne. , le démarquage résidant dans les places respectives de l'observation et de l'hypothèse.

Résultats et discussion : le statut de l'expérimentation dans les deux démarches scientifiques

La comparaison de ces deux "dispositifs pédagogiques" que sont la résolution d'un problème de recherche en mathématique et la démarche d'investigation en sciences nous conduit à la l'analyse suivante. S'inspirant d'objectifs et d'approches similaires, les deux dispositifs pédagogiques diffèrent pourtant sur quelques points essentiels. On peut citer notamment des divergences concernant le cadrage du questionnement scientifique, mais aussi sur la nature des objets de la recherche. En revanche, ces deux démarches se rejoignent concernant le rôle assigné à l'expérimentation. Le recours à une phase expérimentale fait en effet partie intégrante du processus de construction des connaissances dans un cas comme dans l'autre. Les milieux dans lesquels prennent place les situations sont organisés et constitués pour provoquer le recours à l'usage de l'hypothèse, de la conjecture. Ce questionnement engendre alors une phase d'action qui se caractérise par le développement de pratiques expérimentales. Les connaissances en jeu dans les situations proposées sont insuffisantes a priori pour une résolution rapide du problème. Les élèves doivent utiliser tous les paramètres du milieu pour construire des protocoles dont ils peuvent espérer obtenir des résultats. Les éléments qui servent à la création de ces protocoles expérimentaux sont de plusieurs natures. Il s'agit tout d'abord du partage des connaissances entre chaque "chercheur" de l'équipe, ce qui implique pour l'enseignant de favoriser les interactions verbales. Ces moments de débats et d'argumentation, d'abord spontanés puis plus construits car plus cadrés (lors des préparations de colloque ou autres rencontres) permettent à chaque élève de dépasser son propre niveau de compétence, de connaissances. Un deuxième élément du milieu est le recours à l'essai, la tentative représentée par la conception d'une expérience matérielle ou symbolique comme modélisation de l'hypothèse ou de la conjecture formulée. La garantie de l'aboutissement de cette série d'actions et de manipulations s'appuie sur un autre élément du milieu : les savoirs et connaissances de l'enseignant. Certes ce dernier est cantonné dans un rôle de témoin, mais sa principale mission est de garantir l'avancée du temps didactique. Il sert donc de rétroaction permanente avec les équipes de chercheurs et permet l'accès progressif aux savoirs en construction. On peut remarquer ici une différence notable entre l'expérience Math-en-Jeans qui va jusqu'à concevoir que les savoirs en jeu ne sont pas préexistants à la recherche avec la position des savoirs scientifiques "déjà là" dans les séquences modulaires de la démarche "Main à la pâte". Le dernier élément constitutif d'un milieu de type expérimental tel qu'il est

¹² OHERIC : Observation, Hypothèse, Expérience, Résultats, Interprétation, Conclusion

suggéré dans les deux dispositifs est le statut donné à la preuve. Dans la démarche d'investigation c'est l'enseignant qui assure la médiation au savoir scientifique. Il endosse personnellement la connaissance ou fait appel à un élément extérieur (scientifique local ou ouvrage documentaire). Ainsi peut-on dire que les expériences ne sont pas des preuves expérimentales d'une hypothèse émise mais il s'agit peut-être d'entrer dans un processus de construction d'une preuve. Les connaissances découvertes sont plutôt soumises à une validation externe et différée. En mathématiques les élèves impliqués dans une situation de recherche type Math-en-Jeans sont eux aussi en mesure de mener des expérimentations. Ils utilisent pour ce faire un matériel de type symbolique ou même réel et palpable. Les expériences conduites tentent d'apporter des preuves locales aux conjectures émises. Ces preuves de type expérimentales sont fortement contextualisées dans un domaine de validité restreint, elles sont donc évidemment éloignées d'un processus de démonstration.

Conclusion

En réponse à la question initiale de cette étude, il semble que la principale différence entre mathématiques et sciences de l'empirie¹³ se situe plus au niveau de la nature des objets sur lesquels portent les expérimentations que sur la dimension expérimentale de chacune de ces disciplines. Les démarches d'appropriation des savoirs scientifiques (préconisées ou mises en œuvre) utilisant le recours expérimental ne se cantonnent pas au seul champ des sciences empiriques (idem), les mathématiques n'en sont pas exemptes. Les textes des programmes d'enseignement présentés laissent à penser que les objets d'enseignement scientifiques sont réels et sensibles donc manipulables ou observables avec des instruments; alors qu'en mathématiques les expériences se font sur des idées et par la formulation de conjectures. Certes cette analyse peut paraître simpliste, mais elle témoigne d'une certaine robustesse historique tendant à la *monumentalisation* (Chevallard, 2004) :

Ce processus de monumentalisation perturbe l'épistémologie scolaire des mathématiques en modifiant l'idée de ce qu'elles sont, et change la pratique dans les classes en expulsant le souci de les faire apparaître comme outil d'intervention sur le réel.

Cette distinction s'accroît avec le projet d'enseignement des sciences intitulé "La main à la pâte" dont les intentions empiriques s'affichent très clairement. On peut cependant remarquer que le statut des objets mathématiques reste relativement peu déterminé dans les programmes étudiés et ce même au niveau de l'enseignement du second degré. Ainsi, même si les activités de type expérimental sont possibles en mathématiques, la question principale concerne bien le statut des objets et les relations entre mathématiques et réalité (Gonseth, 1974). Il reste à débattre sur le rôle de l'expérience dans l'enseignement des mathématiques comme médiateur nécessaire au dialogue du sujet avec les objets. En classe, ce dialogue est rendu visible dans la pratique mathématicienne du sujet par des mises en mots et en actes et dans les nombreux allers-retours objet réel/théorique. Nous faisons l'hypothèse que cet espace de signification est de type expérimental puisqu'il s'agit pour le sujet de questionner le *réel* à partir d'une théorie en construction issue d'expériences sensibles problématiques permettant de faire des prédictions sur le *réel*. Un *réel* dont il est clair qu'il est évidemment *construit* par le professeur, ou le chercheur, qui organise la situation. Des travaux de recherche en cours autour des solides de Platon mettent à l'épreuve cette hypothèse.

¹³ Gilles-Gaston GRANGER dans son ouvrage "La science et les sciences" propose une dichotomie entre les sciences formelles (mathématiques) et les sciences de l'empirie fondées sur l'expérimentation.

Références

- ASSUDE Teresa, 2002, "Travaux pratiques au collège ? Conditions et contraintes d'émergence et de vie d'un dispositif", in M. Bridenne (eds) *Nouveaux dispositifs d'enseignement en mathématiques dans les collèges et les lycées*, IREM de Dijon.
- BLOCH Isabelle, 2001, "Différents niveaux de modèles de milieu dans la théorie des situations", *Actes de la 11ème école d'été de Didactique des Mathématiques*, La Pensée Sauvage.
- BROUSSEAU Guy, 1990, "Le contrat didactique : le milieu", *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Grenoble, La pensée sauvage, Vol. 9.3, pp. 309-336
- BROUSSEAU Guy, 1998, *Théorie des situations didactiques*, Grenoble, La pensée sauvage
- CAVAILLES Jean, 1994, *Œuvres complètes de philosophie des sciences*, B. Huisman éd., Paris, Hermann
- CHEVALLARD Yves, 2004, "Pour une nouvelle épistémologie scolaire", *cahiers pédagogiques*, Paris, CRAP, n°427, pp. 34-36.
- COQUIDE Maryline, 2003, "Le rapport expérimental au vivant", *Actes du séminaire de travail du PREMST*, IUFM de Lyon
- CONNE François, 1999, "Faire des maths, faire faire des maths, regarder ce que ça donne", in *Le cognitif en didactique des mathématiques*, Les Presses de l'Université de Montréal
- DIAS Thierry, DURAND-GUERRIER Viviane, (à paraître) "Expérimenter pour apprendre en mathématiques", *Repères IREM*, Mctz, Topiques, n°60
- FREGONA Dilma, 1995, *Les figures planes comme "milieu" dans l'enseignement de la géométrie: interactions, contrats et transpositions didactiques*, Thèse de l'Université de Bordeaux I, diffusion LADIST Bordeaux.
- GONSETH Ferdinand, *Les Mathématiques et la réalité. Essai sur la méthode axiomatique*, Paris, Albert Blanchard, 1974.
- GRENIER Denise, PAYAN Charles, 2002, "Situations de recherches en classe : essai de caractérisation et proposition de modélisation", *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques 2002*.
- HACKING Ian, 1989, *Concevoir et expérimenter*, Paris, Christian Bourgois

L'avancement de réaction en classe de première scientifique

DUCAMP Christine, ENFA, Toulouse, France

RABIER Alain, GRIDIFE IUFM Midi-Pyrénées, Toulouse, France. Avec le soutien de l'INRP

Introduction

La chimie est une science qui s'occupe essentiellement de l'étude des transformations chimiques. Une transformation chimique est modélisée par une réaction chimique dont l'écriture symbolique est l'équation de réaction. Cette équation de réaction est "un concept intégrateur source de difficultés persistantes" (Barlet et Plouin, 1994) ou encore "un nœud d'obstacles difficilement franchissable" (Laugier et Dumon, 2004).

A la rentrée 2000, le nouveau programme de seconde a été mis en place. Dans la partie "Transformation chimique d'un système", les concepteurs proposent un nouvel "*outil*" pour étudier l'état du système chimique au cours de la transformation chimique : l'avancement.

L'utilisation de cet "*outil*" se poursuit en classe de première scientifique (Première S) et de terminale scientifique (Terminale S).

C'est sur l'introduction de cette notion d'avancement de réaction dans l'enseignement de la chimie au lycée (plus particulièrement en classe de première S) que porte cette étude. Nous avons regardé la place de ce concept dans les programmes de seconde générale et dans le cycle scientifique et avons abordé les pratiques déclarées des enseignants pour l'introduction de ce concept dans ces différentes classes (Ducamp, 2003).

La recherche en cours tente d'évaluer l'apport réel de ce "*concept outil*" en ce qui concerne la maîtrise de la réaction chimique par les élèves de lycée à travers l'analyse d'un questionnaire posé à des classes de première scientifique.

Cadre théorique

Le concept de degré d'avancement de réaction a été introduit il y a plus de 80 ans par De Donder. Cette grandeur permet de réduire de $n+2$ à 3 (P , T et ξ) le nombre de variables décrivant un système fermé constitué de n espèces subissant une transformation chimique. Elle a permis à De Donder de donner une formulation mathématique au concept d'affinité chimique ainsi qu'une nouvelle définition de la vitesse réactionnelle (Goupil, 1991 ; Prigogine et Kondepudi, 1999). Depuis il a subi un certain nombre de modifications au niveau de l'appellation, du symbole et de la dimension (Dumon, Lichanot et Poquet, 1993). Au niveau de l'enseignement supérieur, l'intérêt de l'utilisation de ce concept a fait l'objet de nombreux articles (Garst, 1974 ; Rouquerol et Lafitte, 1985 ; Dumon, Lichanot et Poquet, 1993 ; Canagaratna, 2000). Les ouvrages français de ce niveau, dans leur grande majorité, ont adopté pour la définition et le symbole les recommandations de l'IUPAC.

En ce qui concerne l'enseignement secondaire, les notations en lettre grecque n'étant pas évidentes à transcrire par les élèves, les concepteurs des programmes, pour des raisons de simplification, ont choisi de noter l'avancement de réaction par " x " en lieu et place de " ξ ".

Les programmes d'enseignement sont le résultat d'un ensemble de transformations (nommées transposition didactique) effectuées sur les savoirs de référence afin de les rendre enseignables. On distingue deux niveaux majeurs de la transposition didactique : la transposition externe qui caractérise d'abord le passage d'un savoir produit dans le domaine de la recherche (le savoir savant) au savoir à enseigner proposé dans les programmes, puis la transposition interne relative au savoir réellement enseigné par l'enseignant et au savoir appris par les élèves. Dans cette recherche nous nous sommes intéressés à la transposition interne.

L'outil avancement de la réaction introduit au lycée permet la résolution d'exercices quantitatifs sur la transformation d'un système chimique. Un certain nombre de recherche, en s'interrogeant sur l'opposition entre apprentissage de concepts et résolution de problèmes (Nurrenbern et Pickering, 1987 ; Nakhleh et Mitchell, 1993), ont montré qu'enseigner la résolution de problèmes de chimie n'était pas équivalent à enseigner les concepts relatifs à la structure de la matière. Pour ces auteurs, le fait de proposer un algorithme de résolution et de montrer la quantité de problème qu'il peut résoudre ne facilite pas la compréhension du concept sous-jacent. L'enseignement d'algorithmes ne mène pas nécessairement à un apprentissage de concepts. Plus récemment, une étude concernant l'enseignement de la thermodynamique en premier cycle universitaire (Barlet et Mastrot, 2000) conclut que la résolution d'exercices quantitatifs ne fonde pas toujours un réel apprentissage car la mobilisation d'algorithmes prend alors le pas sur la capacité à résoudre de véritables problèmes de chimie. Ces auteurs considèrent que "l'algorithmisation-refuge" est un "obstacle à la conceptualisation".

Questions de recherche et méthodologie

Ce travail est basé sur l'utilisation de l'outil avancement par des élèves de première S. Un questionnaire passé par environ deux cents élèves de ce niveau a permis de tester les trois hypothèses de recherche émises.

Hypothèses de recherche

H1 : Quelle que soit la difficulté de l'exercice quantitatif mettant en jeu une réaction chimique proposée, l'outil avancement de la réaction et son tableau sont majoritairement utilisés.

H2 : L'utilisation du tableau permet aux élèves de mettre en œuvre un raisonnement de type algorithmique pour résoudre les exercices proposés.

H3 : Les principales sources d'erreurs ou d'échecs dans les exercices proposés aux élèves ne sont pas liés à l'utilisation de l'outil avancement et de son tableau mais plutôt à une mauvaise maîtrise de la réaction chimique au niveau microscopique et/ou au niveau des concepts clés que sont la mole et la stœchiométrie.

Élaboration du questionnaire à partir des hypothèses de recherche

Un pré-test a été soumis à une classe de 1^{ère} S de 18 élèves. A partir des résultats obtenus et de l'analyse des difficultés rencontrées, un questionnaire final constitué de 5 questions a été retenu (cf. annexe). Les deux premières se présentent sous forme de QCM. Les trois autres sont des exercices quantitatifs, de difficulté croissante, sur la réaction chimique.

Les questions Q1 et Q2 sont destinées à tester l'hypothèse H3. La question Q1 porte sur la notion de mole et notamment sur la loi d'Avogadro-Ampère qui est enseignée en classe de

seconde. Cette question a été posée lors d'une étude sur la maîtrise de la notion de mole (Chastrette et Cros, 1985). La question Q2 permet de juger du niveau de maîtrise du concept de stœchiométrie, notamment de l'exploitation au niveau microscopique de l'équation de réaction et de la prise en compte du réactif limitant. Cette question a été posée lors d'une étude sur la différence entre l'apprentissage de concepts et la résolution de problèmes (Nurrenbern et Pickering, 1987).

Les questions Q3, Q4 et Q5 sont destinées à tester les hypothèses H1, H2 et H3 (Barlet et Mastrot, 2000).

Ces trois questions sont relatives à des exercices quantitatifs. Les élèves doivent écrire l'ensemble de leur raisonnement (ils ont la place sur la feuille du questionnaire). En ce qui concerne la question Q3, on peut noter que la réponse est immédiate et ne nécessite aucun calcul pour un élève qui maîtrise le concept de stœchiométrie (au moins au niveau macroscopique). La question Q5 constitue le niveau de difficulté optimal pour un élève de première S à cette période de l'année.

	les réactifs sont donnés en :	à l'état initial, les réactifs sont en proportions stœchiométriques :
Q3	quantité de matière (mol)	oui
Q4	quantité de matière (mol)	non
Q5	masse (g) et volume (L)	non

Recueil des données

Cette étude, réalisée en 2004, a porté sur des élèves de première S. Elle a été menée dans 9 classes de ce niveau et a concerné 195 élèves d'établissements publics dépendant soit de l'Éducation Nationale soit du Ministère de l'Agriculture. La répartition exacte est donnée dans le tableau ci-dessous :

	Éducation Nationale	Agriculture	Total
Nombre de lycées	2	4	6
Nombre de classes	5	4	9
Nombre d'élèves	127	68	195

Bien que l'avancement de la réaction soit introduit en classe de seconde, il ne correspond pas à une compétence exigible du programme. Notre choix s'est donc porté sur la classe de première S où son utilisation est incontournable dès la première partie du programme concernant "*la mesure en chimie*". Dans tous les cas la partie concernant la mesure en chimie avait été traitée par les enseignants. Un texte explicatif communiqué aux enseignants leur donnait les consignes pour le passage du questionnaire (cf. annexe).

Résultats et discussion

Question 1

La réponse correcte a été donnée par 46% des élèves.

Une étude similaire a été réalisée entre 1979 et 1982 (Chastrette et Cros, 1985). Elle avait fourni les pourcentages de bonnes réponses suivantes : $1^{\text{ère}}\text{C}$: 76% $1^{\text{ère}}\text{D}$: 63%

Comme on peut le constater, l'apprentissage et l'enseignement du concept mole continue à poser des difficultés. Il suffit pour s'en convaincre de consulter l'abondante littérature sur le sujet (Furió, Azconna et Guisasaola, 2002). La réponse (a), choisie par 19% des élèves, semble mettre en évidence chez certains une confusion entre gaz, solide et liquide. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la loi d'Avogadro – Ampère qui constitue un réel obstacle

épistémologique (Robardet, 1996) n'est traitée qu'en deux ou trois lignes dans le programme de physique de seconde ainsi que dans les manuels correspondants.

Question 2

La réponse correcte (c) n'est donnée que par 51% des élèves. Pour les élèves ayant donné les réponses (e) (27%) et (b) (11%), on peut penser que la notion de "réactif limitant" (à un niveau microscopique) n'est pas assimilée.

Questions 3, 4, 5

Pour les questions 3, 4 et 5, nous nous intéressons aux pourcentages de bonnes réponses et à l'utilisation du tableau introduisant l'avancement : (BR : bonne réponse, UTA : utilisation du tableau avancement, *sans compter les non faits)

	%BR	% UTA	% BR + UTA
Q3	87	53	50
Q4	73	60	51
Q5	51	63	47 (56*)

Il est à noter que le pourcentage de bonnes réponses diminue en fonction de la complexité de l'exercice et que dès que l'outil avancement est utilisé, il est toujours associé à l'utilisation du tableau (comme le préconise le programme).

L'analyse des réponses aux questions Q3, Q4 et Q5 tend à prouver que les hypothèses H1 et H2 sont vérifiées.

L'analyse des productions des élèves montre :

- que quand le tableau est utilisé, il l'est de façon conforme aux préconisations des programmes et des documents d'accompagnement relayées par les ouvrages de seconde et de première ;
- que les méthodes de résolution utilisées se ramènent à une seule méthode "algorithmique" ;
- une uniformisation méthodologique souhaitée par les concepteurs des programmes ;
- que l'outil semble performant mais que la non maîtrise des concepts de mole, de volume molaire et de stœchiométrie (mise en évidence par les résultats de la question 2) est à l'origine des erreurs des élèves dans la moitié des cas ; ce qui tend à prouver que l'hypothèse H3 est vérifiée.

Conclusion et perspectives

D'après les résultats de notre étude, nous avons pu mettre en évidence que l'utilisation de l'outil avancement associé à son tableau permet aux élèves d'acquérir une méthode de résolution des exercices de chimie basée sur l'utilisation d'algorithmes. Les concepts sous-jacents au concept de réaction chimique comme la mole, la stœchiométrie, la quantité de matière ne semblent pas mieux maîtrisés que par le passé et on ne peut pas conclure à un progrès évident de ces notions avec l'utilisation du tableau d'avancement. Si dans les cas simples la majorité des élèves réussit à résoudre l'exercice posé, par contre, dès que les concepts sous-jacents doivent être mobilisés, les difficultés resurgissent et le pourcentage d'échec devient important.

L'outil ne se limite pas à la classe de première mais il est aussi utilisé dans d'autres domaines de la chimie et, dans le droit fil de cette étude, offre une palette de thèmes de recherche intéressants comme l'utilisation de ce tableau lors de titrages par dosages pour cette classe de première scientifique.

Bibliographie

- BARLET Robert et MASTROT Géraldine, 2000, "L'algorithmisation-refuge, obstacle à la conceptualisation. L'exemple de la thermochimie en premier cycle universitaire.", *Didaskalia*, n° 17, pp. 123-159.
- BARLET Robert et BLOUIN Dominique, 1994, "L'équation-bilan en chimie : un concept intégrateur source de difficultés persistantes", *Aster*, n° 18, pp. 27-56.
- CAMAGARATNA Sebastian G, 2000, "The use of extend of reaction in introductory courses", *Journal of Chemical Education*, vol. 77, n° 1, pp. 52-54.
- CHASTRETTE Maurice et CROS Danièle, 1985, "Enquête sur la maîtrise de la mole et son évolution entre 16 et 20 ans", *L'actualité chimique*, Mars 1985, pp. 69-76.
- DUCAMP Christine, 2003, "L'avancement chimique dans les nouveaux programmes de lycée", Communication orale avec actes aux 3^{ème} rencontres scientifiques de l'ARDIST (Toulouse, 8 au 11 Octobre 2003), pp. 141-148.
- DUMON Alain, LICHANOT Albert et POQUET Elisabeth, 1993, "Describing chemical transformations", *Journal of Chemical Education*, vol. 70, n° 1, pp. 29-30.
- FURIO Carlos, AZCONA Rafael et GUIASOLA Jenaro, 2002, "The learning and teaching of the concepts "amount of substance" and "mole": a review of the literature", *Chemistry Education: Research And Practice In Europe*, vol. 3, n° 3, pp. 277-292.
- GARST John F, "The extend of reaction as a unifying basis for stoichiometry in elementary chemistry", *Journal of Chemical Education*, vol. 51, n° 3, pp. 194-196.
- GOUPIL Michelle, 1991, *Du flou au clair ? Histoire de l'affinité chimique*, Paris, Éditions du CTHS.
- LAUGIER André et DUMON Alain, 2004, "L'équation de réaction: un nœud d'obstacles difficilement franchissable", *Chemistry Education : Research And Practice*, vol. 5, n° 1, pp. 51-68.
- NAKHLEH Mary et MITCHELL Richard, 1993, "Concept learning versus problem solving, there is a difference", *Journal of Chemical Education*, vol. 70, n° 3, pp. 190-192.
- NURRENBERN Susan et PICKERING Miles, 1987, "Concept learning versus problem solving: is there a difference?" *Journal of Chemical Education*, vol. 64, n° 6, pp. 508-510.
- PRIGOGINE Ilya et KONDEPUDI Dilip, 1999, *Thermodynamique. Des moteurs thermiques aux structures dissipatives*, Paris, Odile Jacob.
- ROBARDET Guy, 1996, "Un enseignement de la loi d'Avogadro", *Enseigner les sciences physiques Mission possible !* CRDP Académie de Grenoble.
- ROUQUEROL Françoise et LAFFITTE Marc, 1985, "Plaidoyer pour l'utilisation de la variable "avancement de la réaction" (symbole ξ) pour l'étude de la réaction chimique", *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 674, pp. 1073-1086.

Annexe

Texte explicatif communiqué aux enseignants leur donnant les consignes pour le passage du questionnaire :

Durée : 20 à 30 min maximum

Pas de documents autorisés

Calculatrice autorisée

Regrouper les copies par classes

Nous communiquer toute remarque concernant les réactions des élèves ou les difficultés rencontrées

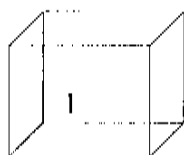
QUESTIONNAIRE PREMIÈRE S

Les questions sont indépendantes et elles peuvent être traitées dans n'importe quel ordre.

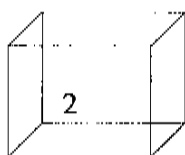
Question 1

Les cubes dessinés ci-dessous ont le même volume de 22,4 l.

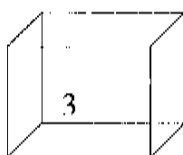
Ils contiennent les substances indiquées, à 0°C et sous une pression de 1,01325 Pa.



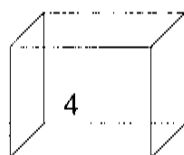
Hydrogène
 H_2 (gaz)



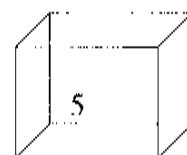
Ammoniac
 NH_3 (gaz)



Mercure
Hg (liquide)



Fer
Fe (solide)



Hélium
He (gaz)

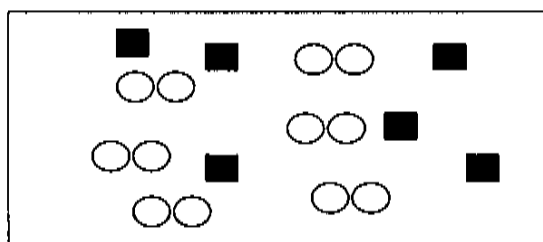
Choisir parmi les 5 réponses proposées la réponse qui vous paraît exacte et mettre une croix dans la case correspondante.

- a) ☐ les cubes contiennent tous une mole de substance
- b) ☐ seul les cubes 1 et 2 contiennent une mole de substance
- c) ☐ tous les cubes sauf le cube 4 contiennent 1 mole de substance
- d) ☐ seuls les cubes 1,2 et 5 contiennent une mole de substance
- e) ☐ je n'ai pas assez d'informations pour choisir.

Question 2

Soit l'équation de réaction suivante : $2S + 3O_2 \rightarrow 2SO_3$

Si on considère, dans un récipient fermé, le mélange initial de S (■) et de O_2 (○○) suivant :

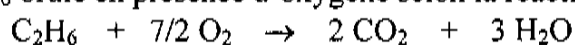


Lequel parmi les 5 schémas suivants représente le système à l'état final

schéma a	schéma b	schéma c
schéma d	schéma e	

Question 3

- L'éthane C_2H_6 brûle en présence d'oxygène selon la réaction suivante :



Combien de moles de dioxyde de carbone et d'eau obtient-on si on utilise 1 mole d'éthane et 3,5 moles de dioxygène ?

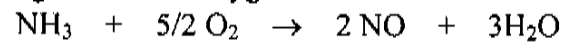
Question 4

- Soit la réaction de synthèse de l'eau : $2 H_2 + O_2 \rightarrow 2 H_2O$

Un mélange de 4 moles d'hydrogène et de 3 moles de dioxygène entre en réaction et fournit de l'eau. Quelle est la composition finale (en moles) du système ?

Question 5

- L'ammoniac réagit avec le dioxygène selon la réaction :



Quelle est la composition finale (en moles) du système lorsque l'on fait réagir 68 g d'ammoniac avec 100 L de dioxygène ?

On donne :

$$M(\text{NH}_3) = 17 \text{ g.mol}^{-1}$$

Volume molaire dans les conditions de l'expérience : $V = 24 \text{ L.mol}^{-1}$

L'articulation entre anciennes et nouvelles connaissances : Apprentissage de l'énergie d'un système chimique enseigné au moyen d'un TICE

ELBILANI Rania et LE MARECHAL Jean-François, UMR ICAR (CNRS, ENS LSH Lyon, ENS Lyon, INRP, université Lyon 2), groupe COAST

Introduction

Les différentes approches constructivistes indiquent que les apprenants élaborent de nouvelles connaissances à partir de celles qu'ils possèdent déjà, qu'elles proviennent de leur vie quotidienne ou de situations d'enseignements. Peu de travaux ont analysé l'articulation entre les anciennes et les nouvelles connaissances quand ces dernières sont proposées lors d'une situation d'enseignement (Tiberghien, 2003). L'enjeu serait pourtant d'importance tant sur le plan de l'ingénierie didactique que de la formation des enseignants. Nous nous sommes attelés à ce problème dans le cas de l'enseignement de l'énergie, concept pour lequel la confusion avec ceux de chaleur et de température a été largement étudiée (Harrison et al., 1999 et références citées). Ceux d'énergie de liaison et d'énergie d'une réaction chimique ont, en revanche, été moins étudiés et sont l'objet de ce travail. Nous présentons ici une étude qui cherche à montrer comment les connaissances antérieures peuvent se transformer pour en donner de nouvelles lors d'un enseignement de l'énergie d'une réaction chimique en particulier à l'aide d'un TICE.

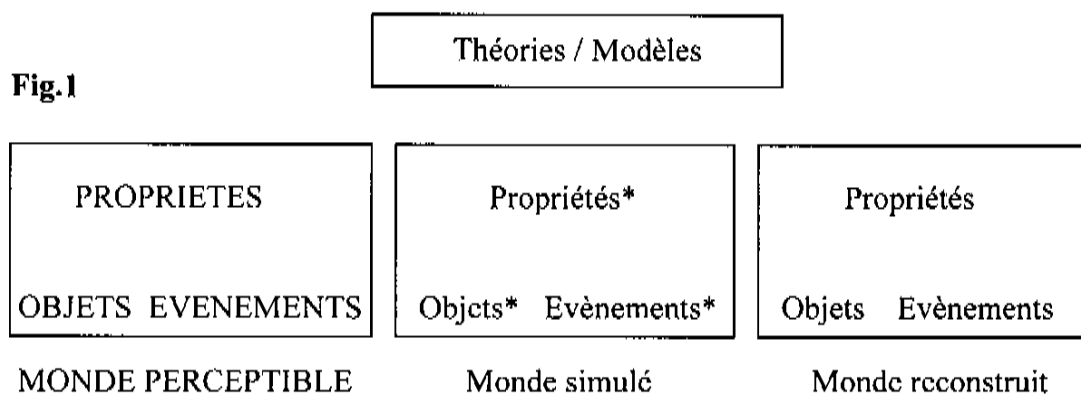
Cadre Théorique

L'activité de modélisation articule, dans le cas de la chimie à la fois des connaissances sur les objets de la vie quotidienne et des objets de type molécule. Par ailleurs, lors de l'utilisation d'animations moléculaires à l'aide d'un TICE, interviennent des connaissances qui possèdent un statut hybride puisque les molécules, d'ordinaire invisibles, prennent vie et s'animent comme de véritables objets. Le cadre théorique ci-dessous montre la manière dont nous catégoriserons ces connaissances.

Le fait que les théories et modèles en chimie reposent sur une description de la structure et des propriétés d'entités microscopiques (atomes, molécules, ions) non perceptibles, constitue une des spécificités de la chimie. Cette spécificité est une source de difficultés pour les élèves qui doivent se construire une représentation microscopique de la matière alors qu'ils n'ont accès qu'à des observations macroscopiques. Il apparaît donc une distinction fondamentale entre les deux mondes de la chimie : le monde perceptible, et le monde tel que le reconstruit le chimiste, lui donnant ainsi accès à une représentation différente de la matière et de ses propriétés (Le Maréchal, 1999). Le monde reconstruit nécessite le recours à des éléments de représentation qui constituent un domaine de connaissance à part entière.

Pour faciliter ce passage entre ces deux mondes, les TICE peuvent mettre en jeu un monde simulé, en mettant en scène des représentants d'objets non perceptibles supposés favoriser la compréhension en facilitant l'activité de modélisation (Le Maréchal et Roux, 2003). L'ensemble des connaissances mises en jeu peut se catégoriser comme sur la figure 1.

Fig.1



Bien qu'il ne soit pas envisageable de dresser la liste des connaissances d'un élève à un moment donné de l'apprentissage, il est possible de déduire des interactions que les élèves ont entre eux ou avec leur professeur quelles connaissances sont activées. Certaines correspondent à des connaissances identifiées comme ayant fait l'objet d'apprentissage scolaires en chimie ou dans des disciplines parentes (physique, mathématiques en particulier). Nous nous limiterons à décrire celles pour lesquelles on peut reconnaître des concepts appartenant aux disciplines scolaires concernées, bien que d'autres proviennent de la vie quotidienne. Nous qualifierons toutes ces connaissances d'antérieures. Elles sont susceptibles de se transformer grâce à la situation dans laquelle l'élève évolue. Les interactions de ce dernier, avec son binôme et son professeur, constituent à la fois le moyen d'évolution de ces connaissances pour l'élève et le moyen de repérage de leur évolution pour le chercheur. Les connaissances construites seront appelées nouvelles connaissances au moment où elles sont repérées et prendront un statut de connaissances antérieures si elles sont réutilisées.

Analyse du savoir enseigné

La définition de l'énergie d'une liaison chimique, souvent donnée au niveau macroscopique¹, nécessite des notions traditionnellement enseignées dans un cours de physique (énergie, température, état gazeux) pour certaines, et dans un cours de chimie (dissociation – c'est une réaction chimique particulière – quantité de matière) pour d'autres. La représentation de cette notion se traduisant dans de nombreuses applications au niveau microscopique, nous avons envisagé de l'introduire pour une molécule (et non pour une mole), ce qui économise provisoirement l'utilisation du concept quantité de matière. De plus, cela autorise l'usage d'une animation moléculaire limitée à quelques molécules seulement. A partir d'un certain nombre de concepts précédemment enseignés (énergie, système isolé ou non, liaison chimique) rappelés rapidement, nous envisageons que les élèves construisent ceux d'énergie d'une liaison chimique et d'énergie d'une réaction.

Nous avons pour cela utilisé le simulateur *Calorimétrie* de la collection *Microméga®-Hatier*. Il représente :

¹ L'énergie de liaison $D(A-B)$ est l'énergie à fournir, à une température donnée, pour dissocier une mole de molécules AB à l'état gazeux en une mole d'atomes A et une mole d'atomes B à l'état gazeux. Elle s'exprime en $J.mol^{-1}$. (Le Maréchal et al., 2001 : p.190).

- Au niveau microscopique, quelques réactions chimiques (par exemple la combustion d'une molécule d'éthanol avec 3 molécules de dioxygène). Son intérêt consiste en la synchronisation de l'animation (à gauche Fig.2) de l'évolution étape par étape de la réaction – chaque rupture ou formation d'une liaison chimique constitue une étape – avec l'évolution de l'énergie de ce système chimique représentée sur un histogramme dynamique (à droite Fig.2).

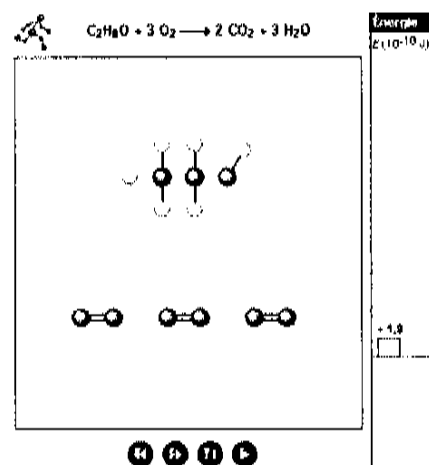


Fig.2

- Au niveau macroscopique, un système chimique dont des quantités de matière de chaque réactif (éthanol et dioxygène) sont laissées au choix de l'utilisateur. Le bilan de matière (sous forme numérique non représenté ici), en même temps que l'énergie et la température du système et du milieu extérieur, sont représentés sous forme d'histogramme (Fig.3).

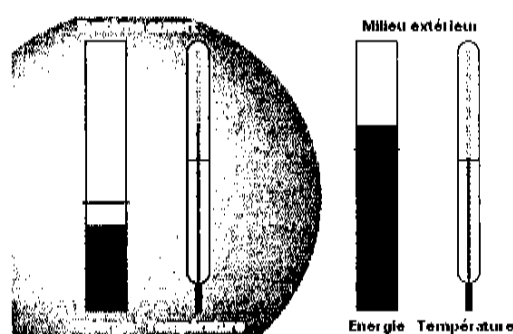


Fig.3

Questions de recherche et hypothèses

Les questions de recherche auxquelles nous tentons de répondre et les hypothèses sur lesquelles nous nous sommes appuyés au cours de notre travail s'articulent autour de deux préoccupations : l'une sur le fonctionnement et la validation de la partie de la séquence d'enseignement mettant en jeu le simulateur, l'autre sur la dynamique des connaissances antérieures des élèves pour en construire de nouvelles.

Questions de recherche

1. Quelles connaissances antérieures sont activées pour produire des nouvelles connaissances dans le cas de l'apprentissage de la notion d'énergie en chimie ?
2. Comment certaines de ces connaissances se transforment-elles ?
3. Quels rôles jouent les TICE dans ses transformations ?

Hypothèses

Dans le but de répondre à ces questions, nous devons, en accord avec le cadre théorique détaillé auparavant, formuler quelques hypothèses.

Hypothèses d'apprentissage – La situation d'apprentissage utilisée vise à ce que les élèves soient responsables de la construction de leur savoir. La tâche qui leur est proposée doit pouvoir être réalisée avec un minimum d'interventions de l'enseignant. (i) Nous dirons que les élèves apprennent quand ils mettent en relation les connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage où lorsqu'ils articulent différentes représentations d'un concept donné (Duval,

1995). (ii) Nous considérons que la simultanéité d'événements sur l'écran favorise leur mise en relation, donc l'apprentissage.

Hypothèses sur les savoirs – (i) Nous faisons l'hypothèse que l'on peut décrire les connaissances mises en jeu par les élèves lors de leurs interactions, en analysant leur productions écrites et orales en termes de mises en relations entre types de connaissances – objets, événements, propriétés des mondes perceptible, simulé et reconstruit et théories (Tiberghien, 1994 ; Le Maréchal et Dupont 2003). (ii) Nous faisons également l'hypothèse que l'élève interprète le spectacle qui s'offre à lui sur l'écran de l'ordinateur à l'aide de ses connaissances antérieures (Buty, 2003).

Méthodologie

Méthode de recueil des données

Nous avons fait travailler en quasi autonomie des élèves de 1^{ère} S par binômes au cours d'une séquence d'enseignement composée de quatre tâches d'une durée totale de 5 heures (dont seule la troisième est étudiée ici) : (i) Pré-test d'introduction et de rappel sur l'énergie ; (ii) TP de calorimétrie avec la réaction acide-base ; (iii) Simulation sur les aspects microscopiques et macroscopiques de la combustion de l'éthanol ; (iv) Etude de la relation entre les concepts de chaleur de réaction et chaleur de changement d'état.

Trois binômes ont été enregistrés et filmés au cours de la séquence. L'un d'eux (Me/M) était constitué d'élèves de début de Terminale S. Ces deux élèves ont permis de tester la séquence hors classe ; ils n'avaient pas eu cet enseignement en Première S. Les deux autres binômes, (J/R) et (A/S), ont été filmés en classe en fin d'année de Première S (moment recommandé par le B.O.). Leurs productions écrites (un compte rendu par binôme) et celles de 14 autres binômes non filmés ont également été récupérées.

De plus, 31 copies individuelles, du pré-test et autant pour un post test, ont été récupérées.

Méthodologie d'analyse

La séquence d'enseignement a été élaborée afin de répondre aussi à des besoins d'enseignement. Nous avons sélectionné les questions utiles à notre recherche pour étudier l'évolution des connaissances chez les élèves.

Certaines questions ont été analysées a priori du point de vue du savoir mis en jeu pour classer les concepts évoqués dans chaque question, mettre en évidence les relations entre les types de connaissances, dégager celles attendues dans les réponses des élèves, et valider la séquence d'enseignement.

Les types de connaissance mis en jeu dans la troisième tâche permettent de comprendre comment le simulateur convoque des connaissances antérieures et comment elles s'articulent pour en construire de nouvelles.

La transcription des données vidéo des trois binômes a été catégorisée en types de connaissances entre lesquelles les relations ont été recherchées.

Les comptes rendus ont été analysés afin de déterminer la représentativité de certaines analyses de productions verbales, ou pour déterminer si les élèves parviennent, ou non, à donner du sens à certaines notions prévues a priori.

L'étude des pré- et post-tests doit permettre de voir si certaines notions peuvent être réinvesties hors du cadre de la simulation.

Résultats et discussions

Construction du concept d'énergie de liaison

Nous avons montré que l'utilisation du TICE, accompagnée de tâches spécifiques, a permis aux élèves de construire du sens à certaines notions et ce souvent grâce à la simultanéité de différents registres du simulateur et grâce à leur mises en relation.

Energie d'une liaison chimique - point de vue microscopique

Nous avons constaté pour les trois études de cas (voir ci-dessous) qu'à partir des connaissances antérieures sur les notions de liaison chimique et d'énergie, les élèves parviennent à établir un lien entre deux événements simulés simultanément représentés à l'écran : la rupture des liaisons et la dynamique d'un histogramme énergétique, pour construire une nouvelle connaissance relative à l'énergie d'une liaison chimique. Cela participe à la validation de la 2^e hypothèse d'apprentissage.

Lorsque la question posée est : « En vous aidant de l'animation, dire ce qu'est, pour vous, l'énergie d'une liaison chimique. », les élèves prennent rapidement conscience que l'histogramme énergétique, donc la valeur de l'énergie, varie à chaque cassure d'une liaison, bien qu'ils n'explicitent pas le système auquel l'énergie se réfère : (Me 29)² « ...t'as une certaine énergie pour certaine liaison/... ». Cette phrase, même formulée de façon peu précise, traduit l'émergence de connaissances mettant en relation les notions d'énergie et de liaison, initialement distinctes.

Cette relation a immédiatement été soumise au crible d'une connaissance très ancienne, celle de proportionnalité : (M 36), « eh moi j'ai regardé si ...pour voir si c'était:/ (1s) / proportionnel ». Par un autre calcul, l'autre élève a proposé une réflexion analogue : (Me 37), « moi j'ai fait 1,3 divisé par 2 / c'est ce qui fait l'énergie pour une seule liaison / puis multiplié par 7/ puisque pour 7 on avait 4,8 / et là pour 7 j'ai 4,5 ».

Ces propositions erronées (puisque les énergies de liaison ne sont pas toutes identiques, ce que suppose la proportionnalité) ont ensuite été confrontées aux valeurs numériques présentes sur l'écran : (M 38) « c'est pas les mêmes énergies pour les liaisons / en fait ».

En se basant sur de telles remarques, ces deux élèves aboutissent à construire une connaissance acceptable (Me 65) « E égale somme des énergies des liaisons ».

Le simulateur a donc permis de formuler des hypothèses et de les réfuter, certaines connaissances émergeant pendant la discussion. La simulation s'est révélée comme un outil précieux d'investigation du monde des objets et des événements reconstruits en donnant à voir des objets et événements simulés. La conjonction de ces deux animations a permis de créer un modèle mental de la réaction chimique qui n'était plus uniquement une expérience ou une équation chimique (Le Maréchal et Roux, 2003).

L'étude des copies montre que 15 binômes sur 17 (88%) considèrent que l'énergie augmente en premier lieu, c'est-à-dire pendant la phase de rupture des liaisons : « l'énergie augmente lorsque les liaisons se cassent et l'énergie après, diminue lorsque les liaisons se reforment ». Cela traduit le lien causal entre l'énergie du système et les liaisons chimiques des molécules.

² Nous faisons référence, avec cette notation, au 29^e tour de parole de l'élève Me.

Clark et Jorde (2004) avaient déjà remarqué que la visualisation d'une animation favorise la création d'un modèle mental, et permet d'établir des relations causales.

Pour donner une définition à l'énergie de liaison, les trois binômes ont mobilisé des connaissances antérieures et ont essayé de les mettre en relation avec le monde simulé. Par exemple (M 70) : « ...*bien dis l'énergie de liaison est l'énergie libérée à chaque fois qu'une liaison se casse* ». Les connaissances antérieures relatives à la liaison chimique et à l'énergie ont évolué parce que : (i) elles ont été activées par la simulation et les questions de la tâche, (ii) elles sont apparues dans plusieurs registres sémiotiques, (iii) leur mise en relation a été favorisée par la simultanéité d'événements simulés, (iv) elles ont pu être soumises à une réflexion qualitative et quantitative convoquant par exemple de très anciennes (donc très stables) connaissances sur la proportionnalité, (v) et ont été articulées avec des données à disposition sur l'interface.

Cependant, les résultats des traces écrites des élèves montrent que seulement 7 binômes d'élèves sur 17 (41%) ont élaboré des éléments théoriques corrects traduisant le lien entre l'énergie et la cassure de liaison. Les causes d'erreurs semblent provenir de la difficulté de comprendre l'importance du signe de l'énergie transférée, ou de pouvoir définir le système étudié. Ces notions n'étaient pas explicitement prises en charge dans la tâche.

Autres notions abordées du point de vue microscopique

Avec une approche similaire, nous avons montré que :

- Les élèves pouvaient prévoir une animation simple : (R 103) «... *ben les liaisons / les liaisons vont disparaître / comme à tout à l'heure là ...* » ; (J 104) « *ah ben elles vont se reformer quand même* ». Des réponses similaires ont été établies par 16 binômes sur 17 (94%). Cela montre que des connaissances antérieures récemment construites dans une situation (grâce à l'animation) peuvent être transférée à une autre situation.
- Le travail avec le simulateur permet de construire des éléments théoriques propres au bilan énergétique de la réaction chimique. Les 6 élèves filmés prévoient que l'énergie d'une réaction sera la différence entre les sommes des énergies des liaisons rompues et reconstituées. Pour établir cette prévision qui correspond à une nouvelle connaissance sur l'énergie, tous ont fait appel, pour s'approprier la notion d'énergie des liaisons, aux registres symbolique et numérique. Ces derniers sont essentiels pour ce TICE contribue à l'apprentissage.
- Nous avons constaté une différenciation fine du concept d'énergie, par exemple avec (M 104) « ...*parc'qu'en fait y faut que l'énergie de liaisons et l'énergie d'système....* ». Une nouvelle connaissance peut donc être construite par différenciation d'un concept initialement 'vague' (l'énergie) en concepts plus précis : énergie de liaison et énergie d'un système.
- La notion de bilan, connue par ailleurs (bilan de matière en chimie, bilan énergétique en physique), a pu être transférée aux nouvelles connaissances. (M 112) : « ...*y faut que tu marques E égale /somme des énergies des liaisons /moins des/des liaisons cassées moins somme des énergies des liaisons /reconstituées enfin/...* ». Pour élaborer son hypothèse avant la simulation de la réaction demandée, cet élève s'est appuyé en particulier sur des connaissances antérieures acquises à partir de la simulation de la réaction précédente et construite à partir des registres de schéma dynamique, d'animation de la réaction, numérique, symbolique (équation chimique). La plupart des élèves : 13 binômes sur 17 (77%) sont arrivés à élaborer la même hypothèse.

Autres notions abordées du point de vue macroscopique

Le simulateur aide les élèves à comparer, pour la même réaction chimique, les deux aspects microscopique (échelle moléculaire) et macroscopique (échelle molaire), ce qui les amène à donner un nouveau sens à la même réaction chimique.

- Nous avons constaté que 82 % des élèves (14 copies sur 17) sont parvenus à prévoir la valeur de l'énergie molaire d'une réaction chimique, alors que cette notion leur était initialement inconnue.
- La prévision de l'évolution de l'énergie d'un système chimique isolé lors d'une réaction exothermique s'est révélée incorrecte par les trois binômes enregistrés (l'énergie du système reste constante alors que sa température augmente) bien qu'une étude comparable avait été conduite expérimentalement la semaine précédente (tache 2). Il s'agissait des suivis en température d'une réaction acido-basique réalisée dans un vase Dewar et de la même réalisée dans un tube à essais plongé dans de l'eau à température ambiante. Malgré la connaissance correcte de la définition d'un système isolé (connaissance antérieure vérifiée « acquise »), ils ne sont pas arrivés à aller contre l'association « énergie = température » profondément ancrée dans le réseau de connaissances mises en œuvre dès que ces concepts sont simultanément impliqués.
- Dans le cas où le système n'est pas isolé, une proportion importante des élèves a pu effectuer une prévision correcte lors d'une question similaire à celle sur le système isolé.

Catégories des réponses	Lien avec le monde théorie/modèle	Pas de lien avec le monde théorie / modèle	Pas de réponse
% des réponses N=17	76 % (13 copies)	18 % (3 copies)	6 % (1 copie)

Ce tableau fournit le pourcentage de binômes enregistrés qui ont effectué une prévision correcte traduisant, suite à l'élévation de la température, la diminution de l'énergie dans le système et son augmentation dans le milieu extérieur. L'animation dans le cas du système isolé a donc amélioré leur perception de la différence entre « énergie » et « température ». Ce résultat confirme le point de vue de Clark et Jorde (2004) qui considèrent que le but de la visualisation (par un TICE) est de supporter une réorganisation conceptuelle en fournissant un contexte ou un exemple qui met en lumière les résultats des contradictions et des défauts résultants des connaissances intuitives des élèves et permettant une dimension alternative de leurs idées.

Conclusion

L'identification de l'évolution des connaissances antérieures des élèves lors de l'utilisation d'un simulateur incorporé à une séquence d'enseignement a été possible et a montré l'importance de la variété des représentations utilisées dans le TICE. Certaines connaissances ont été construites par différenciation d'un concept, d'autres en utilisation des connaissances très antérieures, souvent en confrontant les réponses à des questions au sens porté par la variété et la simultanéité des représentations offertes par le TICE. Ce moyen d'articuler ce que l'élève sait et ce qu'il est en train d'apprendre doit permettre de formuler des hypothèses précises lors de la création de séquences d'enseignement. Ce travail a montré également une façon d'utiliser un TICE original dans un domaine délicat et peu exploré. En effet, aborder les notions d'énergie de liaison chimique et d'énergie de réaction dès le lycée est important pour une compréhension élargie de la notion de réaction chimique.

Références

- BUTY Christian, TIBERGHIEEN Andrée et LE MARECHAL Jean-François, Avril 2004, "Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences", / *International Journal of Science Education* /, 26, pp. 579-604.
- BUTY Christian., avril 2003, « Richesses et limites d'un « modèle matérialisé » informatisé en optique géométrique », / *Didaskalia* /, 23, pp. 39-64.
- CARK Douglas et JORDE Doris, janvier 2004, "Helping students revise disruptive experientially supported ideas about thermodynamics: Computer visualizations and tactile models", / *Journal of Research in Science Teaching* /, 41, pp. 1-23.
- DUVAL Raymond, 1995, / *Sémiosis et pensée humaine, registres sémiotiques et apprentissages intellectuels* /, Bcrnc, Peter Lang.
- HARRISON Allan G., GRAYSON Diane et TREAGUST David F., Janvier 1999, "Investigating a grade 11 student's evolving conception of heat and temperature" / *International Journal of Science Education* /, 36, pp. 55-87.
- LE MARECHAL Jean-François, 1999, / Modeling Student's Cognitive Activity During The Resolution of Problems Based on Experimental Facts in Chemical Education /, *Practical Work in Science Education*, Paulsen Ed., Copenhagen, pp. 195-209.
- LE MARECHAL Jean-François et ROUX Mélanie, 2003, / Introducing dynamic equilibrium before static equilibrium by means of computer modelling /, ESERA.
- LE MARECHAL Jean-François et DUPONT Céline, 2003, / *Proceedings of the Sixth ESERA, European Science Education Research Association Summer-school* /, Dušan Krnel, Ljubljana.
- LE MARECHAL Jean-François (dir.), 2001, / *Chimie en Première S* /, Paris, MICROMEGA®-Hatier.
- TIBERGHIEEN Andrée (dir.), 2003, Synthèse pour le ministère de la recherche (Ecole et Science Cognitive) : *Des connaissances naïves aux savoirs savants*.

Argumentation et différenciation conceptuelle en sciences

FILLON Pierre, UMR STEF (ENS Cachan, INRP), France

PETERFALVI Brigitte, UMR STEF (ENS Cachan, INRP), France

Introduction

Cette proposition de communication s'appuie sur les résultats de la recherche pluridisciplinaire « Argumentation et démonstration dans les débats et discussions en classe », menée à l'INRP entre les années 2000 et 2003. Elle reprend, en les complétant par de nouvelles analyses, des éléments d'un article des mêmes auteurs dans *Aster* 38 (Fillon & Peterfalvi, 2004), et dans l'ouvrage collectif rédigé à l'issue de cette recherche (Douaire éd. 2004).

Dans le volet de cette recherche consacré à l'enseignement des sciences, nous nous sommes intéressés au rôle de l'argumentation dans la construction des connaissances des élèves. Nous essaierons ici de montrer comment les échanges verbaux argumentatifs peuvent jouer sur la conceptualisation par la précision progressive du lexique qu'ils induisent. L'ébauche de raisonnements en termes flous, non stabilisés, peut en effet conduire, par les interactions verbales dont ils sont l'objet, à une rétroaction sur leurs termes constitutifs qui deviennent de ce fait plus univoques, ce qui contribue à la construction des concepts correspondants. L'argumentation peut intervenir dans la levée des ambiguïtés : les élèves, pour se comprendre et se mettre d'accord, sont conduits à préciser le sens des termes qu'ils emploient. C'est ce que nous proposons d'examiner dans une étude de cas.

Cadre théorique

Ce travail s'appuie sur une conception des apprentissages qui accorde une importance décisive aux aspects langagiers impliqués. En référence à Vygotski, qui met au cœur de sa théorie les interactions entre les aspects langagiers véhiculant la culture et le développement des connaissances, et à Popper qui, plus spécifiquement pour les activités scientifiques, souligne le caractère déterminant de la discussion critique et des activités langagières qui la permettent, de nombreuses équipes de recherche s'intéressent actuellement aux interactions entre langage et acquisition de connaissances scientifiques. Cette recherche s'est intéressée plus particulièrement aux interactions argumentatives d'élèves dans un but heuristique. Pour comprendre les processus en jeu lors de débats ou discussions, le cadre conceptuel de Toulmin (1958), avec l'idée de structure des arguments, permet un questionnement sur certains aspects de ce qui s'échange entre élèves : quelles sont les « garanties » et « fondements », le plus souvent implicites, sur lesquels ils s'appuient pour leurs affirmations ? Mais ce cadre est insuffisant pour rendre compte de ce qui s'échange dans la dynamique des interactions verbales dans un contexte heuristique, où la connaissance se construit. Le cadre proposé par Grize, avec l'idée de « logique naturelle », de construction d'une

« schématisation » dans les situations d'interlocution, d'emboîtement de différents types d'opérations a semblé en revanche particulièrement pertinent pour éclairer ces aspects. Nous l'utiliserons dans les analyses qui suivent.

Question de recherche

Notre propos est donc de chercher comment les interactions argumentatives entre élèves interviennent dans la construction de leurs connaissances scientifiques. Nous le faisons ici à partir d'une étude de cas, sur laquelle nous avons procédé à plusieurs types d'analyse complémentaires, comme le repérage dans les arguments échangés, lorsqu'ils existent, de la nature des étayages ou raisons avancés, l'examen de leur pertinence, celui de la mise en relation entre ce qui relève du registre empirique et du registre des modèles dans ces arguments, à plus longue échelle, la mise à plat de l'entrecroisement de discours sur des problèmes différents, le repérage d'ambiguïtés et de malentendus dans les propos échangés qui peuvent porter, pour reprendre les catégories de Grize, sur des opérations d'« objets », ou des opérations de « prise en charge » par le sujet, ou encore sur la nature du problème à traiter, enfin le pointage des essais de levée de ces malentendus qui obligent à des explicitations.

La question plus spécifique que nous traitons ici concerne les évolutions lexicales dans les échanges et ce qu'elles signifient du point de vue des processus de construction conceptuelle.

Méthodologie

La méthodologie adoptée relève de l'étude de cas. Pour cette étude précise, nous avons procédé à des suivis systématiques du lexique dans les échanges langagiers d'un groupe d'élèves, d'une façon qui sera précisée dans l'exposé des analyses réalisées. Les transcriptions sur lesquelles nous nous sommes appuyés sont issues de l'enregistrement vidéo de ce groupe. Les analyses croisent un point de vue linguistique, puisqu'elles utilisent des suivis systématiques de signifiants, et un point de vue didactique, puisque les catégories utilisées pour caractériser ces derniers sont construites relativement aux problèmes de compréhension propres au contenu d'apprentissage dont il est question. Ce type de travail a été réalisé en complément d'autres analyses du même corpus, mettant davantage en jeu des aspects interprétatifs.

Analyses et discussions

La séquence analysée

L'étude concerne un débat sur l'électricité entre quatre élèves de 5^{ème} d'un collège classé ZEP, en région parisienne. Au moment de cette séquence, les élèves avaient déjà étudié certaines propriétés des circuits électriques (circuits en série, en dérivation). La tâche consistait en la recherche d'un accord à partir de deux schémas de circuit électrique (fig. 1) comprenant une pile et une lampe, sur lesquels figuraient différemment des flèches pour symboliser le sens de passage du courant : le premier propose des flèches orientées de la borne positive à la borne négative de la pile en passant par la lampe ; le second propose des

flèches convergentes partant des deux bornes de la pile vers la lampe : ce sont les « courants antagonistes » repérés comme conception spontanée des élèves en électricité (Tiberghien & Delacôte, 1976).¹ La question posée, d'abord par écrit à chaque élève pris individuellement, était formulée de la façon suivante : « Que se passe-t-il dans les fils lorsque la lampe brille ? Deux élèves ont proposé deux schémas différents. Lequel de ces deux schémas préférez-vous ? Pourquoi ? »

Schéma 1

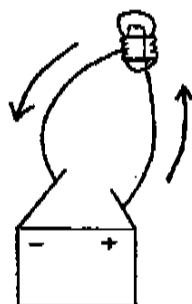


Fig. 1

Schéma 2



L'intention de départ était de susciter la confrontation de telles représentations et une argumentation visant à juger de leur pertinence. En réalité, autre chose s'est joué pendant la séance : c'est un mouvement de précision-délimitation qui a été prépondérant et qui a contribué à une conceptualisation progressive.

Intérêt de l'étude

D'un point de vue épistémologique, il est intéressant de suivre les hésitations, les reformulations et les retours en arrière. Le passage de considérations sur des objets matériels à des considérations liées à l'ordre de la modélisation se joue dans ce débat, avec la difficulté où les élèves opèrent ces distinctions. Nous verrons que les élèves passent de « ça », qui représente un tout indifférencié, à « fil », qui est un objet matériel susceptible de manipulation, puis à « circuit », forme abstraite, concept topologique d'objets matériels, enfin à « courant », notion correspondant à un phénomène inaccessible à l'expérience sensible en passant par « flèche », signifiant graphique d'un aspect de ce phénomène. On passe ainsi progressivement d'un monde empirique à un monde des modèles. Ce jeu de substitutions successives de termes nous a orienté vers les travaux de Grize. A propos de ce qu'il appelle les « opérations d'ancrage », qui consistent à choisir à partir d'une « notion primitive » des mots qui en délimitent le sens, en attachant à l'objet ainsi défini un « faisceau d'aspects » et en excluant d'autres, il précise : « *Le résultat de l'application d'une opération « α »² ou « η » n'est pas nécessairement le même pour le locuteur et le destinataire. On peut même dire que sitôt qu'il ne s'agit pas d'un concept, l'activité globale discursive est nécessaire pour assurer un accord suffisant pour les interlocuteurs.* » (Grize, 1996, p. 86).

Aussi il nous a semblé intéressant de suivre au cours du débat tout d'abord l'évolution des groupes sujets (opérations « α ») puis l'évolution des couplages entre groupes sujets et groupes verbaux (opérations « η »). L'examen de l'influence des différents couplages sur les délimitations successives de l'objet permet d'éclairer un aspect de la différenciation conceptuelle en cours.

¹ Ces schémas s'inspirent de schémas produits dans une classe de cycle 3 (Weisser & al. 2003)

² Les opérations « α » sont des opérations où l'objet est précisé par un faisceau d'aspects ; les opérations « η » correspondent à des couplages d'objets et de prédicats. Ajoutons que pour Grize, le « concept » est pris dans un sens très restrictif, qui exclut toute polysémie. Nous ne reprenons pour notre part pas ce terme dans un sens aussi restrictif.

Résultats

Dans un premier tableau nous avons relevé tous les groupes sujets que nous avons placés en regard avec les groupes verbaux correspondants (« couples prédictifs »).

Figure 2 : Couplage entre sujets et syntagmes verbaux (extrait, début du corpus)

Elève	Sujets ou « objets »	Syntagmes verbaux ou « prédicats »
1. Imène	2 circuits	Part en boucle
	Il	Peut pas partir tout droit
	Il	Partait tout droit
2. Aïssatou	Le circuit	Part tout droit
	Il	Partent tout droit
3. Imène	Les flèches, elles	Font le tour
	Les flèches, elles	Doit partir en boucle
	Le circuit	En boucle
4. Aïssatou		Part en boucle, en rond
6. Aïssatou	Il	Ne peut pas partir tout droit
23. Imène	Il	Arrivera
	Ça	Se rencontreront
	Ils	Va se rencontrer
	Il	Part du pôle moins
	Il	Partent du pôle moins
24. Aïssatou	Les deux, ils	Ne passerait pas
31. Prof	Ça	Doit pas partir
35. Imène	La partie en boucle, ça	Va arriver au milieu
	Ça	Va
	Ça	Partent du pôle moins
36. Ilham	Les deux, ils	Part du pôle positif
37. Imène	Ça	Revient
	Ça	Part du pôle moins
	Ça	est là
39. Aïssatou	La tige, elle	

Ce traitement des données a pour but de saisir comment les opérations de couplage évoluent et peuvent rétroagir sur la délimitation du sujet. Dans un premier temps, l'étude porte sur l'évolution des groupes sujets. Nous distinguons les sujets « pronominaux » (ça, il, ...) qui ne donnent pas de précisions sur l'objet désigné (« objets flous ») des sujets « lexicaux » (circuit, courant, ...) qui donnent des précisions (« objets précisés »). Dans un second tableau (fig. 3) sont indiqués les nombres des objets ainsi caractérisés par page de transcription..

Figure 3 : Évolution des termes désignant les « objets » dans la discussion

	1 à 47	48 à 87	107 à 147	148 à 251
Sujets pronominaux : "ça, il," (« objets » flous)	22	20	5	7
Sujets lexicaux : "circuit, courant," (« objets » précisés)	8	9	15	20

On constate qu'au cours du débat le nombre de sujets « lexicaux » augmente régulièrement alors que celui de sujets « pronominaux » diminue. On peut en inférer que la différenciation entre les termes progresse sans pour autant pouvoir affirmer que cette différenciation soit ou non pertinente. Par exemple, au début du débat, les termes « circuit », « flèche », « courant » sont peu employés et lorsqu'ils le sont, c'est de façon indifférenciée et accompagnés des mêmes gestes de la main. Nous verrons dans la deuxième analyse des non-pertinences entre sujets et groupes verbaux, montrant que les objets ne sont pas encore bien délimités. Le

repérage de ces non-pertinences peut par ailleurs s'avérer décisif pour la construction en cours. Voici deux extraits de corpus, qui peuvent donner une idée de l'emploi de ces termes : le premier proche du début de la discussion, correspondant à une partie de la première colonne, le second plus tardif, correspondant à la troisième colonne :

Extrait 1 :

18. Imène : Eh, eh, écoutez, j'ai Moi, j'ai des bonnes raisons (*elle s'adresse à Ilham*)
 19. Aïssatou : Moi aussi, attends (*Imène et Aïssatou se regardent d'un air complice*)
 20. Ilham (*en s'adressant à Priscilla*) : Tu écris ?
 21. Imène (*en s'adressant à Priscilla*) : Tu écris en même temps que je parle ... mais aussi, si tu trouves bien sûr ...
 22. Priscilla : moi, je ne suis pas rapidos
 23. Imène (*en s'adressant à Aïssatou*) : (*inaudible*) ... en fait ... il ne peut pas partir tout droit parce que sinon, à un moment donné, ça arrivera, ils se rencontreront (avec un geste des deux mains qui se rejoignent comme dans les courants dans le schéma deux).... C'est pas la peine d'écrire. Il va se rencontrer (*inaudible*) ... et finalement ça va éclater (*avec un geste des deux mains, doigts écartés*). Alors si (*inaudible*) le pôle plus et le pôle moins. Si il part de du pôle moins, la lumière ne va pas être forte ...
 24. Aïssatou : Non, mais les deux, ils partent du pôle moins ... (*elle montre les schémas au tableau*)

Extrait 2 :

112. Imène : Alors on va écrire que ...que c'est le schéma numéro 1 car ...c'est le schéma ... car le circuit va, doit, doit tourner en rond ...
 113. Priscilla : doit faire une boucle ...
 114. Ilham : non, on va pas mettre ça
 115. Aïssatou : je te jure si tu me demandes ça (*Inaudible*) (*elle s'adresse à Ilham*)
 116. Priscilla : (*Inaudible*) ... dans toute la boucle
 117. Imène : Le courant doit passer en ...(elle regarde Priscilla) boucle dans toute la boucle (elle écrit tout en parlant). Le circuit doit ...
 118. Aïssatou : Le circuit doit ...
 119. Imène : ...doit passer dans toute la boucle
 120. Priscilla : c'est pas plutôt le courant ?
 121. Aïssatou : Attends, après on va rectifier
 122. Ilham : on va
 123. Imène : Les fautes, on va
 124. Priscilla : Plutôt que le circuit ...

Pour faire apparaître les problèmes de pertinence entre les sujets et les verbes et la façon dont ces associations interviennent sur la délimitation de l'objet, les groupes verbaux ont été caractérisés selon :

- qu'ils expriment une nécessité³ ou une impossibilité
- qu'ils expriment un état, un mouvement ou un événement
- qu'ils sont chargés affectivement.

Notons qu'un groupe verbal peut être classé simultanément dans plusieurs catégories. Par exemple, « *doit partir du pôle plus* » exprime à la fois une nécessité et un mouvement. Ces catégories ont été construites en fonction du problème traité et de ce qui permettrait de juger de la pertinence d'un couplage, dans ce contexte spécifique.

Pour pouvoir suivre l'évolution des différents couplages entre sujets et verbes et juger de leur pertinence, nous avons construit des tableaux comme celui de la figure 4, qui présentent les groupes verbaux successifs dans des colonnes correspondant à ces catégories, avec des styles

³ « Nécessité » peut avoir des sens différents. Il peut s'agir d'une nécessité répondant à une injonction ou d'une nécessité d'ordre logique. C'est cette dernière qui nous intéresse au premier plan pour la construction des problèmes scientifiques.

et attributs différents en fonction de la nature des groupes sujets associés. En voici un extrait, correspondant à l'extrait de transcription 2 :

Tour de parole Nom élève	Groupe verbal exprimant un(e)					
	nécessité	impossibilité	état	mouvement	événement	charge affective
84. Ilham				<i>part du pôle plus revient au pôle moins</i>		
108. Ilham				<i>monte comme ça redescend comme ça</i>		
112. Imène	<u>doit</u> ...			<u>va</u> <u>tourner en rond</u>		
113. Priscilla	DOIT ...		FAIRE ...	UNE BOUCLE		
116. Priscilla	DOIT ...			(PASSER) DANS TOUTE LA BOUCLE		
117. Imène	DOIT ...			PASSER EN BOUCLE DANS TOUTE LA BOUCLE		
118. Aïssatou	<u>doit</u> ...					
119. Imène	<u>doit</u> ...			<u>passer dans</u> <u>toute la boucle</u>		
120. 124. Priscilla	(DOIT) ...			(PASSER DANS TOUTE LA BOUCLE)		Codes concernant les groupes sujets : « flous » : ça, il, elle « matériel » : tige, fil filament « flèche » « circuit » « COURANT »
125. Imène	(doit)			(passer) dans toute la boucle		
126. Ilham		... pas ...		<i>pas</i> <i>pas dans la boucle</i>		

Figure 4 : Pertinence des couplages entre sujets et syntagmes verbaux

La présentation adoptée permet de se rendre compte de la pertinence ou non des associations. Ainsi, les couplages comprenant des groupes sujets « flous » (en italique) ne permettent pas de juger de la pertinence de la proposition : tout sujet non précisé peut être associé à toute catégorie de verbe sans qu'on puisse porter un jugement. C'est ce qu'on rencontre massivement pour le début du corpus. Par contre il est possible de juger de la pertinence des couplages lorsque le sujet est précisé. C'est le cas, par exemple, pour le sujet *circuit* lorsqu'il est associé à un verbe de mouvement (souligné). En effet, le sujet *circuit* correspondant à un concept topologique ne peut être associé à un verbe de mouvement. Cela apparaît deux fois dans l'extrait proposé, dans la colonne « mouvement ». A l'opposé, les sujets *flèches* et *courant* (respectivement en gras et en petites majuscules) peuvent être couplés pertinemment avec de tels verbes. Cela apparaît aussi dans la même colonne, en alternance avec les couples non pertinents. La mise en regard avec les colonnes correspondant à l'expression de nécessités ou d'impossibilités permet un lien avec des éléments de l'ordre de l'injonction ou du raisonnement logique.

Pour l'ensemble de la discussion, on repère dans ces tableaux une forte prédominance de verbes de mouvement et de verbes exprimant une nécessité. Les verbes de mouvement

peuvent avoir été induits par la présence de flèches dans le schéma et la nature même de la question posée. Les nécessités, exprimées par le verbe *devoir*, sont d'ordres différents. Certaines sont liées au contrat didactique (par exemple Imène « *on a appris que le circuit doit partir en boucle* », tour de parole 3) ; d'autres sont d'ordre fonctionnel, par exemple, l'intervention 23 d'Imène même si elle n'est pas entièrement recevable, et relèvent de l'ordre du raisonnement. Ces nécessités s'appuient sur des garanties de natures différentes : Imène se justifie avec des raisonnements en prise directe avec ses conceptions spontanées (tour de parole 23, extrait 1) alors que Priscilla a comme référence des connaissances scolaires antérieures qu'elle recherche sur son cahier. Pour l'évolution globale des couples prédicatifs, on constate donc au départ une forte présence de couples non décidables quant à leur pertinence. Les élèves à ce stade font peu référence aux connaissances scolaires. La production de couples non pertinents, croissante au départ (lorsque les sujets flous décroissent), est relativement stable par la suite. Enfin une augmentation sensible des couples pertinents apparaît en fin de séance sans que ne disparaissent totalement les couples non pertinents. Cette évolution montre que certains élèves commencent à différencier les deux concepts.

Pour mieux comprendre ces évolutions, on peut se reporter à la transcription du débat. L'analyse fine des propositions conduit à dégager des pertinences de natures différentes. Ainsi dans l'intervention 23 d'Imène, s'adressant à Aïssatou (voir extrait 1) : « *en fait, il ne peut pas partir tout droit parce que sinon, à un moment donné, ça arrivera, ils se rencontreront (avec un geste des deux mains qui se rejoignent comme les flèches dans le schéma deux ; c'est pas la peine d'écrire ; Il va se rencontrer... et finalement ça va éclater (avec un geste des deux mains, doigts écartés* », on peut dégager trois ordres de pertinence :

- « il ne peut pas partir tout droit » : si *il* signifie *circuit*, comme on peut le croire, le couplage n'est pas pertinent. Mais comme le sujet est « flou » on ne peut l'affirmer.
- « ils se rencontreront » : alors qu'il était au singulier au début, le sujet devient pluriel et est adapté par l'élève au sens du verbe *se rencontrer*. Il y a ici pertinence au niveau grammatical. Par contre, si le sujet caché derrière *ils* est toujours *circuit*, il n'y a toujours pas pertinence au niveau du sens du couplage. Mais il est difficile de juger de cette pertinence sémantique, puisque les termes ne sont pas différenciés.
- « et finalement ça va éclater » : l'objection proposée, par ailleurs affectivement chargée, est discutable car la relation causale qui l'étaye n'est ni montrée ni montrable. Mais il est question ici d'un autre type de pertinence : ce n'est plus celle, interne, du couple prédicatif proposé, mais celle du raisonnement dans lequel il est intégré. On a donc ici un emboîtement d'un raisonnement formellement correct mais indécidable quant à sa validité, formulé dans des termes flous ou à contours fluctuants.

L'enchevêtrement de couplages pertinents et non pertinents de l'extrait de tableau présenté (cf. extrait 2 de transcription) correspond à un moment de repérage de la non pertinence d'un couplage par Priscilla, qui s'avère déterminante quant à l'évolution qui suit, même si celle-ci n'est pas immédiatement entendue de ses camarades et si une intervention de l'enseignante dans le même sens sera nécessaire un peu plus tard pour cela : « [le circuit] *doit faire une boucle* » (113), puis : « *c'est pas plutôt le courant ? [qui doit passer dans toute la boucle]* » (120), dit-elle en réponse aux propositions non pertinentes d'Imène : « *car le circuit va, doit tourner en rond* » (112) et « [le circuit] *doit passer dans toute la boucle* » (119) .

Outre la recherche d'un accord sur le choix à opérer, l'obligation de réaliser un document écrit semble intervenir dans le fait d'utiliser moins de sujets « flous » et dans la recherche de couplages pertinents. L'intervention de Priscilla que nous venons de voir se situe précisément lorsque l'équipe amorce l'écriture de son texte

Le suivi des interventions de plusieurs élèves permet de mettre en évidence des profils différents en ce qui concerne les différenciations conceptuelles réalisées. Ainsi pour Imène, comme nous pouvons le voir dans les deux extraits, les couplages sujet-verbe ne sont pas souvent pertinents sauf vers la fin du débat. Les sujets associés sont souvent interchangeables. Les étayages sur lesquels s'appuient les raisonnements sont généralement chargés affectivement et rarement vérifiables. Elle ne mobilise pratiquement jamais des connaissances scolaires. Priscilla, qui n'intervient pas pendant toute la première partie du débat, s'appuie quant à elle sur des connaissances scolaires. Elle propose des couplages qui sont le plus souvent pertinents et relève ceux, exprimés par ses camarades, qui ne le sont pas. Enfin Aïssatou emploie des couplages qui font intervenir des sujets « flous ». Elle reprend souvent les propositions d'Imène et n'a pas réalisé un début de différenciation conceptuelle. Alors que la première partie de l'étude pouvait laisser croire à une progression du groupe en entier d'un langage flou vers un langage plus univoque, indice d'une certaine différenciation conceptuelle, on constate dans cette deuxième partie que les élèves n'ont pas évolué de façon identique.

Pour interpréter les évolutions observées, on peut mettre en avant plusieurs éléments : dans une situation où les élèves ont à se mettre d'accord sur un choix et si des désaccords se manifestent, ils éprouvent le besoin de négocier les significations, de préciser ce qu'ils disent, de localiser la nature de leurs désaccords : cela les conduit à adopter un lexique plus spécifié, à s'interroger sur sa pertinence et à examiner les relations entre les différents termes qu'ils emploient. Enfin, la nécessité d'avoir à consigner par écrit les arguments qui président à leurs choix intervient simultanément dans le jeu de langage plus élaboré qu'ils se contraignent à employer. En référence à Grize, on est dans un processus de changement de « jeu de langage » : c'est le passage d'un premier type de jeu, le plus banal et le plus quotidien, celui du flou, à un deuxième type, relatif aux usages scientifiques et techniques de la langue. Il y a une amorce de différenciation conceptuelle mais qui est encore instable.

Références

- DOUAIRE Jacques (ed.), 2004, *Argumentation et disciplines scolaires*, Paris, INRP.
- FILLON Pierre et PETERFALVI Brigitte, 2004, « L'argumentation dans l'apprentissage scientifique au collège », *Aster*, Paris, INRP, n°38, pp. 151-184.
- GRIZE Jean-Blaise, 1996, *Logique naturelle et communications*, Paris, PUF.
- JAUBERT Martine et REBIÈRE Maryse, 2001, « Pratiques de reformulation et construction de savoirs », *Aster*, Paris, INRP, n°33, pp. 81-110.
- ORANGE Christian, 2000, *Idées et raisons*, Mémoire de HDR, Université de Nantes.
- POPPER Karl, 1991, *La connaissance objective*, Paris, Aubier.
- TIBERGHIEEN André et DELACÔTE Goéry, 1976, « Manipulations et représentations de circuits électriques simples chez les enfants de 7 à 12 ans », *Revue Française de Pédagogie*, Paris, INRP, n°34, pp. 32-44.
- TOULMIN Stephen, 1993 (traduction française), *Les usages de l'argumentation*, Paris, PUF.
- VYGOTSKI Lev S., 1985, *Pensée et langage*, Paris, Messidor.
- WEISSER Marc et MASCLÉ Eddy et RÉMIGY Marie-José, 2003, « Construction de la compréhension par l'argumentation orale en sciences. Expérience menée au cycle III », *Aster*, Paris, INRP, n°37, pp. 17-45.

Proposition d'une approche didactique pour une mise en perspective de l' « éducation à l'environnement pour un développement durable » à l'école primaire

FORTIN Cécile, Chercheur associé à l'USM Muséologie et médiation Science/société, MNHN, Paris, France

Introduction

Dans le cadre de la Stratégie Nationale du Développement Durable mise en place en juin 2003, le gouvernement français a initié, en s'appuyant sur les trente ans d'existence d'une éducation à l'environnement (EE¹), une politique de généralisation d'une "éducation à l'environnement pour un développement durable" (EEDD dans la suite du texte). Plus précisément, un ensemble d'initiatives (dans le cadre de la mission confiée par le premier ministre au professeur Michel Ricard) a orienté cette politique de généralisation. En outre, le rapport de deux inspecteurs généraux, messieurs Bonhoure et Hagnerelle (2003), a permis de faire un bilan précis de la situation de l'éducation à l'environnement dans l'enseignement scolaire en France.

Au-delà de la question du sens d'une éducation à l'environnement pour un développement durable qui suscite de nombreux débats parmi les acteurs éducatifs concernés, nous nous intéressons plus particulièrement aux possibilités et contraintes d'une telle démarche éducative à l'école primaire. Est-ce que cette nouvelle démarche, l'EEDD, a pris en compte les trente ans d'existence d'une EE ? Est-ce que les instructions officielles soulignent suffisamment les spécificités d'une telle démarche éducative dans le cadre de l'enseignement primaire ? Nous postulons que l'intégration de l'EEDD à l'école primaire doit reposer sur une réflexion rigoureuse, forte de trente années d'expérience d'une éducation à l'environnement (EE). Nous proposons dans le cadre de cette communication d'élaborer une réflexion théorique à propos de l'EEDD dans l'enseignement primaire, basée sur une approche didactique de l'environnement et du développement durable.

Cadre théorique

Même si nous nous intéressons à l'objet EEDD, nous nous situons ici dans une recherche en éducation à l'environnement telle qu'elle a pu être décrite par Goffin (1998-1999, p.60) : "*la recherche en ErE vise à améliorer les conditions et les processus d'intervention éducative, pour aider les personnes et les groupes sociaux à vivre plus qualitativement leur relation à un milieu de vie partagé avec d'autres, dont ils sont solidaires et envers qui ils sont responsables*"². A l'instar de Sauvé, nous considérons l'éducation relative à l'environnement

¹ L'EE est officiellement apparue dans l'enseignement scolaire avec la circulaire de 1977.

² Il faut distinguer l'expression d'Education relative à l'environnement (ERE) qui constitue un champ de recherches et de pratiques, qui est également l'appellation officielle pour un certain nombre de pays, des appellations officielles adoptées par la France : EE – éducation à l'environnement- et EEDD aujourd'hui. Notre

au sens large, c'est-à-dire une éducation qui “ *s'intéresse au réseau de relations qui existent entre les personnes, leur groupe social et les éléments naturels et transformés du milieu de vie* ” (Sauvé, 2001, p.28). Plus précisément, nous nous situons dans le champ de la didactique pour établir “ *une réflexion sur les contenus à enseigner* ” (Drouin, 1993, p.36), définissant ainsi une approche didactique de l'environnement et du développement durable. En effet, si le terme de didactique fait encore débat, c'est bien dans ce rapport au contenu que nous souhaitons cadrer notre recherche, à l'instar de Demounem et Astolfi (1996, p.4) : “ *les didactiques définissent des champs de recherche qui analysent les problèmes d'enseignement-apprentissage dans des champs notionnels spécifiques, en prenant comme point de vue directeur celui des contenus* ”.

Dans cette perspective, il est nécessaire de définir les contenus qui nous intéressent. Nous considérerons ici l'environnement comme “ *l'ensemble des éléments biophysiques (naturels et construits) du milieu de vie qui interagissent avec les êtres vivants de ce milieu de vie. Cet environnement concerne toutefois plus spécifiquement l'être humain, parce que celui-ci est à l'origine de transformations profondes du milieu, dont certaines sont créatives et positives, mais dont beaucoup ont engendré les problèmes environnementaux actuels. (...) Cet environnement est donc en étroite relation avec toutes les autres dimensions de l'environnement humain global : environnement politique, culturel, technologique* ” (Sauvé, 2001, p.28). Nous considérons par ailleurs la démarche de développement durable comme une réponse pragmatique et anthropocentrée aux problèmes socio-environnementaux, qui permet d'instaurer un dialogue entre le monde de l'économie et le monde de l'environnement (Vaillancourt, 1992, cité par Sauvé, 2004). Elle est généralement représentée par l'intersection de trois sphères : sociale, économique et environnementale, auxquelles certains auteurs rajoutent la sphère culturelle. De nombreux auteurs s'accordent à dénoncer le flou du concept et la nécessité de préciser ce que l'on entend par développement (humain et social ou économique ?) et par durabilité (qui constitue une interprétation approximative de l'anglais sustainable).

Questions de recherche

En reprenant les définitions citées dans le paragraphe précédent, nous voyons bien les questions qui se posent quant à l'intégration d'une EEDD au niveau de l'école primaire : quelle est la responsabilité des enfants de cet âge là dans les questions environnementales ? Quel est leur rapport à l'environnement abordé avec des aspects économiques et sociaux ? Comment perçoivent-ils ces problématiques ? Entre dogmatisme moralisateur, simplification abusive et une éducation à la complexité, quel peut être le sens d'une EEDD à l'école primaire ? Entre une réelle approche environnementale, sociale et économique et une simple étude de milieu dans une approche plus écologique, quelles sont les modalités d'une EEDD à l'école primaire ? Pour répondre à de telles questions, nous souhaitons amorcer la réflexion en réalisant une synthèse bibliographique de différents travaux qui éclairent cette problématique. Plus précisément, nous souhaitons tout d'abord reprendre différents travaux qui ont analysé les modalités d'une EE à l'école primaire. A partir de cette synthèse, nous souhaitons proposer des pistes de réflexion pour l'intégration de l'EEDD à l'école primaire.

Méthodologie

Nous avons constitué une revue de la bibliographique en envisageant plusieurs champs de recherche : des travaux portant sur les représentations des enfants pour l'environnement, la nature, la terre etc., des travaux étudiant les pratiques enseignantes relatives à l'environnement, des études portant sur le développement de l'enfant et son rapport à l'environnement, des résultats de recherches menées dans le champ de l'éducation relative à l'environnement. Deux critères de sélection ont déterminé les choix des travaux analysés. Nous avons retenu uniquement les travaux qui portaient spécifiquement sur l'école primaire ou sur des groupes d'enfants de 6 à 10/11 ans³ et qui présentaient une rigueur dans la bibliographie, la méthodologie etc. Nous avons exclu de cette synthèse bibliographique certaines études émanant d'organismes spécialisés dans le marketing auprès des enfants, et dont nous ne pouvons vérifier la rigueur méthodologique.

Résultats

Proposition d'une synthèse bibliographique pour cadrer les possibilités et les contraintes d'une EE à l'école primaire

Berryman (2003) estime que la tranche 6-12 ans, c'est-à-dire à peu près l'âge de scolarisation à l'école primaire, constitue l'âge idéal pour s'intéresser à son environnement extérieur. Avant, pendant la petite enfance, l'environnement est limité à la famille et la maison. Après, l'adolescence est marquée *“ par un retour à une intériorité psychologique et spatiale, par la pensée symbolique ou l'abstraction, et par des questions plus graves sur soi et le monde ”* (Berryman, 2003, p.216).

Plus précisément, entre 6 et 12 ans, l'enfant s'éloigne de la maison, explore librement le monde, c'est la période pendant laquelle l'enfant se lie intensément, se connecte effectivement et affectivement avec l'environnement biophysique, formant une symbiose fondamentale pour son identité personnelle : *“ l'enfant se lie (...) à l'environnement et apprend à s'y trouver ou s'y construire une place à lui. Il apprend à être bien dans le monde en dehors de sa famille et à y trouver une terre d'accueil. (...) En jouant dans la nature, l'enfant échange avec elle et apprend à se sentir bien dans le monde. (...) C'est concrètement qu'il se lie au monde dont il explore et manipule la structure ”* (Berryman, 2003, p.218). Dans cette perspective, pour cet auteur, une éducation à l'environnement qui tient réellement compte du développement de l'enfant devrait lui permettre avant tout d'explorer et de se “connecter” avec son propre environnement. Ce point de vue paraît partagé, ainsi Perazzzone, Camino et Bertolino (1999, p.106) estiment qu'une *“ très vaste littérature souligne l'importance d'un rapport intime et continu des enfants avec la nature ”*. De même, la plupart des écrits de praticiens et/ou de chercheurs en éducation à l'environnement qui étudient cette dimension éducative dans le cadre de l'école primaire semble également privilégier cette phase de connexion avec l'environnement : *“ le rôle de l'école primaire semble plutôt être celui de préparer des conditions telles que les élèves puissent assumer des responsabilités et s'engager dans des actions en faveur de l'environnement au cours des phases successives de sa formation. Une des conditions est la capacité « d'écouter » l'environnement et même passivement de se maintenir en contact profond avec le milieu naturel ”* (Mayer, 1991).

³ Exceptionnellement, nous avons exploité certains travaux portant sur le collège et plus précisément la classe de sixième quand ils permettaient de porter un regard sur les acquis et les représentations des élèves à la fin de l'école primaire.

Dans cette perspective, l'environnement immédiat semble privilégié : *“ l'environnement étudié est systématiquement celui de la commune où se trouve l'école. Cela donne aux jeunes une meilleure connaissance de leur lieu de vie et de ses problèmes spécifiques et permet une appropriation de leur environnement. Ils en deviennent les acteurs d'aujourd'hui et de demain ”* (Andreux, 2001-2002, p.162). Dans le cadre d'une première approche du vivant à l'école primaire, Guichard et Deunff (2001) précisent également cette notion d'environnement immédiat : *“ il s'agit d'aider les enfants à porter leur regard sur l'environnement immédiat de l'école ”*. Ceci correspond d'ailleurs à la vision qu'ont les élèves d'école primaire de la notion d'environnement. A titre d'illustration, dans une étude menée en Italie auprès d'enfants de 6 à 9 ans (Manfredi, Piro, Primavera, 1991), à la question *“ quelle signification a pour vous le mot environnement ”*, les responsables de l'enquête ont obtenu les réponses suivantes : environnement matériel proche pour 48% des réponses et la nature pour 12% des réponses. Une autre étude (Guichard, 1991) montre qu'effectivement la majorité des enfants définissent l'environnement au premier niveau comme *“ ce qui nous entoure ”* (28% des enfants interrogés, sachant que 49 % des enfants ne savent pas définir). Les autres enfants (23%) l'assimilent soit à la nature, soit à la pollution, soit à nature+ville. De même, une étude récente menée par Bidou (2002) sur le thème de l'eau souligne que pour les plus jeunes, l'eau est perçue dans une approche quotidienne et concrète.

Par ailleurs, la plupart des actions éducatives menées avec des classes de primaire s'inscrivent dans une approche globale, à la fois sensorielle et conceptuelle, de l'environnement. Pour Andreux, par exemple, il s'agit de *“ développer et enrichir la relation directe entre le jeune et son environnement quotidien (relation sensorielle, affective, émotive, cognitive...) ; d'amener le jeune à une meilleure perception de son milieu en développant ses sens, ses capacités d'observation, de compréhension, d'analyse et d'expression ”* (Andreux, 2001-2002, p.159). De même, l'analyse de modèles destinés à l'école primaire et uniquement à l'école primaire souligne cette tendance comme le montrent les extraits descriptifs suivants : *“ démarche écopédagogique visant à stimuler l'éveil sensoriel, sensible et conceptuel de l'enfant à l'environnement naturel ”* (Sauvé, 1997, p.235) ; *“ compréhension et appréciation de la terre (...) relation avec la nature fondée sur l'appartenance et non sur le contrôle. (...) sentiment d'empathie ”* (Sauvé, 1997, p.208).

Même s'ils dépassent le cadre de l'enseignement primaire, les travaux de Cottureau (1997, 2000) éclairent très précisément cette alternance entre découverte émotionnelle et approche plus rationnelle des milieux, dans le but de créer une véritable *“ relation de type écologique (se sentir chez soi) ”* (Cottureau, 2000, p.174). Cette proposition met en parallèle *“ des méthodes rationnelles d'étude du milieu (compréhension de l'écosystème littoral) et des méthodes subjectives d'appropriation affective du milieu (jeu libre, écriture poétique, art, petit milieu personnel...) ”*. Cottureau estime en effet *“ que pour modifier le regard des enfants sur l'environnement il ne suffit pas de leur faire comprendre les fonctionnements et dysfonctionnements des écosystèmes (...), mais que cet apprentissage cognitif doit s'accompagner d'un éveil de la sensibilité à ses ambiances et à ses paysages. Comment respecter un milieu s'il nous est indifférent ? Comment s'engager dans un changement de comportement plus citoyen vis-à-vis du milieu quand trop d'objectivité et de froideur nous l'ont affectivement éloigné ? (...) Une pédagogie du sensible, de l'émotionnel et de l'imaginaire semble devoir être introduite pour permettre une réelle rencontre avec l'environnement et l'établissement d'un lien « éco-logique » (de la logique de l'habitat) ”* (Cottureau, 2000, p.174).

Ces différents travaux nous montrent que l'EE à l'école primaire (en France, mais aussi dans d'autres pays) repose essentiellement sur une approche interprétative de l'environnement telle qu'elle a pu être caractérisée par Robottom et Hart (1993). L'objectif est de développer un rapport étroit (affectif, symbolique, cognitif etc.) et une compréhension de l'environnement dans une perspective d'empathie : *“ developing a sens of close rapport and empathy with the environment. This empathy is concerned with developing an appreciation of the environment ”*

as an individual personal value rather than a preparation for a vocation of a particular kind” (Robottom, Hart, 1993, p.22).

L'analyse de la bibliographie révèle également un point important concernant l'éducation relative à l'environnement avec de jeunes enfants : celui des problèmes environnementaux. Berryman (2003) estime en effet que parler de problèmes avec des enfants ne correspond pas à leur phase de développement et leur manière d'appréhender le monde et que c'est aux adultes de prendre avant tout leur responsabilité. Girault (1991) a également montré que la majorité des albums de bandes dessinées ayant pour thème des questions environnementales et réalisés pour les enfants avait pour objet de projeter sur des enfants des problèmes d'adultes qu'ils ne comprennent pas et pour lesquels ils ne peuvent nullement se mobiliser. Comme nous l'avons déjà vu, les enfants à l'âge de la scolarisation en école primaire sont dans une phase de connexion très forte avec le milieu qui les entoure. Pour un certain nombre d'auteurs, présenter les problèmes environnementaux à des enfants de cet âge là, c'est justement prendre le risque de casser le contact qui est en train de s'établir. A titre d'illustration, Berryman (2003, p.224) cite (et traduit librement) les propos de Sobel (1995) : *“ ma crainte est que notre curriculum environnementalement correct tende de manière similaire à distancer les enfants du monde naturel plutôt que de les connecter à celui-ci. (...) Si nous demandons prématurément aux enfants de faire face aux problèmes d'un monde adulte, nous les séparons de ce qui constitue possiblement des sources de leur force. Considérons alors de meilleures façons de supporter la tendance biologique des enfants à se lier avec le monde naturel ”*. D'autres chercheurs se demandent même si cette séparation avec le milieu de vie n'aura pas pour conséquence d'augmenter les problèmes : *“ la “ dénaturation ” progressive des enfants, un processus qui croît dramatiquement partout dans le monde, nous amène à nous interroger sur la profondeur et sur la gravité des changements que cela implique dans le développement de la personnalité, dans la capacité d'élaboration conceptuelle, dans les capacités à gérer et à coopérer à la sauvegarde des territoires et des ressources ”* (Perazzone, Camino et Bertolino, 1999, p.106). Par ailleurs, on peut se demander s'il est cohérent d'aborder avec les élèves certains problèmes environnementaux quand on sait la difficulté qu'ont les adultes à résoudre la plupart de ces problèmes. A l'instar de Bondergaard (1996, p.15) nous estimons que *“ actuellement, on ne peut, à un très haut degré, impliquer les jeunes enfants dans les nouvelles et difficiles interprétations du monde, ni dans les tâches concrètes qui requiert la recherche de modes de vie plus humains et plus respectueux de l'environnement. D'ailleurs, les adultes eux-mêmes ont à peine amorcé le renouvellement de ces interprétations et commencé la réorganisation de ces tâches. Il y a néanmoins beaucoup de choses à faire pour aider les enfants à s'engager dans cette voie ”*.

Il semble ainsi que la notion de problème environnemental ne soit pas une entrée pertinente pour aborder l'environnement à l'école primaire, surtout quand la démarche de résolution de problèmes n'a aucun sens par rapport à la réalité des élèves de primaire. Néanmoins, de nombreux auteurs reconnaissent la possibilité d'aborder certains problèmes, à condition qu'ils concernent les élèves, leur milieu de vie et qu'ils s'inscrivent dans leur champ d'action. Pour résumer, nous considérons que, dans la plupart des écrits recensés, les acteurs et les chercheurs en éducation à l'environnement privilégient dans le cadre de l'enseignement primaire une approche interprétative, basée sur un éveil sensoriel et cognitif qui vise une connexion avec l'environnement proche dans le but de rétablir des liens, de comprendre, d'apprécier cet environnement et éventuellement de résoudre par la suite certains problèmes qui ont pu être identifiés lors de cette phase exploratoire.

Perspective d'une EEDD à l'école primaire

Dans la circulaire de généralisation de l'EEDD, il est écrit : *“ à l'école primaire, l'éducation au développement durable est fondée sur l'acquisition de connaissances et de comportements ancrés dans une démarche d'investigation des problématiques liées à l'environnement. Les*

programmes de l'école primaire arrêtés le 25 janvier 2002 fournissent de nombreuses occasions d'aborder les questions se rapportant à l'environnement et au développement durable” (Circulaire n°2004-110 du 8-7-2004). Sur le site Eduscol (site officiel de l'Education nationale), quelques pistes de réflexion et de pratique sont proposées à la rubrique « L'EEDD à l'école primaire » : *“ l'éducation à l'environnement, d'ailleurs déjà largement développée dans les écoles ne présente pas de difficultés insurmontables : le croisement entre l'application des programmes de 2002 et le recours à un matériel simple et à des partenaires de proximité permettant aisément d'atteindre les objectifs visés. (...) La notion de développement durable paraît, en revanche, plus difficilement accessible aux élèves de l'école primaire. A ce niveau, le concept est difficile à pénétrer dans toute sa complexité. Il peut être cependant utile, en se fondant sur des exemples simples, d'entrer dans cette perspective. (...) L'âge des élèves concernés ne saurait justifier un enseignement limité à une approche simpliste et superficielle des enjeux. Le développement de comportements responsables ne peut se construire que par l'acquisition de connaissances scientifiques, géographiques et historiques fécondes ”*⁴.

Comme nous pouvons le constater, les instructions officielles mettent l'accent sur l'acquisition de connaissances et l'approche interprétative semble négligée. On peut donc retenir une première contradiction entre l'approche cognitiviste préconisée par les instructions officielles et l'approche interprétative privilégiée par les acteurs et chercheurs de l'éducation à l'environnement. Par ailleurs, les instructions recommandent d'entrer dans la perspective du développement durable. Or, pour certains auteurs, à l'instar de Berryman (1998, p.10), le constat est clair : *“ une brève lecture de la documentation relative au développement durable laisse apparaître rapidement et sans équivoque que la très vaste majorité des idées et des concepts relevant de ce discours ne sont pas appropriés pour les enfants. En effet, qu'est-ce que la durabilité pour un enfant? Qu'est-ce que le développement pour un enfant? (...) Imposerions-nous de la sorte nos propres angoisses aux générations futures? Pure folie que de vouloir ainsi faire porter aux enfants cette charge. Si l'idéologie du développement durable peut être discutée entre adultes, il m'apparaît assez clair qu'elle n'a aucune place dans les écoles primaires ”*. Cet auteur souligne par exemple, à propos de la notion de durabilité, que les enfants manipulent difficilement les concepts de futur et d'avenir à moyen et long terme. Et au-delà de la durabilité, c'est la notion même de temps qui pose problème avec les élèves d'école primaire, comme le montrent de nombreux travaux en didactique des sciences (citons par exemple Guichard et Guichard, 1997).

De plus, la démarche de développement durable a été mise en avant pour répondre aux problèmes socio-environnementaux, alors comment aborder le développement durable tout en évitant d'axer la démarche éducative sur la notion de problèmes environnementaux comme cela est recommandé par différents acteurs de l'EE et comme nous l'avons vu précédemment ? Les différents résultats issus de la synthèse bibliographique nous placent dans une certaine alternative : faut-il envisager comme priorité la construction d'un lien avec son milieu de vie ou bien s'engager avec les enfants dans la résolution de certains problèmes environnementaux, en privilégiant l'acquisition de connaissances et le changement de comportements ? Au regard des différents travaux analysés, nous postulons que dans le cadre de l'école primaire, la première voie nous semble avoir plus de sens.

Les résultats issus d'une évaluation préalable réalisée par l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (IRSNB, 1996) pour connaître les représentations des enfants sur l'environnement et le développement durable confirment ce choix. Il semble en effet qu'en dessous de 10 ans environ, les enfants manipulent peu et avec difficulté les notions relatives à l'environnement. Ils se limitent le plus souvent à énumérer divers écosystèmes. Ils n'ont pas d'approche globale, de perception des relations entre différents éléments, de perception des problèmes liés aux interventions de l'homme ni d'une prise de conscience des problèmes

⁴ Site Eduscol consulté le 14 novembre 2004.

environnementaux. Il nous semble dans cette perspective que l'approche systémique devrait être développée comme première approche du développement durable à l'école primaire. Il s'agirait essentiellement de montrer les relations qui peuvent exister entre les différentes composantes de notre milieu de vie. La démarche de développement durable pourrait être envisagée uniquement en abordant les liens entre l'environnement biophysique et la population qui habite, exploite, aménage le milieu de vie, et en évitant d'aborder des problèmes environnementaux déconnectés de ce cadre de vie et de la vie quotidienne des élèves.

Dans le cadre d'une EEDD à l'école primaire, c'est donc le rapport au milieu de vie qui pourrait être privilégié et ce dans une double perspective, sociale et environnementale. Dans la perspective environnementale, il s'agit de rétablir ce lien avec notre environnement biophysique. Dans une perspective plus sociale, il s'agit de voir quelle société habite ce milieu, comment elle le façonne, le transforme, s'en inspire... C'est dans cette perspective que nous menons actuellement une recherche collaborative avec 7 classes de primaire, privilégiant une approche locale, communautaire et concrète de l'environnement biophysique et social en abordant avec des élèves leur milieu de vie proche (Fortin-Debart, Girault, 2005).

Conclusion

On peut discuter du fait d'avoir réduit l'EE à la stratégie du développement durable en généralisant une EEDD, mais là n'est pas notre propos. Ce positionnement soulève pourtant un problème particulier à l'école primaire : alors que les différentes études menées en EE montrent qu'il faut privilégier une approche interprétative, qui associe un rapport sensoriel et cognitif avec notre milieu de vie, la démarche de développement durable introduit des notions complexes, économiques et sociales, centrant son propos sur des problèmes à résoudre etc. Pour autant, il semble possible d'aborder la démarche du développement durable non pas sous l'angle des problèmes et de la durabilité, mais davantage sous l'angle des liens systémiques entre le milieu de vie et les êtres humains et leurs activités, des interactions entre la sphère sociale et la sphère environnementale. L'EEDD au niveau de l'école primaire pourrait ainsi constituer une phase de découverte (sensorielle et cognitive) du milieu de vie des élèves, dans ses composantes biophysiques et humaines. Mais finalement, ne retrouve-t-on pas alors l'essence même d'une éducation relative à l'environnement centrée sur un éco-sociosystème (Goffin, 1998-1999) telle qu'elle est à pu être décrite par exemple par Sauvé (2001) ?

L'objet de cette communication était d'amorcer une réflexion nécessaire sur l'EEDD à travers une première approche didactique de l'environnement et du développement durable. Des pistes de recherche sont à explorer, il serait par exemple intéressant d'étudier, dans la perspective de la continuité   cole primaire-collège, la manière d'élargir l'environnement étudié et de passer du concret et du vécu à un degré d'abstraction plus élevé et plus global.

Références bibliographiques

- ANDREUX Christophe, 2001-2002, "Education à l'environnement en milieu scolaire et partenariat avec les collectivités territoriales – Une expérience en Auvergne", *Education relative à l'environnement. Regards-recherches-réflexions*, Villiers en Bois, Ifree, Vol. 3, pp.155-166.
- BERRYMAN Tom, 2003, "L'  co-ontogénèse : les relations à l'environnement dans le développement humain – d'autres rapports au monde pour d'autres développements", *Education Relative à l'Environnement, Regards-recherches-réflexions*, Montréal, Université du Québec    Montréal, vol. 4, pp.207-230.

- BERRYMAN Tom, 1998, *L'avenir viable, un développement insoutenable en éducation. Dix motifs pour s'y objecter et défendre les qualités de l'éducation et des relations au monde, communication présentée dans le cadre de la Journée de discussion sur les enjeux contemporains de l'éducation relative à l'environnement*, 17 juin 1998, Montréal.
- BIDOU Jean-Etienne, 2002, *L'eau et ses représentations. Une enquête chez les élèves de collège et lycée du Poitou-Charentes*, Villiers en Bois, Ifrée-Ore.
- BONDERGAARD John, 1996, *L'enfant et la nature*, in : *L'enfant, la nature et l'environnement*, Versailles, CRDP, pp.9-18.
- BONHOURE Gérard et HAGNERELLE Michel, 2003, *L'éducation relative à l'environnement et au développement durable. Un état des lieux. Des perspectives et des propositions pour un plan d'action*. Rapport à Monsieur le ministre de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Monsieur le ministre délégué à l'enseignement scolaire.
- COTTEREAU Dominique, 2000, "Evaluer la mise en forme du lien éco-logique", *Education relative à l'environnement. Regards-recherches-réflexions*, Arlon, Fondation universitaire luxembourgeoise, Vol. 2, pp.173-181.
- COTTEREAU Dominique, 1997, *Alterner pour apprendre. Entre pédagogie de projet et pédagogie de l'écoformation*, Montpellier, Ecole et Nature.
- DEMOUNEM Régis et ASTOLFI Jean-Pierre, 1996, *Didactique des sciences de la vie et de la terre*, Paris, Nathan.
- DROUIN Anne-Marie, 1996, *La pédagogie*, Paris, Desclée de Brouwer.
- FORTIN-DEBART Cécile et GIRAULT Yves, 2005, "Proposition d'une stratégie pédagogique pour une éducation à l'environnement : l'Agenda 21 d'établissement scolaire. Possibilités et contraintes à l'école primaire ", in : Colloque L'éducation à l'environnement et l'institution scolaire, La Rochelle, Ifrée, I.U.F.M de Poitou-Charentes, Université de La Rochelle, 2-3 juin 2005.
- GIRAULT Yves, 1991, "Analyse descriptives de bandes dessinées sur l'environnement", in : André Giordan, Jean-Louis Martinand et Christian Souchon, *Ecole et médias face aux défis de l'environnement*, XIIIèmes journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et industrielles, 29-30-31 janvier, Chamonix, pp.495-497.
- GOFFIN Louis, 1998-1999, "Pour une recherche en éducation relative à l'environnement centrée sur l'objet partagé ", *Education relative à l'environnement. Regards. Recherches. Réflexions*, Montréal, Université du Québec à Montréal, Vol.1, pp.41-63.
- GUICHARD Jack, 1991, "Une prise en compte de l'enfant dans une muséologie de l'environnement", in : André Giordan, Jean-Louis Martinand et Christian Souchon, *Ecole et médias face aux défis de l'environnement*, XIIIèmes journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et industrielles, 29-30-31 janvier, Chamonix, pp.512-517.
- GUICHARD Jack et GUICHARD Françoise, 1997, "Des objets muséologiques pour aider à traiter des obstacles en sciences et techniques ", *Aster*, n°24, Paris, INRP, pp.113-139.
- GUICHARD Jack et DEUNFF Jacqueline, 2001, *Comprendre le vivant. La biologie à l'école*, Paris, Hachette Education.
- Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, 1999, *Recherche exploratoire dans le cadre de la préparation de l'exposition Vivre ou survivre. Préconceptions des visiteurs à l'égard de l'environnement*.
- MANFREDI Anna, PIRO Enzo et PRIMAVERA Gara, 1991, "Une recherche-action en éducation à l'environnement ", in : André Giordan, Jean-Louis Martinand et Christian Souchon, *Ecole et médias face aux défis de l'environnement*, XIIIèmes journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et industrielles, 29-30-31 janvier, Chamonix, pp.376-381.
- MAYER Michaela, 1991, "Le projet de recherche ESI (Environment and School Initiatives) de l'OCDE-CERI ", in : André Giordan, Jean-Louis Martinand et Christian Souchon, *Ecole et médias face aux défis de l'environnement*, XIIIèmes journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et industrielles, 29-30-31 janvier, Chamonix, pp.151-155.
- PERAZZONE Anna, CAMINO Elena, BERTOLINO Fabrizio, 1999, "Institution scolaire et zones protégées du Piémont (Italie) : le cas particulier d'une expérience coordonnée ", *Aster*, n°29, Paris, INRP, pp.101-130.
- ROBOTTOM Ian et HART Paul, 1993, *Research in environmental education*. Deaking, Australie, Deaking University Press.
- SAUVE Lucie, 2004, "Entre culture commune et diversité culturelle ", in : Michel Ricard (Coord.), *Actes du Colloque international sur l'éducation à l'environnement pour un développement durable*, Paris, 14 et 15 avril 2004, pp.163-171.
- SAUVÉ Lucie (dir.), 2001, *L'éducation relative à l'environnement. Ecole et communauté : une dynamique constructive*, Montréal, Hurtubise.
- SAUVE Lucie, 1997, *Pour une éducation relative à l'environnement*, Montréal, Editions Guérin.

Analyse vidéo de l'apprentissage des sciences par les élèves : l'apport des gestes et des éléments saillants de la situation.

GIVRY Damien, Docteur en didactique des sciences physiques, UMR ICAR (CNRS, ENS LSH Lyon, ENS Lyon, INRP, université Lyon 2), Lyon, France

Introduction

Depuis les années 1970, la conceptualisation des connaissances des élèves en termes de *conception* a dominé la recherche en didactique des sciences. Il existe de nombreux travaux mettant en évidence des raisonnements d'élève qui diffèrent du point de vue standard de la science (ex. Pfundt & Duit, 2004). Plus récemment, certaines recherches se sont intéressées aux conditions responsables de l'évolution des conceptions des élèves vers les connaissances scientifiques (Posner & al. , 1982). Plusieurs modèles ont émergé de ces recherches sur le *changement conceptuel*, (notamment : DiSessa, 1993 ; Vosniadou, 1994). La plupart de ces travaux sur l'apprentissage se basent essentiellement sur les productions verbales des élèves. Cependant un certain nombre de recherches récentes en psycholinguistique suggère qu'il est insuffisant d'analyser l'apprentissage uniquement à partir des productions verbales des élèves. En effet, les gestes font entièrement partie de la communication et permettent, pour les personnes qui écoutent, d'avoir une description de certains aspects de la pensée qui ne sont pas (et parfois qui ne peuvent pas être) rendu uniquement par le verbal (McNeill, 1992). Plus récemment encore, certains travaux sur les *interactions* envisagent des approches théoriques et méthodologiques pour décrire comment la pensée s'articule simultanément à travers plusieurs ressources sémiotiques que sont la parole, les gestes et les éléments (matériels) saillants de la situation (Goodwins, 2000). Cette communication s'inscrit dans un travail plus général qui propose une nouvelle approche théorique des *conceptions* basée sur l'articulation simultanée de : la parole, les gestes et les éléments matériels rendus saillants par les participants de l'interaction (Givry & Roth, à paraître). À partir d'exemples empiriques provenant d'une étude sur l'évolution des idées d'élèves de Seconde au cours d'un enseignement de physique sur les gaz (Givry, 2003), nous proposons de montrer l'apport de ce type d'analyse basée sur ces trois modalités (la parole, les gestes et les éléments saillants de la situation) par rapport à une analyse uniquement basée sur la parole.

Cadre théorique

Le terme geste est défini comme "un mouvement du corps, de la main, des bras" (Nouveau Petit Larousse, 1971). Différents types de gestes ont été identifiés à travers ce qui est appelé "le continuum de Kendon" (McNeill, 1992) :

Gesticulation → Langage comme les gestes → Pantomime → Emblème → Langage des signes.

Suivant le mouvement partant de la gauche et allant vers la droite de ce continuum, trois changements sont importants : (a) l'obligation de la présence de la parole diminue, (b) la présence de propriétés du langage augmente (ex. la grammaire) et (c) les gestes

idiosyncratiques (sans formes spécifiques) sont remplacés par des systèmes de signes avec une grammaire explicite. Dans ce continuum, “*gesticulation*” et “*langage comme des gestes*” sont idiosyncratiques et réfèrent à des mouvements spontanés des mains qui accompagnent la parole. La différence entre ces deux catégories est que la “*gesticulation*” est synchronisée avec la parole, alors que “*le langage comme les gestes*” est grammaticalement intégré dans la phrase en prenant la place d’une partie de la parole. Dans la “*pantomime*”, les mains décrivent des objets ou des actions sans la nécessité d’utiliser la parole ni de structure grammaticale spécifique (Louis de Funès utilise beaucoup ces gestes dans ces films). Les “*emblèmes*” sont des gestes qui peuvent être utilisés sans aucune parole et avec une forme standard : montrer son majeur est un emblème utilisé en France pour insulter une autre personne. Finalement, le langage des signes possède toutes les propriétés d’un système linguistique et est généralement utilisé sans la parole. Dans ce travail, le terme “*geste*” fait référence à la “*gesticulation*” et au “*langage comme des gestes*”. Ces types de geste sont regroupés en quatre catégories : (a) les battements, qui accompagnent rythmiquement la parole ; (b) les déictiques, qui consistent à pointer quelque chose avec le doigt, la main ou le bras ; (c) les iconiques sont des mouvements de main ou de bras qui décrivent des objets ou des événements concrets et (d) les métaphoriques sont des mouvements de main ou de bras qui décrivent des objets ou des événements abstraits (McNeill, 1992). Dans notre étude, nous nous focaliserons sur les gestes déictiques, iconiques et métaphoriques.

Plusieurs recherches en sciences cognitives montrent comment les éléments de la situation influencent l’activité humaine en considérant que la cognition est distribuée à travers ces éléments (entre autres Hutchins, 1995). Des études récentes en linguistique, sur des situations hors de la classe, montrent similairement que la communication est distribuée entre les acteurs et la situation (Goodwin, 2000). Par exemple, la compréhension d’une dispute entre deux élèves jouant à la marelle nécessite de reconstruire le sens qui émerge simultanément des structures contenues dans le langage, les gestes et le terrain de la marelle dessiné sur le sol. En effet, certains éléments saillants de la situation (révélés par les participants à travers leurs discours et leurs gestes) sont nécessaires pour comprendre la discussion entre ces deux élèves. La parole, les gestes et les éléments saillants de la situation sont des ressources sémiotiques qui forment le sens global du discours des participants. Ces ressources ne peuvent pas être remplacées entre elles sans perdre une partie du sens global car chacune de ces ressources est exprimée à travers des modalités différentes. De plus, les éléments saillants de la situation sont révélés par “un processus dynamique dans le temps dont le déroulement s’accomplit à travers le réarrangement des structures du discours, du corps des participants, des objets, de l’espace, et de la forme du matériel sur lesquels sont focalisés les participants”¹ (notre traduction de Goodwin, 2000, p. 1519).

Questions de recherche

De manière générale, ce travail essaie de répondre à la question “comment étudier l’apprentissage des élèves au cours d’un enseignement de physique ?”. Au cours de ce travail nous essaierons de répondre aux questions suivantes : (a) quelle est la contribution des gestes dans l’analyse de l’apprentissage des élèves ? et (b) quel est l’apport des éléments saillants de la situation pour étudier l’apprentissage des élèves ?

¹ “a dynamic, temporally, unfolding process accomplished through the ongoing rearrangement of structures, in the talk, participants’ bodies, relevant artifacts, spaces, and features of the material surround that are the focus of the participants’ scrutiny” (Goodwin, 2000, p. 1519).

Méthodologie

Pour répondre à ces questions, nous avons réutilisé les données collectées lors d'une précédente recherche sur « l'étude de l'évolution des idées des élèves de Seconde durant une séquence d'enseignement sur les gaz » (Givry, 2003).

Contexte scolaire et participants

Un groupe (composé d'enseignants et de chercheurs en didactique des sciences) a élaboré une séquence d'enseignement¹ sur les gaz d'une durée d'un mois destinée à des élèves de Seconde (15-16 ans). Le but de cet enseignement est de permettre aux élèves de décrire le comportement des gaz à partir (a) des grandeurs macroscopiques (pression, volume, température et quantité de matière) et (b) leurs interprétations au niveau microscopique (chocs et vitesse des molécules). Nous avons observé, à l'aide de questionnaires, 7 classes dans lesquelles cette séquence a été enseignée. Deux classes ayant la même enseignante ont été étudiées plus en profondeur (entretiens filmés et vidéos d'élèves en cours) : l'une contenant une majorité d'élèves voulant suivre un cursus littéraire et l'autre un cursus scientifique. Pour avoir un échantillon représentatif de chacune de ces classes, des élèves de niveaux différents ont été sélectionnés à partir des informations fournies par leur enseignante.

Collecte des données

Trois types de données (questionnaire, entretien filmé et vidéo d'élèves en classe) ont été utilisés pour étudier les réponses des élèves sur le comportement des gaz. En tout, l'ensemble de nos données se compose : de 420 questionnaires, 14 heures d'enregistrement vidéo d'entretien avec 14 élèves, 48 heures de vidéo de classe avec les mêmes 14 élèves, et approximativement 160 pages de leurs productions écrites. Pendant un mois, quatorze élèves ont été filmés en train de faire la séquence d'enseignement sur les gaz. En complément, ils ont été sollicités pour un entretien et un questionnaire avant et après cet enseignement.

Analyse vidéo

Les bandes vidéos ont été numérisées au format QuicktimeTM, et codées à l'aide du logiciel Kronos². Pour cette étude 70 extraits vidéo ont été sélectionnés parmi les vidéos : (a) de classe et (b) des entretiens ; tous mettent en évidence l'utilisation simultanée de la parole, des gestes et des éléments saillants de la situation et montrent la nécessité d'analyser simultanément ces trois modalités pour comprendre les discussions entre les élèves. Notre étude a commencé par une analyse personnelle de nos vidéos. Conformément aux préceptes de l'*Interaction Analysis* (Jordan et Henderson, 1995), nous nous sommes regroupés régulièrement pour analyser les extraits vidéo et discuter de l'émergence de certaines assertions. Ces assertions ont ensuite été testées sur l'ensemble de nos vidéos. Nos extraits vidéo ont été discutés par un groupe composé de dix chercheurs. Chaque extrait vidéo, donné dans ce travail, a été analysé par un minimum de trois chercheurs (spécialistes dans l'analyse des gestes dans l'apprentissage de la physique) jusqu'à ce qu'un accord commun sur les interprétations soit établi. Ce genre d'interprétation collective nécessite d'explicitier les critères utilisés pour interpréter les vidéos et permet par la suite de faire apparaître ces critères dans nos transcriptions.

¹ La séquence d'enseignement est téléchargeable à l'adresse <http://nte-serveur.univ-lyon1.fr/pegase>

² Le logiciel kronos peut être téléchargé à l'adresse : <http://www.univ-tlse2.fr/lte/kronos/>

Résultats

Nos résultats sont présentés à partir d'études de cas illustrant que : (a) les gestes peuvent créer un sens différent, (b) les gestes sont polysémiques et (c) les éléments saillants de la situation peuvent contenir la majeure partie du sens. Notre analyse des relations entre la parole, les gestes et les éléments saillants révèle des liens consistants, que l'on retrouve dans l'ensemble de nos données vidéos (en classe et pendant les entretiens). Pour chaque étude de cas, nous avons suffisamment d'exemples de ces liens, pour les substituer plusieurs fois avec d'autres exemples.

Les gestes dans la communication

La parole et les gestes sont deux ressources sémiotiques différentes, qui expriment différents aspects du même sens pendant la communication. Nos exemples montrent qu'il existe des situations dans lesquelles la parole ne peut pas être analysée sans les gestes, car un aspect essentiel du sens est contenu dans les gestes. Nous analysons dans un premier temps la parole toute seule, pour aller vers une seconde analyse de la même transcription verbale avec l'addition des gestes.

Étude de cas 1 : les gestes créent un sens différent

L'épisode 1 se déroule durant un entretien filmé de trente minutes entre l'élève Anne et l'intervieweur Damien. L'épisode commence par la réponse d'Anne à la question suivante : "Quelle est la répartition des molécules dans trois ballons de baudruche, si le premier est rempli d'air, le second de gaz de ville et le troisième d'hélium ?"¹

Épisode 1 : répartition des molécules dans trois ballons remplis d'air, de gaz de ville et d'hélium

01 Anne : ouais j'pense ouais, y'a dans l'air ben déjà dans l'air, y'a que des molécules de partout

02 Damien : ouais

03 Anne : dans le gaz j'pense que c'est pareil et dans l'hélium y'aura p't'être, p't'être plus (rires), ça le fait monter, ça le fait pas, y sera pas tirer en bas

Anne dit : "dans l'air, y'a que des molécules de partout" (ligne 01). Cette phrase ne précise pas s'il s'agit de l'air contenu dans le ballon de baudruche ou dans la pièce. Compte tenu de la question portant sur la répartition des molécules dans les ballons de baudruche, nous interprétons cette phrase comme signifiant que les molécules sont partout dans le ballon rempli d'air. Nous interprétons ensuite la phrase d'Anne "dans le gaz j'pense que c'est pareil" (ligne 03) comme suggérant que les molécules sont aussi de partout dans le ballon rempli de gaz de ville. Finalement, concernant les molécules dans le ballon d'hélium, nous interprétons sa phrase : "dans l'hélium y'aura p't'être, p't'être plus" (ligne 03) comme signifiant qu'il y aura plus de molécules dans le ballon rempli d'hélium. Anne justifie cette explication par le fait que le ballon d'hélium monte alors que les deux autres descendent. Comment cette interprétation va changer si maintenant nous considérons les gestes associés à la parole ?

¹ Code de transcription : (RIRE) – les commentaires du chercheur sont mis entre parenthèses; [] - les crochets indiquent la synchronisation des gestes avec la parole ; - (le tiret) - un tiret indique qu'un mot ou une phrase a été interrompu avant sa formulation complète ; , (la virgule) - les virgules indiquent de courtes pauses qui sont inférieures 0.5 seconde ; (1.8) – indique le temps d'une pause en seconde ; : (double points) - les doubles points indiquent un allongement d'une syllabe d'environ 0.1 seconde.

Au cours de l'épisode 1, Anne fait une dizaine de gestes. Chacun de ces gestes apporte un aspect nouveau à ce qu'elle dit. Cependant, pour des raisons de longueur de l'analyse, nous avons choisi le geste qu'elle fait durant la description du ballon d'hélium (ligne 03).



et dans l'hélium [y'aura p't'être], p't'être plus
[geste 1]

Anne dit "y'aura p't'être" en effectuant simultanément un geste en deux parties : (1) elle monte sa main puis (2) elle effectue une rotation vers la gauche. Ce geste en deux parties peut être interprété de différentes façons : il peut signifier que quelque chose : (a) monte, (b) monte et se répartit, (c) bouge de gauche à droite... Dans notre précédente analyse basée uniquement sur la parole, nous interprétons la phrase d'Anne comme signifiant qu'il y a plus de molécules dans le ballon rempli d'hélium. En effet, la phrase "dans l'hélium" peut référer au ballon rempli d'hélium et la phrase "p't'être plus" au nombre de molécules. Si maintenant, nous analysons simultanément la parole et le geste, le contenu du discours peut être interprété différemment. En effet, la phrase "y'aura p't'être, p't'être plus" peut faire référence à la répartition des molécules dans le ballon rempli d'hélium et le geste peut donner une image de comment les molécules sont réparties dans le ballon. En fait, la première partie du geste peut suggérer que les molécules sont situées vers le haut du ballon et la seconde partie peut spécifier comment elles sont réparties le long de la paroi du haut du ballon. À travers le geste et la parole, Anne communique qu'il y a plus de molécules en haut du ballon rempli d'hélium. Cette nouvelle interprétation est très différente de la précédente (il y a plus de molécules dans le ballon rempli d'hélium). Elle montre que dans ce cas, il n'est pas possible d'interpréter le discours d'Anne sans les gestes, car ils contiennent un aspect essentiel de ce qu'elle veut communiquer. C'est pourquoi, la parole ne peut pas être interprétée sans les gestes qui lui sont associés.

Les gestes sont polysémiques

Les gestes sont polysémiques ce qui signifie qu'il existe plusieurs façons d'interpréter le même geste. Dans la section suivante, nous montrons pourquoi il n'est pas possible d'analyser les gestes sans la parole qui leur est associée.

Étude de cas 2 : les gestes ne peuvent pas être analysés sans la parole qui leur est associée

Au cours de la troisième leçon de la séquence d'enseignement, Anne a utilisé le même geste pour exprimer des événements ayant des significations très différentes. Ce geste consiste à regrouper le pouce avec le reste des doigts de la main (Figure 1) :



Figure 1 : Anne regroupe son pouce avec le reste de ses doigts (ce geste est nommé geste 2)

Le geste 2 peut être interprété différemment, il peut signifier que quelque chose : (a) se rapproche, (b) diminue, (c) est plus serré, (d) se comprime... De plus, l'interprétation de ce geste peut changer en fonction de la chose à laquelle il réfère : l'air, la seringue, la pression, les molécules... Cet exemple montre que l'on ne peut pas interpréter le geste sans la parole qui lui est associée.

Regardons maintenant la même situation avec la parole associée au geste. Cet épisode se déroule 10 minutes 24 secondes après le début du cours, lorsque Anne discute avec les autres élèves de son groupe (Marie, Ellen et Adèle) d'une question leur demandant : "de pousser le piston d'une seringue connectée à un pressiomètre et d'observer comment varie la pression de l'air dans la seringue."

Épisode 2 : on diminue le volume de la seringue

- 01 Anne : et après c'est quand on appuie
[quand on rape- quand on rapetissit le volume] quand on-
[geste 2]
02 Marie : quand on rapetississe (RIRE)

Avant cet épisode Anne explique à Adèle ce qu'elles doivent faire durant cette question. Elle précise (avec des mots et le geste 2) que la manipulation nécessite de « rapetissir » (diminuer) le volume de la seringue (ligne 01). Nous interprétons : "le geste 2 + la production verbale ("quand on rapetissit le volume")" comme signifiant que le volume de la seringue diminue. Quatre minutes plus tard, Anne va utiliser le même geste pour expliquer à Marie que l'air "se comprime" dans la seringue. Trente seconde plus tard, cette fois Anne utilise ce geste pour signifier que l'air "exerce une pression partout" dans la seringue. Environ dix-neuf minutes plus tard, Anne reproduit le même geste pour décrire le comportement des molécules dans la seringue. Durant ce cours d'une heure, Anne va utiliser le geste 2 avec quatre significations différentes. Ce qui illustre la polysémie des gestes ; d'où la nécessité d'associer la parole aux gestes pour reconstruire le sens exprimé par les élèves.

Éléments saillants de la situation

La précédente section montre que l'analyse du discours entre des élèves nécessite la prise en compte simultanée des gestes et de la parole. Par conséquent, l'étude des conceptions des élèves requiert ces deux ressources sémiotiques pour définir notre unité d'analyse. Dans cette section, nous avons des exemples qui supportent le fait que les éléments saillants de la situation véhiculent une partie du sens exprimé par les élèves et qu'ils peuvent, dans certains cas, contenir la majeure partie de l'explication des élèves. C'est pourquoi, ils sont nécessaires à la compréhension du discours des élèves et doivent être inclus dans notre unité d'analyse. Les gestes déictiques (pointer un objet ou un événement) et les mots déictiques (là, ici, ça, ceci, cela...) sont des outils utilisés par les participants pour communiquer les éléments qu'ils trouvent saillants dans la situation.

Étude de cas 3 : utilisation des éléments saillants de la situation

Pour illustrer, le rôle des éléments saillants dans la situation, nous donnons d'abord une première analyse d'une transcription contenant les gestes et la parole, pour ensuite aller vers

les gestes sont polysémiques et nécessitent la parole qui leur est associée pour être compris ; et (c) une analyse basée uniquement sur la parole et les gestes n'était pas suffisante pour étudier le sens exprimé par les élèves, car il arrive que la majeure partie du sens soit exprimée par les éléments saillants de la situation révélée. Par conséquent, nous proposons de constituer notre unité d'analyse à partir de la parole, des gestes et des éléments saillants de la situation. Afin d'éviter les confusions avec les précédentes recherches sur les conceptions basées uniquement sur la parole, nous décidons d'appeler cette unité d'analyse une *idée*. Par conséquent l'étude des conceptions des élèves est maintenant envisagée à travers comment les élèves articulent leurs idées l'articulation des idées à travers ces trois modalités. De plus, avec cette nouvelle définition, le changement conceptuel est maintenant envisagé à travers l'évolution des idées au cours du temps à travers ces trois modalités.

Bibliographie

- diSessa, A. (1993). *Toward an epistemology of physics*. Cognition and Instruction, Vol. 10(2 & 3), pp. 105-225.
- Givry, D. (2003). *Étude de l'évolution des idées des élèves de seconde durant une séquence d'enseignement sur les gaz*. Thèse, Université Lumière Lyon 2, Lyon.
- Givry, D. & Roth, W.-M. (à paraître). *Toward a New Conception of Conceptions: Interplay of Talk, Gestures, and Structures in the Setting*. Journal of Research in Science Teaching
- Goodwin, C. (2000). *Action and embodiment within situated human interaction*. Journal of Pragmatics, 32, 1489–1522.
- Jordan, B., & Henderson, A. (1995). *Interaction analysis: Foundations and practice*. The Journal of Learning Sciences, 4, 39–103.
- McNeill, D. (1992). *Hand and mind: What gestures reveal about thought*. Chicago: University of Chicago Press.
- Nouveau Petit Larousse, (1971). Paris : Librairie Larousse.
- Pfundt, H., & Duit, R. (2004). *Bibliography: Students' and teachers' conceptions and science education*. Kiel: IPN.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). *Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change*. Science Education, Vol. 66, pp. 211-227.
- Séré, M.-G. (1985). *The gaseous state*. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp. 104–123). Milton Keynes: Open University Press.
- Vosniadou, S. (1994). *Capturing and modeling the process of conceptual change*. Learning and Instruction, Vol. 4(1), pp. 45-69.

L'éducation relative à l'environnement au miroir de l'écologie

HAMDI Ali

Introduction

La dégradation de l'environnement est à juste titre l'une des plus grandes préoccupations de l'humanité aujourd'hui, dans sa quête en vue de veiller sur l'avenir de notre planète et d'améliorer la qualité de la vie sur notre terre, tant en milieu urbain qu'en milieu rural. Dans ce contexte, l'école, qui occupe une place centrale dans le développement de la société et qui devient un passage obligé pour l'avenir, revêt une importance critique pour ce qui est de promouvoir un *développement durable* et d'améliorer les capacités des individus pour s'attaquer aux problèmes d'environnement. L'enseignement de l'écologie qui se base surtout sur les relations des êtres vivants avec leur milieu autour du concept central d'écosystème et qui se résume à des sorties scolaires pour la découverte de la faune et la flore, pour l'acquisition d'une conscience environnementale et d'une idée de protection de la nature qui ne concerne que les territoires vides d'hommes, reste dans les réserves. En effet, plusieurs observateurs s'accordent pour dire qu'une partie du *malaise* actuel des apprenants (ressortissants de l'école) provient de leur incapacité à penser le progrès et donc à se projeter dans l'avenir. Cet intérêt pour l'écologie, qui constitue pour nous une discipline que nous avons enseignée pendant plusieurs années en milieu scolaire, et l'une des préoccupations majeures à travers les activités d'animation des clubs d'environnement, affirme notre souci d'élaborer une problématique plus englobante d'une éducation relative à l'environnement dans laquelle les programmes et les manuels scolaires prennent part avec les enseignants qui les appliquent.

La perspective socioconstructiviste de la science écologique

La science, comme tout savoir est le fruit de plusieurs controverses, et par la suite ne peut pas échapper, ni à la subjectivité, les projets...de ces producteurs ; ni aux conditions sociales et économiques dans lesquelles elle est produite. Cependant, le savoir produit par les scientifiques est alors une explication et une interprétation construite intellectuellement, socialement et culturellement. En effet, son progrès s'est fait à travers des paradigmes scientifiques (Kuhn, 1970) qui sont des cadres de référence ou des manières de percevoir et de comprendre le monde que les scientifiques ont adoptés, et non à travers une accumulation des connaissances pour augmenter le répertoire des savoirs. Quels sont alors les grands moments du développement de l'écologie ? Et comment cette science est-elle construite ?

Le développement conceptuel

Le mot « écologie » est entré dans le langage quotidien et aussi politique au commencement des années 1970, mais l'écologie est d'abord une discipline scientifique digne d'intérêt et ce pour plusieurs raisons qui lui sont propres, elle est, en effet, une science nouvelle dont l'indépendance scientifique date d'un peu plus d'un siècle. Par conséquent, l'écologie offre un

sentier historique assez caractéristique, marqué notamment par un nombre important d'emprunts conceptuels à des sciences associées comme la biologie, la zoologie et la botanique, entre autres. Tentons tout d'abord de montrer brièvement comment s'est construite dans l'histoire des disciplines relatives au vivant cette écologie pour examiner son développement conceptuel. Les auteurs se mettent d'accord sur le biologiste allemand Ernst Haeckel qui a créé le mot écologie en 1866, bâti comme économie de la nature (Deléage, 1992 ; Acot, 1988 ; Drouin, 1993), il provient du grec *oikos* signifiant habitat, maison, demeure et *logos* (discours, science). La définition de Haeckel la plus fréquemment citée est la suivante : «*Par oekologie, nous entendons la totalité de la science des relations de l'organisme avec l'environnement, comprenant au sens large, toutes les conditions d'existence*» (Delcage, 1992, p. 8) en s'inspirant de plusieurs auteurs comme Karl Von Linné qui a postulé pour une disposition des êtres vivants considéré comme l'expression de la sagesse d'un dieu créateur. En effet, l'écologie prend sa source à la rencontre de plusieurs courants, dont le principal consiste en l'étude de la répartition géographique des végétations ou phytogéographie. Au cours du dix-huitième siècle, les expéditions scientifiques sont en plein essor. De ce fait, les personnes impliquées dans ces longs voyages cherchaient également les occasions d'enrichissement sur le plan économique. D'ailleurs, les plantes exotiques comme, la pomme de terre, la betterave, le tabac se chargeront bientôt d'en fournir la preuve. Les paysages végétaux, par leur diversité et leur régularité de répartition peuvent avoir une cause dans la naissance de l'écologie. Autrement dit, les sortes de plantes portent une information relevant de ce qui va devenir l'écologie au cours du dix-neuvième siècle. C'est à Alexandre de Humboldt que l'on attribue la compréhension des mécanismes qui mènent à la régularité que l'on peut percevoir dans la répartition des végétaux sur de vastes territoires. En entamant ses recherches à partir des pistes de travail suggérées par Humboldt, le botaniste genevois Augustin-Pyramus de Candolle est parvenu à élaborer une importante contribution au développement de la géographie botanique dans la première moitié du dix-neuvième siècle, pour l'apparition de plusieurs concepts comme «*formation végétale*» en 1838 par le botaniste allemand Grisebach et «*groupes physiologiques*» en 1874 par Alphonse de Candolle. Tout ces botanistes se trouvent, en quelque sorte, à préparer le terrain pour l'éclosion d'une nouvelle spécialité de la botanique : l'écologie végétale. Nous ne pouvons pas cependant, négliger les travaux de Darwin et son livre l'origine des espèces. En fait, ces pionniers de l'écologie tentaient de découvrir les divers modes de l'adaptation actuelle des végétaux et des animaux à leur environnement. Nous pouvons dire, enfin, en rejoignant Drouin «*que l'on se fixe la naissance de l'écologie scientifique à la fin du dix huitième siècle, époque des premiers essais de géographie botanique, ou en 1859, date de la parution de l'origine des espèces...l'écologie a existé bien avant que quiconque songe à en faire un parti ou à la considérer comme un phénomène sociologique bien avant même*» (Drouin, 1993, p.194). Actuellement, définie comme l'étude des relations des organismes avec leur milieu, l'écologie s'intéresse à l'étude des relations qui déterminent la distribution et l'abondance des organismes, ou encore à l'étude des écosystèmes.

L'écologie est une science socialement contingente

Nous ne reviendrons pas sur l'histoire de la construction de l'écologie comme discipline scientifique, mais plutôt nous voulons nous centrer sur l'évolution des sciences, en l'occurrence, les impacts sociologiques et culturels qui ne peuvent être raisonnablement assimilés sans une vision historique. En effet, et en adoptant le paradigme socioconstructiviste, nous ne pouvons que mettre en exergue l'intersubjectivité entre plusieurs acteurs dans la compréhension du monde. De la sorte, la connaissance produite est le résultat d'interprétations partagées entre individus situés dans des contextes sociaux, culturels et physiques données qui orientent et influencent son élaboration, l'intersubjectivité et les interactions sociales se trouvent donc au centre du processus de *création* des connaissances

scientifiques. Grâce à ces interactions, des connaissances émergent suite à des recherches collaboratives exploitant l'idée de l'importance des interactions sociales et de l'intersubjectivité, permettant ainsi, à une communauté de leurs accorder une certaine valeur (Désautels et Larochelle, 1989 ; Fourez, 1985). Une telle conception de la connaissance n'autorise pas pour autant le chercheur à tomber dans un relativisme naïf qui considérerait que toutes les connaissances s'égalent ou que le socioconstructivisme n'accorde pas d'importance à la rigueur et à l'honnêteté du chercheur dans sa démarche de recherche. Bien au contraire, la vision socioconstructiviste du savoir savant apporte surtout l'idée que le chercheur ne peut prétendre avoir accès à l'objet tel qu'il existe mais qu'il a accès à une forme et à un contenu particuliers de l'objet tel qu'il l'aura rigoureusement conçu.

Vers une précision de notre question de recherche

Qu'est-ce qu'une conception ?

Une définition généralement reçue des conceptions est la suivante : *« c'est un univers construit de significations, mettant en jeu des savoirs accumulés et plus ou moins structurés, proches ou éloignés des connaissances scientifiques qui leur servent de références »* (Clément, 1994). Les conceptions forment le modèle explicatif, la grille de lecture de la réalité, du monde. Elles interviennent dans l'identification de la situation, dans la sélection des informations pertinentes, dans leur traitement et dans la production de sens. Elles forment un tout où se mêlent connaissances scientifiques, croyances, idéologies, dimensions émotionnelles, affectives et esthétiques, ... Elles ont une genèse à la fois individuelle et sociale. C'est le fruit de l'expérience antérieure. Ce concept est très utilisé suite à un nombre impressionnant de recherche dans le domaine de la didactique des sciences, tant chez les élèves que chez les enseignants, toutes ses recherches s'accordent sur leur prise en compte car s'avèrent, la plus part du temps, génératrices d'obstacles à l'apprentissage pour les élèves et à la pratique enseignante.

L'élaboration des programmes et des manuels

Depuis quelques années, nous avons vu se répandre une prise de conscience de l'importance du matériel didactique pour la réussite scolaire. Cette perception a, toutefois, amené divers chercheurs à se concentrer sur l'approvisionnement en livres comme domaine d'investissement, et à s'intéresser aux manuels scolaires et aux guides de l'enseignant par opposition au développement du livre en général. En effet, les éléments de la réforme qui s'y retrouve et, les reproches épistémologiques, didactiques et pédagogiques qui y persistent sont, fort probablement, le résultat d'un problème de « re-culturation » de la conception d'un manuel scolaire.

Après cette présentation des cadres théorique, conceptuel et épistémologique qui sous-tendent notre recherche et qui nous en permis de donner les fondements des perspectives que nous avons adopté pour orienter nos recherches et les situer, nous attardons à décrire le contexte et les réflexions qui sont à l'origine de notre problématique. En effet, nos préoccupations de recherches peuvent être résumées dans les questions suivantes :

Quelles sont les conceptions véhiculées par les enseignants des sciences naturelles au secondaire à propos du savoir écologique, de son historicité et sa production ?

Comment les textes officiels et les manuels scolaires du secondaire approchent-ils l'enseignement de l'écologie ?

Pourrons-nous introduire une éducation relative à l'environnement dans les programmes d'écologie au secondaire ?

Le choix de l'approche de recherche

L'approche de recherche retenue a des implications sur la conception de la stratégie de collecte et de traitement des données. Nous les exposerons et nous dégagerons aussi les principaux éléments de la littérature sur lesquels nous appuyons notre réflexion pour aboutir à la conception détaillée de la recherche. En effet, l'enquête vise à établir des conclusions, toutefois, comme elle ne porte pas, sauf exception, sur l'ensemble de la population de référence mais sur une fraction seulement de celle-ci, elle risque d'être d'un intérêt limité parce que trop ponctuelle. Notre but dans la présente recherche est de faire une analyse qualitative pour en déduire quelques éléments de réponse car la recherche, disait De Ketelle *« est un processus systématiquement et intentionnellement orienté et ajusté en vue d'innover ou d'augmenter la connaissance dans un domaine donné »* (DE KETELLE et ROEGIERS, 1996, p.91). Pour ce faire, nous avons choisi un échantillon de onze professeurs venant de deux régions différentes à savoir, une région urbaine (la capitale : Tunis) et une région rurale (Tabarka). Pour la construction des outils de collecte des données, nous nous sommes parti du constat, que les conceptions circulent dans les discours et les messages, sont portées par les mots, après un long travail de préparation nous avons opté pour l'utilisation de deux types d'outils :

- L'entretien pluriel (de groupe) en interviewant deux professeurs en même temps pour favoriser une sorte de discussion afin de gagner du temps et de susciter des interactions susceptibles de recueillir le maximum d'informations. Les thèmes sollicités dans cette première collecte de données sont multiples et portent sur la nature du savoir écologique, les conditions de sa production en vue de chercher la dimension sociale, son histoire et son enseignement et c'est autour de ces thèmes que nous avons formulé les questions de notre protocole d'entretien, pour dévoiler les informations.
- L'étude des documents officiels et des manuels scolaires de sciences naturelles pour chercher les directives et les orientations de l'enseignement de l'écologie et voir si ces instructions favorisent-elles une effective éducation relative à l'environnement.

Analyse et discussion des résultats de la recherche

Des conceptions de l'écologie qui peuvent se constituer en obstacles aux approches didactiques

Il ressort en premier lieu que la majorité des enseignants interrogés assimilent le savoir écologique à la rigueur de la méthode scientifique parfaitement programmée et qui commence par l'observation de la réalité voire même réduite à cette observation comme si l'observation même « naïve » constitue une opération de « démasquage » de dévoilement et de découverte du savoir caché pour être approprié et « produit » par le biais des sens en observant la nature, ce savoir constitue alors une sorte de cueillette des données et les scientifiques ne sont que des découvreurs ou des « trouveurs » qui partent, nous semble-t-il, à

l'aventure sans but précis. Cette explication munie d'une extériorisation du savoir par rapport au sujet connaissant pourrait faire obstacle à la construction du savoir, à l'abstraction, à la conceptualisation. De la sorte, les enseignants interviewés ont du mal à comprendre pourquoi la « découverte » d'un chercheur échappe à son contemporain s'ils observent la même réalité. Toutefois, chaque scientifique qui observe la réalité la questionne grâce à ses *a priori*, fait abstraction des idées, problématise, discute et interprète. En effet, le savoir écologique n'est jamais conçu comme une tentative d'explication, il est plutôt, définitif, imposé à la société et ne pourrait, sans doute, faire objet de discussion et d'interprétation. Les passages suivants en témoignent :

Le savoir écologique c'est ce j'ai étudié à la faculté.

C'est en faisant des sorties et suite à l'observation des milieux et des phénomènes que le savoir écologique naît.

Le savoir écologique ne fait que traduire la réalité.

Tel qu'il est conçu, le savoir écologique est bien dans la calme sérénité des connaissances éternelles et non dans les ruptures conflictuelles et historiques de sa construction. Néanmoins, certains enseignants sont peu conscients du rôle que peut jouer l'histoire des connaissances dans la construction difficile du savoir mais éliminent totalement les facteurs sociaux et culturels et considèrent les connaissances comme additionnelles et itératives indéfiniment pour faire augmenter un répertoire suite au seul développement des outils d'observation et de mesure. En effet, les chercheurs ne sont plus considérés comme « *membres d'une communauté socio-historique travaillant dans le cadre d'un paradigme défini, mais comme des individus impersonnels et isolés dont les principales qualités sont la probité intellectuelle, le désintéressement, la neutralité et l'impartialité* » (El Hattab, 2002, p. 114). Cette conception de l'écologie –et peut-être des sciences en général– qui s'inscrit dans une perspective empirico-réaliste et qui fait du savoir une simple émanation du milieu extérieur, ne laisse plus la chance aux apprenants en tant que sujets connaissant, de faire usage de leurs capacités intellectuelles et de leur esprit critique, pourrait constituer un véritable obstacle aux approches didactiques.

Une histoire énumérative de l'écologie

Les points de vue des sujets questionnés sur l'historicité du savoir écologique concordent avec la narration et l'énumération des faits ponctuels et des événements qui se succèdent dans le temps. En effet, tous les enseignants interviewés citent *Haeckel* comme le père fondateur voire le découvreur de cette science sans jamais parler des dimensions socioculturelles, épistémologiques et paradigmatiques de l'époque. Ces conceptions semblent s'articuler à une vision traditionnelle de la socialité des sciences isolant ainsi les sciences des sociétés. De ce point de vue, parler de l'histoire de l'écologie, c'est pas retracer le développement de cette science en relation avec toutes les dimensions, les enseignants oublient que l'histoire des sciences disait Feltz « *montre que toute théorie, en sa première ébauche, comporte des imprécisions, voire des incohérences, cette prise de conscience ne conduit pas à un rejet de la théorie mais à un travail d'affinement des concepts* » (Feltz, 2003, p. 27). Par ailleurs, l'histoire de toute science et en l'occurrence l'écologie n'est pas réduite à la description des événements chronologiques qui se succèdent dans le temps. De la sorte, s'intéresser à l'histoire de l'écologie, c'est se centrer sur les milieux anciens, sur la relation de l'homme à ces milieux, sur ces modes de vie, mais est-il possible de refaire les mêmes pratiques anciennes ? Les milieux restent-ils encore les mêmes ?

Pour la question du rôle de l'histoire de cette science dans l'enseignement, les professeurs l'utilisent comme des notions introductives et énumératives pour décrire des faits, des événements voire des « inventions » détachées de leurs contextes tout en restant fidèles à leurs conceptions de l'évolution des connaissances. Nous pensons que cette position didactique de l'enseignement de l'écologie et son historicité, qui est à notre avis surprenante,

ne favorise en aucun cas la construction d'un savoir relatif à l'environnement, d'une culture voire une conscience environnementale et apporter des remèdes et des solutions à ses problèmes. Il s'agit, en fait d'un modèle qui fait table rase des apprenants qui ont leur propre vision du monde, leurs pratiques et leurs conduites. Cette écologie « vérité » avance d'une manière croissante sans vrais liens avec l'épistémologie et les autres sciences humaines qui sont d'ailleurs vues comme spéculatives et incertaines, se limitant à enrichir l'esprit et démunies de toutes pratiques.

Que disent les textes officiels et les manuels scolaires

Le manuel scolaire est un héros si familier du théâtre de la classe, c'est un objet bien identifiable qu'il évoque nécessairement l'enfance et qu'il semble remonter aux débuts de l'école. Cet outil usuel qu'on oublie parfois de réfléchir à sa nature et à sa fonction et aussi à ses applications des programmes officiels. Dans ce qui suit, notre analyse tentera de mettre en évidence l'approche environnementale à partir de l'enseignement de l'écologie.

En Tunisie, il y a un manuel unique pour chaque niveau scolaire et ce manuel est en général l'œuvre d'un collectif de quatre à cinq auteurs qui sont généralement des enseignants *expérimentés* et des inspecteurs. Ce manuel est évalué par un ou plusieurs universitaires spécialistes de la discipline mère. En effet, les manuels sont soumis à des commissions d'évaluation constituées par l'administration et les critères sur lesquels, un manuel est adopté ou rejeté ne sont pas des critères didactiques ou pédagogiques ; ce sont des critères d'ordre scientifique essentiellement. Les spécialistes de la pédagogie et de la didactique sont plus au moins écartés. Pour la morphologie, l'éditeur souhaite séduire le plus grand nombre d'enseignants et d'élèves. En effet, l'écologie est enseignée d'une façon principale en deuxième année de l'enseignement secondaire dont le manuel comporte 202 pages. Il fonctionne comme tous les autres manuels sur le modèle de la double page. Mais la partie qui nous captive en premier lieu et qui s'intéresse de l'écologie et de l'environnement comporte 130 pages. Quant au contenu, ce manuel juxtapose des chapitres repérés chacun par un titre pour que les professeurs et les élèves en classe ou en dehors de la classe puissent puiser selon leurs besoins. Ces chapitres sont dans l'ordre :

- Notion d'écosystème : étude pratique d'un milieu (23 pages) ;
- Classification des êtres vivants du milieu étudié (17 pages) ;
- Répartition de la végétation en Tunisie (17 pages) ;
- Interactions entre les êtres vivants (6 pages);
- La production secondaire (19 pages) ;
- La photosynthèse et la production primaire (22 pages);
- Préservation des écosystèmes (17 pages) ;
- Divers types d'écosystèmes en Tunisie : les parcs nationaux (11 pages).

Cette description nous amène à noter l'absence d'objectifs éducatifs essentiels à savoir l'attitude raisonnée et responsable que doit avoir l'élève vis-à-vis de son cadre de vie, en cohérence avec le développement durable et la préservation, de la biodiversité du milieu en relation directe avec l'éducation relative à l'environnement. Il s'agit, en effet, de sensibiliser les élèves au respect de l'environnement et à la citoyenneté. En effet, un enseignement de l'écologie et des écosystèmes mettant en dehors l'Homme ne peut plus parvenir à une approche environnementale basée sur l'analyse et la maîtrise des risques inhérents que nous causant nous-mêmes. Il ne permet pas, en outre, de comprendre l'environnement de façon active et d'impliquer l'individu dans son contact avec son milieu pour prendre en compte l'environnement de manière globale.

En guise de conclusion

Au terme de cette analyse sommaire des conceptions que se font les enseignants d'écologie et des manuels scolaires qu'ils utilisent, il importe enfin d'insister pour que le débat ne glisse pas vers une méprise. Une telle conception de l'écologie, comme externe au sujet connaissant, déracinée des facteurs culturels et socio-économiques, ne peut que démolir l'esprit critique chez l'apprenant. Ce n'est pas l'absence d'une éducation relative à l'environnement explicite qui dérange, mais la demande d'un effort et d'une transformation profonde qui demeure l'une des dimensions de l'éducation contemporaine. Etant soucieux d'introduire une *effective* éducation relative à l'environnement, de permettre à l'élève de se sentir responsable de son apprentissage pour devenir acteur et comprendre le rapport de l'Homme à l'environnement pour que cet éduqué devienne éducateur. Il importe de concourir pour sauver notre propre milieu de vie et assurer la survie de l'espèce humaine entre autres. Du fait qu'aujourd'hui, nous sommes conscient de l'incapacité manifeste des pays les plus avancés sur le plan scientifique, à résoudre les problèmes environnementaux par opposition aux problèmes artificiels de type laboratoire sans l'intervention de tous les citoyens. Nous nous centrons nos recherches sur le rôle que peut jouer l'éducation dans le déploiement de nos potentialités à gérer l'environnement à travers nos propres choix. Tel est l'enjeu.

Bibliographie sommaire

ACOT Pascal, 1988, *Histoire de l'écologie*, Paris, Presses Universitaires de France.

CLEMENT Pierre, GIORDAN André et GIRAULT Yves (dir.), 1994, *Conceptions et Connaissances*. Berne, Peter Lang.

De KETELLE, Jean Marie et ROEGIERS, Xavier, 1996, *Méthodologie du recueil d'information*, Paris/Bruxelles, De Boeck.

DELEAGE, Jean Pierre, (1992), *Histoire de l'écologie*, Paris, Editions la découverte.

DESAUTELS Jacques et LAROCHELLE Marie, 1989, *Qu'est-ce que le savoir scientifique ? Points de vue d'adolescents et d'adolescentes*, Québec, Les Presses de l'Université laval.

DROUIN, Jean-Marc, 1993, *L'écologie et son histoire*, Paris, Flammarion.

EL HATTAB Ahmed, 2002, *L'écologie et son enseignement*, Casablanca, Afrique Orient.

FELTZ Bernard, 2003, *La science et le vivant*, Bruxelles, De Boeck.

FOUREZ Gérard, 1985, *pour une éthique de l'enseignement des sciences*, Lyon/Bruxelles, Chroniques sociales et Vie ouvrière.

HAMDI Ali, Juin 2004, « l'environnement : Quels enjeux ? », *La Presse*, p.3.

HAMDI Ali, 2005, « de l'écologie à l'éducation relative à l'environnement », in XV^{èmes} Journées Nationales de la Biologie, Hammamet, 19-22 Mars.

KUHN Thomas Samuel, 1970, *La structure des révolutions scientifiques*, Paris: Flammarion éd.

VERNIOUX Alain, 2003, *L'explication dans les sciences*, Bruxelles, De Boeck.

Manuel scolaire tunisien de sciences naturelles de 2^{ème} année secondaire, 2003, Centre National Pédagogique.

Les sciences physiques dans leur fonction de service par rapport à la technologie au lycée professionnel

JOUIN Béatrice, PLP et formatrice à l'IUFM de Créteil, UMR STEF (ENS Cachan, INRP), Paris

Introduction

Comment penser l'enseignement des sciences physiques en lycée professionnel ? Dans ce contexte scolaire, où les élèves suivent une formation technologique les menant à une qualification professionnelle, la fonction des sciences physiques demande à être clarifiée, et en particulier ses relations avec la technologie. Cette analyse est la condition pour faire des propositions d'enseignement fondées. Ce travail a été mené et évalué dans le cas de la modélisation des interactions mécaniques en lycée professionnel, pour des élèves en formation dans le domaine de la mécanique automobile au niveau BEP (Jouin, 2000).

Les élèves de lycée professionnel suivent une formation qui leur permet d'accéder à des postes d'ouvriers qualifiés dans un domaine professionnel particulier. Ils préparent un Certificat d'Aptitude Professionnelle (CAP) ou un Brevet d'Études Professionnelles (BEP), puis un Baccalauréat Professionnel. La formation comprend une partie d'enseignement dit « général » et, pendant environ quinze heures hebdomadaires, un enseignement dit « professionnel ». Contrairement à une formation en apprentissage chez un maître de stage où les jeunes sont placés dans une organisation du travail réellement professionnelle, l'enseignement en lycée professionnel reste dans le cadre scolaire. Il relève d'une formation disciplinaire technologique, tout en maintenant une référence forte à des pratiques professionnelles (Pepel, 2000). La partie proprement professionnelle de la formation a lieu à l'occasion des stages en entreprise que les élèves doivent effectuer dans leur cursus.

Questions de recherche

Les sciences physiques en L.P. : quelles fonctions ?

Martinand distingue, selon les contextes scolaires et les visées de formation, des disciplines ayant une fonction de cœur « lorsqu'elles sont discipline de base de la formation ; de service dans une filière fondée sur d'autres spécialités ; dans tous les cas une fonction d'ouverture » (1992, p. 61).

La fonction d'ouverture d'une discipline comprend les approches, les méthodes et les savoirs qui lui sont propres et qui permettent d'appréhender avec un regard averti et des outils de pensées pertinents une situation nouvelle, les objets et les questions afférentes.

Le concept de "discipline de service" a d'abord été utilisé en mathématiques. Howson et Kahane (1988) soulignent, dans la note de synthèse d'un colloque sur ce thème, l'effet motivant produit par le choix d'exemples pris dans le champ professionnel des étudiants,

l'intérêt de privilégier l'aspect fonctionnel de l'enseignement, la nécessité d'une bonne connaissance des deux disciplines et des relations entre elles et enfin l'importance de continuer à développer les modes de pensée propres à la discipline, la "culture mathématique" en l'occurrence.

En lycée professionnel, dans ce contexte de formation technologique, c'est la technologie de spécialité du domaine professionnel qui a une fonction de cœur. L'enseignement scientifique n'a alors de sens que s'il s'inscrit dans cette perspective de formation technologique et y apporte une contribution. Il devrait donc prendre essentiellement une fonction de discipline de service par rapport à la technologie (Jouin, 2000). Une confrontation entre les deux disciplines est nécessaire pour légitimer cette proposition.

Quelles conséquences pour l'enseignement ?

Comment proposer un enseignement de sciences physiques qui assume cette fonction de discipline de service, tout en poursuivant ses finalités propres de manière à maintenir sa fonction de discipline d'ouverture ? Comment penser cette articulation avec la technologie ?

Les relations entre enseignements scientifiques et technologiques mises en évidence dans des formations à caractère général relèvent soit de l'application des connaissances scientifiques à des phénomènes ou des objets techniques (Layton, 1991 ; Martinand, 1998) ou à des problèmes de la vie courante (Cajas, 1999), soit de l'étude d'objets techniques en introduction à l'enseignement scientifique afin de faciliter la compréhension (Layton, 1991) ou de favoriser la motivation (Gilbert, 1994), soit enfin de l'adaptation des démarches scientifiques à l'étude d'objets techniques et de procédés techniques (Luc, 1998 ; Martinand, 1998).

La question se pose différemment dans le contexte du lycée professionnel. Scache (1993), partant du constat d'échec scolaire qui détermine l'orientation des élèves en L.P. (Pepel & Troger, 2003) et des résultats insatisfaisants en physique aux examens, propose une stratégie d'apprentissage centrée sur un va-et-vient entre un objet technique, qu'il étudie sous tous ses aspects, y compris analytiques et fonctionnels, et un objet expérimental permettant la modélisation. Ainsi, l'enseignement de la physique contribue à une meilleure connaissance des objets techniques et prend du sens, donc améliore la motivation et la réussite des élèves. Nous rejoignons Scache dans la référence aux objets techniques et dans les méthodes d'apprentissage qu'il propose, mais notre problématique diffère de la sienne car nous privilégions la fonction de service des sciences physiques en L.P. alors qu'il s'en tient à leur fonction d'ouverture.

La comparaison entre disciplines permet de repérer les complémentarités et les synergies mais également les oppositions, dans les contenus à enseigner et les compétences à développer. Des propositions curriculaires peuvent ainsi être faites et argumentées, qui privilégient ce qui peut contribuer à la formation technologique des élèves ou la renforcer, et qui tiennent compte également des spécificités de chaque discipline.

Cadre théorique et méthodologie

Le cadre théorique

Pour mener cette confrontation entre disciplines, nous avons utilisé le schéma de la modélisation à trois registres de Martinand (1996). Il permet en effet de caractériser les trois

registres d'une discipline – matrice cognitive, référent empirique et modèles - à prendre en compte dans une perspective d'enseignement de la modélisation, ce qui est le cas pour les disciplines concernées. L'étude des articulations entre les registres permet en effet d'envisager les ruptures et les continuités à gérer pour l'apprentissage. De plus, il peut servir de cadre pour l'analyse de la physique comme de la technologie et en permet donc la comparaison.

Méthodologie

La comparaison entre sciences physiques et technologie a été menée au niveau BEP dans le domaine de la Maintenance des Véhicules Automobiles et dans le cas de la mécanique, plus particulièrement de l'étude des interactions mécaniques. La mécanique étant enseignée dans les deux disciplines, elle peut donner matière à comparaison.

Le corpus choisi pour cette analyse est constitué des instructions officielles, qui déterminent le curriculum prescrit, et des manuels scolaires de ce niveau qui, utilisés par les enseignants pour préparer ou illustrer les cours, donnent des informations sur ce qui est possible de mettre en œuvre, en conformité avec les programmes, et constituent donc le « curriculum potentiel ».

Les prescriptions concernant l'enseignement dit « professionnel » figurent dans le « référentiel du diplôme ». Il comporte une partie concernant les « savoir faire », ce qui correspond à la partie pratique de la formation et est rédigé en termes de compétences, et une partie intitulée « savoirs technologiques associés », qui précise les savoirs à maîtriser. Les programmes de sciences physiques fixent les finalités de cet enseignement et ses contenus : connaissances à acquérir et compétences à développer. La référence à la formation technologique est présente tant dans les objectifs – « les élèves doivent trouver des réponses aux questions que pose la technologie » pour le niveau BEP - que dans les propositions d'activités – « les exemples illustrant le cours seront préférentiellement pris dans le champ du métier ».

Concernant les contenus d'enseignement, la confrontation porte sur les parties « technologie » et « mécanique » des « savoirs technologiques associés » du référentiel du diplôme et les parties « objectifs » et « repos et mouvement » du programme de sciences de BEP. Mais la formation consistant également en une acquisition de compétences, les relations entre les deux disciplines ont été analysées sous cet aspect aussi, en choisissant comme corpus les objectifs du programme de sciences et la partie du référentiel du diplôme centré sur les savoir-faire.

Une séquence d'apprentissage du concept de force a ensuite été élaborée puis passée dans une classe de Terminale BEP Maintenance des Véhicules Automobiles, afin d'en évaluer la pertinence par rapport au fonctionnement des sciences physiques comme discipline de service.

Résultats

La confrontation entre sciences physiques et technologie

Dans le registre de la matrice cognitive

La technologie et la physique sont des disciplines approchant la rationalité de deux manières différentes, l'efficacité et la responsabilité pour la première, l'intelligibilité pour la seconde.

Cela se traduit, au niveau d'étude et dans la filière considérés, par des différences dans les finalités des deux disciplines : compréhension du fonctionnement en vue de l'intervention sur le véhicule en technologie de l'automobile, acquisition de savoirs et de méthodes en vue d'expliquer ou de prédire des phénomènes en physique.

Dans le registre du référent empirique

Conséquence des finalités différentes, les objets ne sont pas regardés de la même façon dans les deux disciplines.

En technologie, les objets sont étudiés dans leur complexité, d'un point de vue :

- fonctionnel : « citer les caractéristiques fonctionnelles principales du système ou du composant » ;
- structurel : « localiser par ses frontières extérieures le système ou le composant dans son environnement » et en « identifier [...] les éléments constitutifs » ;
- analytique : « énoncer les phases de fonctionnement et les identifier [...], la relation entre variable d'entrée et de sortie du système ou du composant [...], les principes ou lois physiques qui régissent le fonctionnement du système ou du composant ».

Ce sont des systèmes composés d'éléments liés entre eux ou des parties de systèmes plus complexes, tous désignés précisément. Dans le domaine de la maintenance automobile, les systèmes appartiennent au véhicule automobile et sont étudiés en fonctionnement et dans les cas de dysfonctionnements. Les objets intervenant dans les interactions étudiées dans les manuels peuvent être rigides, liquides (eau, huile) ou gazeux (mélange air-essence, air).

En physique, les objets sont idéalisés. Ce sont des objets de différentes natures, de la vie courante, objets techniques divers ou de laboratoire. Leur fonction d'usage n'est pas prise en compte, mais seulement les caractéristiques pertinentes par rapport à la question étudiée.

Les expressions utilisées – "un solide" ou "le solide", "un fluide" dans le cas des forces pressantes - renvoient à un objet isolé, en interaction avec d'autres objets certes, mais qui ne s'intègre pas nécessairement dans un système et n'est pas composé - en tout cas ce n'est pas ce qui est considéré - de plusieurs éléments comme les systèmes mécaniques de la technologie.

Dans le registre des modèles

L'analyse des instructions officielles montre des différences dans les modèles utilisés dans les deux disciplines : le modèle utilisé en technologie pour interpréter les interactions mécaniques dans un système est celui d'« action mécanique ». Il permet d'interpréter l'équilibre ou le mouvement d'objets susceptibles d'avoir un mouvement de translation et/ou de rotation par rapport à un axe et est mis en relation avec le concept de « liaison mécanique », qui étudie les différents types de liaisons existant entre deux éléments d'un système et permettant les deux types de mouvements.

La plupart des propriétés de l'action mécanique sont identiques à celles de la force ou du moment d'une force, mais la "transmissibilité au niveau d'une liaison mécanique" (Agati, 1989, p. 67) est spécifique à la technologie. Dans les manuels de technologie de l'automobile, c'est la force qui est utilisée, mais cette propriété demeure quand il est question de « la force exercée sur la surface du piston est transmise à la crémaillère par une liaison mécanique » ou « des pneumatiques doivent transmettre l'effort moteur et l'effort de freinage » (Mémeteau, 1989).

La représentation graphique des forces n'est pas homogène dans les différents schémas du manuel, l'extrémité du vecteur étant parfois placée à l'endroit du point d'application de la force. La représentation évoque dans certains schémas une idée d'entrée et de sortie.

Du point de vue des compétences

Concernant les compétences à développer dans ce domaine professionnel, le référentiel les regroupe en quatre grandes capacités : « communiquer », « traiter-décider », « réaliser » et « évaluer ». Ce sont les capacités « réaliser » et « traiter-décider » qui ont le plus d'importance, car liées à l'intervention sur le véhicule. La partie « traiter-décider » fait une part importante au processus de diagnostic de panne : « inventorier les anomalies », « concevoir le processus diagnostic » et « réaliser le diagnostic ».

En sciences physiques, les compétences à développer relèvent de la résolution de problèmes et de la démarche expérimentale.

Conclusion : spécificités et complémentarités des deux disciplines

La confrontation entre la technologie de l'automobile et les sciences physiques met ainsi en évidence des spécificités, tant dans les finalités, le regard sur les objets, les modèles utilisés que dans les compétences à développer. Pourtant, elle montre aussi qu'il est possible d'envisager des complémentarités ou des synergies en ce qui concerne :

- les finalités, dans la mesure où la technologie fait référence à la physique et utilise certains savoirs enseignés en sciences physiques ;
- l'étude des objets, car l'approche scientifique peut être envisagée comme l'une des composantes de l'approche technologique : quand est traité le principe de fonctionnement du système,
- les modèles, car l'action mécanique recouvre en partie ceux de force et de moment d'une force des sciences physiques ;
- les compétences, car la recherche de paramètres influant sur un phénomène et l'émission d'hypothèses suivie d'une validation expérimentale peuvent être comparées à la démarche de diagnostic de panne.

Seule la propriété de transmission d'une force à travers une liaison mécanique est en opposition avec les propriétés de la force en physique.

Par ailleurs, certaines ambiguïtés se rencontrent dans les termes ou les représentations graphiques : les expressions « système » ou « action de... sur... », utilisés dans les manuels de sciences physiques, peuvent prêter à confusion, et certains concepts utilisés en technologie de l'automobile – force motrice, couple moteur, adhérence et force centrifuge – demandent clarification.

En conclusion, dans la mesure où la technologie utilise certains savoirs qui sont enseignés en sciences physiques, et exige certaines compétences convergentes avec celles développées en sciences, l'enseignement scientifique peut effectivement contribuer à la formation

technologique et professionnelle des élèves. Considérer les sciences physiques comme une discipline de service par rapport à la technologie paraît donc légitime.

Proposition de séquence d'enseignement

Les choix didactiques concernant les contenus d'enseignement et les stratégies d'apprentissage sont guidés à la fois par le souci d'assumer cette fonction de service et par la prise en compte des difficultés rencontrées par les élèves, mises en évidence dans différentes recherches (Viennot, 1977 ; Ménigaux, 1986 ; Lemeignan & Weil-Barais, 1994 ; Jouin, 2000).

Choix didactiques dans les contenus d'enseignement

Dans la séquence concernant l'apprentissage du modèle de force pour des élèves en formation dans le domaine de la maintenance automobile, le référent empirique comprend des exemples de la vie courante, mais surtout des systèmes techniques appartenant au véhicule automobile et mettant en jeu un problème technique à résoudre. Les objets proposés dans les problèmes à étudier peuvent être rigides, mais aussi liquides et gazeux. Ils peuvent se trouver tantôt en équilibre et tantôt en mouvement, les systèmes d'un véhicule pouvant le plus souvent se trouver alternativement dans les deux situations. Il est donc nécessaire de rompre avec la manière habituelle d'enseigner la mécanique, qui présente de façon séparée, dans le curriculum et les manuels, la statique, la dynamique et la résistance des matériaux (étudiée dans la partie « matériaux et structure de la matière » dans le programme de sciences physiques au niveau BEP) et d'étudier dans une unité plus cohérente ces différents aspects du modèle.

Concernant les propriétés et les forces particulières étudiées, sont privilégiées celles qui sont utilisées en technologie de l'automobile. L'étude d'équilibres ou de mises en mouvement s'est limitée à des objets soumis à deux forces, le cas d'objets soumis à trois forces ayant peu d'applications dans ce domaine technologique et pouvant se résoudre par la décomposition des forces selon deux directions. La transmission des forces au niveau d'une liaison mécanique en technologie ne pouvant faire l'objet d'un compromis avec les propriétés du modèle physique, sont présentées en parallèle la logique et le discours des deux disciplines.

Deux forces sont étudiées en particulier pour leur importance dans ce domaine technologique : les forces pressantes et les forces de frottement.

Une attention particulière doit être portée aux termes utilisés afin d'éviter les ambiguïtés avec ceux du domaine professionnel. Pour désigner les objets en interaction, le terme « objet » est préféré à celui de « système » ou de « solide », le premier en raison de l'ambiguïté avec les systèmes techniques et le second parce que les phénomènes proposés mettent en jeu des objets rigides, mais aussi fluides. L'« action de... sur... » ne sera pas utilisée dans le sens d'un modèle précurseur de la force mais uniquement dans un sens événementiel. Enfin, les concepts de force motrice, couple moteur, adhérence et force centrifuge sont discutés à l'occasion de différentes leçons.

Choix de stratégies d'apprentissage

Nous nous sommes situés dans une approche de type construction de savoirs, nous référant à la « méthode expérimentale » décrite par Develay (1989). Le fonctionnement en discipline de service impose également des choix concernant les stratégies d'apprentissage :

- Le questionnement de départ d'une leçon s'appuie sur un problème technique issu du domaine professionnel des élèves qu'il s'agit de résoudre à la fin de la leçon. Il vise à

mobiliser les connaissances technologiques des élèves et à favoriser le transfert des connaissances scientifiques dans des situations technologiques.

- La recherche de paramètres influents sur un phénomène et l'émission d'hypothèses suivies d'une validation expérimentale sont des phases présentes dans la plupart des leçons car elles permettent de développer des compétences convergentes avec celles concernant la conception et la réalisation d'un processus de diagnostic de panne en maintenance automobile.

Discussion

Évaluation de la séquence

Ces orientations didactiques ont été évaluées du point de vue de leur contribution à la formation technologique, par des observations en classe, où certaines séances ont été enregistrées en vidéo, des tests avant et après enseignement, et des entretiens quelques mois après la passation. Dans les entretiens, les huit élèves interrogés se disent effectivement motivés par le problème technique proposé en début de leçon et la phase expérimentale. Ils ont tous perçu le lien entre la démarche expérimentale suivie et une démarche de diagnostic de panne. Les stratégies pédagogiques proposées s'avèrent être pour eux non seulement une source de motivation, mais également une aide pour l'apprentissage (4 élèves). Leur représentation du véhicule automobile a progressé. Ils mentionnent dans les entretiens de nombreux systèmes et phénomènes du véhicule faisant intervenir des forces, y compris certains qui n'ont pas été évoqués dans la séquence. Ils sont capables de transférer de façon satisfaisante les propriétés étudiées en physique pour décrire qualitativement le comportement d'un véhicule sur une route ou l'équilibre d'un objet soumis à deux forces, y compris quand il est posé sur le sol - difficulté qui avaient été repérées chez des élèves de L.P. en début d'enseignement (Jouin, 2000). Concernant le véhicule sur une route, ils passent massivement dans les tests d'une explication faisant appel à des systèmes techniques – freins, accélérateur – (11 élèves sur 15 évalués, 3 dans le test final) à une interprétation en termes de force de frottement exercée par le sol (7 réponses sur 15, aucune dans le test initial).

La fonction de service

Cette recherche montre qu'il est non seulement légitime mais également fructueux d'assumer la fonction de service des sciences physiques en lycée professionnel. Cela donne du sens à son enseignement, car il est en prise sur la formation des élèves. La confrontation avec la technologie de spécialité est un préalable. La connaissance qui en résulte permet de repérer les éléments d'ambiguïtés ou de contradictions, sources de difficultés pour les élèves, et de chercher les moyens de les surmonter.

Il reste à poursuivre le travail pour d'autres grandeurs physiques, à envisager les questions qui se posent pour d'autres contextes scolaires et d'autres dispositifs, quand les sciences physiques ne fonctionnent pas comme une discipline de cœur.

Bibliographie

- AGATI Pierre et al., 1989, *Mécanique (Baccalauréats technologiques et formation continue)*. Paris : Dunod.
- CAJAS F., 1999, « Public understanding of science: Using technology to enhance school science in everyday life », in : *International Journal of Science Education*, 21, 7, pp. 765-774.
- DEVELAY Michel, 1989, « La méthode expérimentale », in : *ASTER* n°8, pp. 3-15.
- GILBERT J.K., 1994, « Perspectives pour la recherche sur l'enseignement des sciences en Angleterre » in : *Aster* n°19, pp. 29-40.
- HOWSON A.G. & KAHANE Jean-Pierre, 1988, "Maths as a service subject", *ICMI Study Series*. Cambridge : Cambridge University Press.
- JOUIN Béatrice, 2000, *Problèmes de l'enseignement des sciences physiques en lycée professionnel, dans sa fonction de discipline de service par rapport à la technologie, dans le domaine de la mécanique automobile*, ENS Cachan, Thèse de doctorat.
- LAYTON David, 1991, « Science education and praxis: the relationship of school science to practical action », in : *Studies in Science Education*, traduit in: *Aster* n°19, pp. 43-79.
- LEMEIGNAN Gérard & WEIL-BARAIS Annick, 1994, "Approche développementale de l'enseignement et de l'apprentissage de la modélisation », in : *Nouveaux regards sur l'enseignement et sur l'apprentissage de la modélisation en sciences*, Paris : INRP, pp. 85-114.
- LUC Claude, 1998, *Place et rôle de l'objet technique dans les programmes et l'enseignement de la physique au lycée*. GDSC et ENS Cachan. Thèse de doctorat.
- MARTINAND Jean-Louis, 1992, "Enjeux et ressources de l'éducation scientifique. Introduction au thème", in : *Actes des XIV^e journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et techniques*, pp. 57-65.
- MARTINAND Jean-Louis, 1996, "Introduction à la modélisation", in : *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques (Cachan 1994-95)*, pp. 126-138.
- MEMETEAU Hubert, 1989, *Technologie fonctionnelle de l'automobile*. Paris : Dunod.
- MENIGAUX J., 1986, « La schématisation des interactions en classe de 3^e », in : *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°683, pp. 761-778.
- PELPEL Patrice, 2000, "Pratiques et modèles pédagogiques de l'enseignement technique", in : *Revue Française de Pédagogie*, n° 131, pp. 43-53.
- PELPEL Patrice et TROGER Vincent, 2003, *Histoire de l'enseignement technique*, Paris. Hachette.
- SCACHE, Daniel, 1993, *Référence technique et classe laboratoire de sciences physiques en lycée professionnel*. Université de Lille. Thèse de doctorat de Sciences de l'éducation.
- VIENNOT Laurence, 1977, *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Université Paris 7. Thèse de doctorat en Sciences physiques. Université Paris 7.

Rapport à l'expérimentation sur le vivant animal et obstacles à l'apprentissage du concept « acte réflexe »

KACEM Saida, Etudiante, ISEFC, Université Tunis, Tunisie, ENFA de Toulouse, France
SIMONNEAUX Laurence, Professeur, ENFA de Toulouse, France

Introduction

Dans l'introduction à la médecine expérimentale Claude Bernard note : « *Pour analyser les phénomènes de la vie, il faut nécessairement pénétrer dans les organismes à l'aide de procédés de vivisection.* » Mais ces expérimentations sont-elles acceptées par les élèves?

Les activités expérimentales se trouvent confrontées à de nombreuses contraintes éthiques et sécuritaires. En France, « *Les pratiques de classe se sont radicalement modifiées aux cours de ces dernières années, éradiquant la vivisection : les grenouilles décérébrées et démyélinisées ont disparu des paillasses...* » (Coquidé, 2000 p.53).

En Tunisie, la vivisection est recommandée dans certaines leçons comme l'étude du réflexe médullaire chez la grenouille. Ces expériences paraissent simples et convaincantes pour nos professeurs interviewés au cours de la pré enquête, et sont censées mieux faire comprendre aux élèves. Cependant, les résultats des élèves ne sont pas là pour confirmer cette facilité apparente. L'acquisition du concept « acte réflexe » s'avère particulièrement difficile pour les élèves de 9^{ème} de base et l'on peut s'interroger sur les origines possibles des difficultés rencontrées par les élèves ? D'où notre interrogation : Comment l'expérimentation sur le vivant est-elle perçue par les élèves ? Et peut-elle être un obstacle à l'apprentissage ?

Cadre théorique

Nous avons centré notre recherche sur les obstacles psychosociologiques que peuvent rencontrer les élèves dans l'apprentissage de ce concept (Clément 1997, 2001 et Simonneaux 1995, 2000). Nous avons cherché les explications dans le rapport au vivant animal et le rapport à l'expérimentation sur le vivant (Coquidé M. 1998, 2000 ; Canguilhem G. 1955, 1965, 1983 ; Pichot 1990; Salomon-Bayet C.1978...) et dans les représentations sociales (Moscovici 1961, Durkheim E.1878...) qui sont mobilisées dans certaines connaissances en Biologie (Simonneaux 1995, 2000 ; Clément 1997, 2001...).

Méthodologie

Nous avons procédé à des questionnaires et à des entretiens pré et post apprentissage auprès de deux classes de 9^{ème} année de Base (14 à 15 ans) soit un total de 53 élèves. Pour marquer la variable sociogéographique, l'une de ces deux classes est issue d'un milieu rural (Melloulèch : 23 élèves), l'autre d'un milieu urbain (Ennasr : 30 élèves).

Les différentes questions ont porté sur les points suivants : la nécessité d'expérimenter sur le vivant pour comprendre l'acte réflexe. Le rapport au vivant et les pratiques socioculturelles sur le vivant. Nous avons également filmé trois leçons ce qui nous a permis de voir les effets de ce type d'expérimentation sur la motivation et l'apprentissage.

Résultats et interprétation

-Les rapports au vivant animal et à l'expérimentation sur le vivant diffèrent suivant l'origine sociogéographique et culturelle des apprenants. En fait, nous avons pu montrer par le calcul de χ^2 que les élèves issus d'un milieu rural sont plus favorables à l'expérimentation sur le vivant, probablement parce qu'ils sont plus habitués à sacrifier les animaux dans les fêtes religieuses, les mariages et les circoncisions. Ces élèves tiennent à l'expérimentation sur le

vivant animal et à la vivisection, pour eux c'est la seule méthode pour comprendre et ils n'acceptent pas de la remplacer par un film par exemple. Les élèves issus d'un milieu urbain acceptent beaucoup moins la vivisection et sont favorables au remplacement de cette méthode par une séance filmée ou par la simulation. En fait, le rapport au vivant varie d'un apprenant à un autre au sein d'une même communauté, mais peut aussi varier en fonction de l'origine sociogéographique et culturelle des apprenants. Dans ces conditions, on ne peut croire à une égalité de familiarité et de motivation entre les apprenants dès le départ. Les élèves de milieu rural paraissent plus motivés, moins perturbés par leur rapport au vivant.

-Nous avons également remarqué que les filles sont moins favorables à l'expérimentation sur le vivant mais le χ^2 n'est pas significatif.

-Pour un même milieu sociogéographique, les élèves de terminales sont plus favorables à l'expérimentation sur le vivant que ceux de 9^{ème} année de base, ce qui nous laisse penser que plus les élèves sont âgés plus ils sont favorables à l'expérimentation sur le vivant.

-Toutefois, nous avons pu constater par l'analyse des productions des élèves une survalorisation du rôle de l'expérimentation sur le vivant animal et de sa place dans la construction du savoir scientifique : « toute la connaissance en découle », « faire des expériences signifie faire de la science », « découvrir », « être savant », « chercheur »...

Conclusion

Les résultats obtenus au cours de cette recherche permettent d'avoir une réflexion sur la nature des obstacles que peuvent rencontrer les élèves dans l'acquisition de certains thèmes et concepts en Biologie qui ont la réputation d'être difficile à acquérir par les élèves et qui en plus nécessitent la vivisection animale.

Nous avons vu que l'expérimentation sur le vivant animal jouit d'un prestige important chez la plupart des élèves et même chez ceux qui ne peuvent pas la pratiquer. Malgré l'importance de l'expérience pour eux, les élèves ne peuvent échapper à des problèmes éthiques et émotionnels liés à la souffrance de l'animal, à son droit de vie, à la peur, à la culpabilité, à la pitié, à la phobie par-rapport au sang. Tous ces éléments sont à la base d'obstacles psychosociologiques.

Pour le dépassement de ces obstacles, il serait préférable de proposer aux élèves des leçons filmées mais dans ce cas l'élève ne sera qu'un observateur passif et ne pourra pas participer à l'élaboration de la démarche expérimentale. Dans ce cas la simulation semble être un meilleur moyen, l'élève pourra manipuler sur ordinateur de façon virtuelle, mais pour voir les organes, nous pouvons avoir recours aux séances filmées.

Bibliographie

- CANGUILHEM Georges, 1983, *Etude d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris, Vrin.
- CANGUILHEM Georges, 1955, *La formation du concept de réflexe au XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècles*, Paris, PUF.
- CANGUILHEM Georges, 1965, *La connaissance de la vie*, Paris, Vrin.
- CLEMENT Pierre, 1997, *Cervaux de femmes et d'hommes : l'idéologie était déjà dans la revue « Nature »*. In Giordan André, Martinand Jean Louis et Raichvarg Daniel, 1997, *Actes JIE (Journées internationales sur l'éducation scientifique, ed., Univ. Paris-Sud), n°19, p. 267-272*, Chamonix.
- CLEMENT Pierre, 2001, *Epistemological, didactical and psychological obstacles. The example of digestion / excréation*. Actes of meeting ESERA (European Science Education Research Association), Thessalonique.
- COQUIDE Marilyne, 1998, *Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles*. Aster n° 26, INRP, Paris. pp.109-132.
- COQUIDE Marilyne, 2000, *Le rapport expérimental au vivant*. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université d'Orsay Paris-Sud.
- DURKHEIM Emile, 1878, *Représentation sociale et représentation collective*. Revue Métaphysique et Sociale, Paris.
- MOSCOVICI S. (1961) *La psychanalyse, son image et son public*, Paris PUF (2^e édition, 1976).
- PICHOT André, 1990, *la vic entre la nature et l'artifice*, In J. Chgoddard, dir. *La Nature*, Paris Vrin.
- SALOMON-BAYET Claire, 1978, *L'institution de la science et l'expérience du vivant*, Paris Flammarion.
- SIMONNEAUX Laurence, 1995, *Les biotechnologies de la reproduction animale chez les bovins : approches didactiques et muséologiques*. Thèse de doctorat. Université Lyon 1.
- SIMONNEAUX Laurence, 2000, *Didactique et éducation biotechnologique*. Note de synthèse pour l'Habilitation à Diriger les Recherches, Université de Rouen.

Pourquoi une transformation chimique s'arrête-t-elle ?

Les explications d'élèves de terminale S

KERMEN Isabelle, Laboratoire de Didactique des Sciences Physiques, Université Paris 7, Paris

Introduction

Dans le cadre d'une recherche visant à étudier les raisonnements et les difficultés des élèves de terminale S à propos de l'évolution des systèmes chimiques, il a paru intéressant de caractériser les raisonnements mis en œuvre par les élèves pour expliquer l'arrêt d'une transformation chimique. En effet le programme de chimie de terminale S introduit des transformations chimiques non totales alors que jusque là les élèves n'ont été confrontés qu'à des transformations totales, pour lesquelles l'arrêt est dû à l'épuisement d'un des réactifs, le réactif limitant. Dans le cas d'une transformation non totale, toutes les espèces chimiques sont encore présentes, il n'y a plus de raison simple, issue du registre empirique, il faut rechercher des explications à l'arrêt de la transformation dans l'interprétation que nous faisons de la transformation, dans le registre des modèles.

Cadre théorique

Dans ce qui suit nous proposons une analyse du contenu enseigné dans les classes de lycée sous un angle épistémologique, c'est-à-dire que nous cherchons à préciser la structure du savoir à enseigner. L'étude de l'évolution des systèmes chimiques est amorcée en classe de seconde avec les notions d'état initial et d'état final, puis développée en classe de terminale d'une part sous l'aspect cinétique avec la prise en compte effective du facteur temps, et d'autre part sous l'aspect thermodynamique avec la prédiction du sens d'évolution. Dès la seconde le programme préconise une distinction claire entre *la transformation subie par le système et la réaction chimique qui modélise cette transformation* (BO, 1999, p.15), il s'agit donc d'une différenciation nette entre le registre empirique et le registre du modèle, entre une *description phénoménologique* et une *description modélisante* selon les termes des auteurs de programmes actuels (Davous et al., 2003, p.35) qui reprennent un objectif des auteurs de programmes antérieurs (Goffard, 1994). En accord avec Tiberghien, Psillos et Koumaras (1995), il est possible de considérer trois registres étroitement liés, le registre théorique, le registre du modèle et le registre empirique, le modèle agissant comme un médiateur entre le champ théorique qu'il interprète et un champ empirique qu'il formalise (Sinaceur, 1999).

Nous considérons que le registre empirique peut être divisé en deux niveaux de description : dans le premier il est question d'objets chimiques ou techniques (un liquide, un pHmètre), d'événements (un mélange de deux liquides change de couleur, le pH d'un liquide varie) ; dans l'autre on parle d'espèces chimiques, elles sont caractérisées par leur nom, leur formule chimique, leur état physique, leur quantité de matière et elles subissent une transformation chimique. Ce second niveau est une description du monde où l'on désigne les objets chimiques sous le terme espèces chimiques et les événements sous celui de transformations

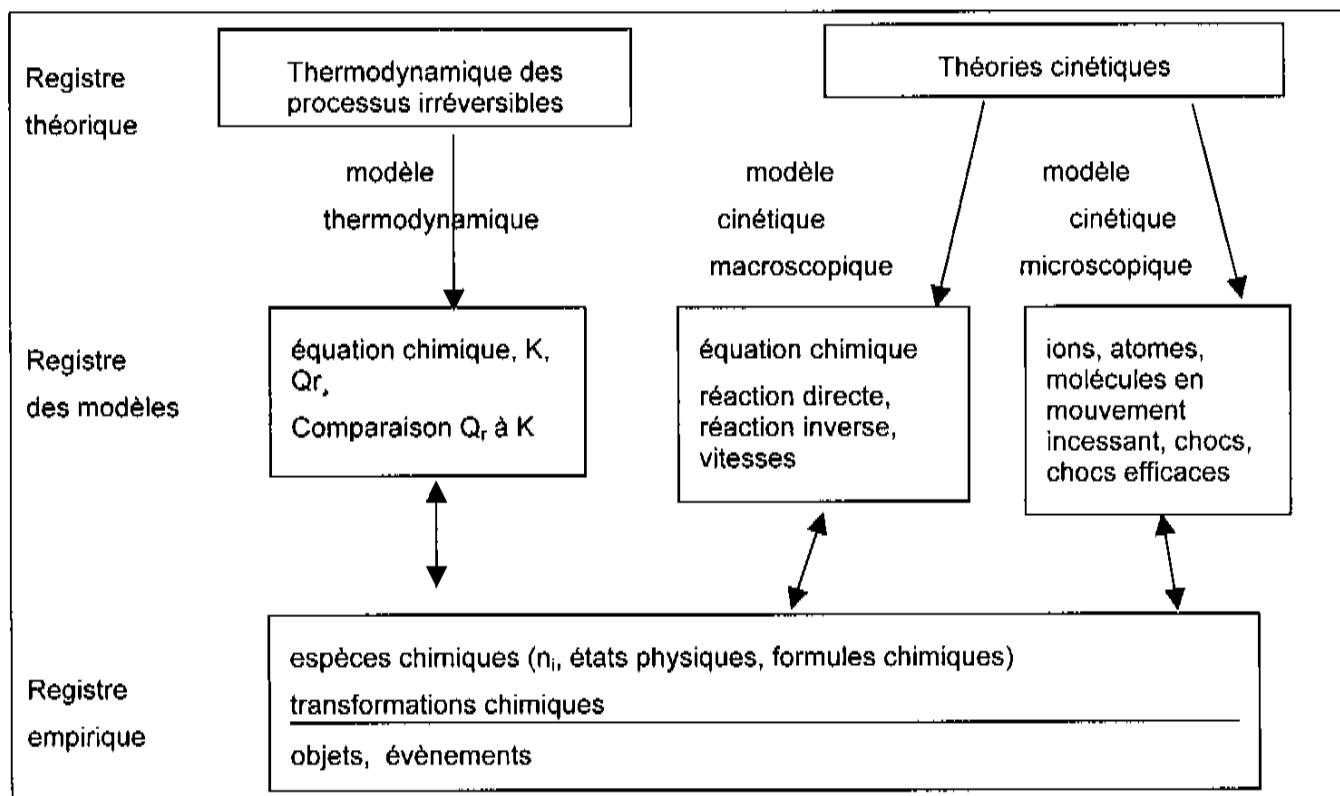
chimiques, ce qui constitue une étape dans la représentation du monde. Cependant nous faisons le choix d'accorder un statut empirique à cette représentation parce qu'elle résulte de processus antérieurs de conceptualisation ou d'abstraction que les utilisateurs n'ont plus consciemment à l'esprit de sorte qu'ils les utilisent comme si c'était la réalité (Martinand, 2002). De plus le registre empirique est commun aux trois modèles thermodynamique, cinétique macroscopique et cinétique microscopique ce qui assure une distanciation entre les deux registres (Larcher, 1994). Selon le regard que l'on porte sur le registre empirique, donc la question que l'on se pose, l'interprétation que l'on recherche, on utilise un modèle différent : thermodynamique pour prévoir ou justifier une évolution ou une absence d'évolution, cinétique pour résoudre cette apparente contradiction que constituent la présence de toutes les espèces chimiques et une absence d'évolution (dans l'état final d'un système ayant subi une transformation non totale).

Avant de voir en quoi l'utilisation de modèles différents permet de fournir des explications différentes, il convient de préciser brièvement les éléments constitutifs des modèles mis en jeu. Le modèle thermodynamique est issu de la thermodynamique des processus irréversibles et comporte principalement deux éléments, l'équation chimique qui symbolise un ensemble de deux réactions inverses l'une de l'autre et le critère d'évolution, consistant à comparer le quotient de réaction du système dans l'état considéré (qui en terminale est une fonction des concentrations des solutés) à la constante d'équilibre (réel positif à température donnée). Le modèle cinétique macroscopique provient de la théorie cinétique chimique et comprend l'équation chimique qui regroupe la réaction directe et la réaction inverse, la vitesse de chacune de ces deux réactions. La comparaison de ces vitesses permet de justifier a posteriori un sens d'évolution ou une absence d'évolution. Le modèle cinétique microscopique est issu de la théorie des collisions et l'on considère qu'à l'occasion de chocs particuliers dits efficaces, les particules changent de nature (des liaisons sont rompues, d'autres se forment, des électrons sont transférés), ce qui conduit à dire qu'une réaction chimique s'est produite à l'échelle macroscopique. Cette interprétation souligne la dualité macroscopique microscopique de l'équation de réaction (Barlet et Plouin, 1994) qui est un bilan macroscopique, une relation molaire au sens de la nomenclature légale rappellent Viovy et Caretto (1994), traduisant des changements de structure des particules sans pour autant en donner le mécanisme. Le schéma suivant regroupe les principaux éléments appartenant aux différents registres.

Après cette brève présentation de la composition des différents registres, il s'agit maintenant de voir comment les différents modèles permettent de fournir une réponse à la question posée aux élèves dans le cadre d'un questionnaire écrit, pourquoi une transformation non totale cesse-t-elle. Les raisons fournies à l'arrêt d'une transformation sont de deux natures. L'une est du ressort de la thermodynamique qui prévoit le sens d'évolution d'un système chimique et l'arrêt de cette évolution lorsque la grandeur quotient de réaction est égale à la constante d'équilibre. Cette raison ne permet pas de comprendre pourquoi les espèces chimiques, alors qu'elles sont toutes présentes, ne réagissent apparemment plus puisque le système n'évolue plus, elle va à l'encontre de l'intuition. Au contraire dans le point de vue cinétique, on explique cela en disant que la composition globale du système chimique ne change pas parce que les deux réactions opposées continuent à se produire simultanément à vitesses égales, ce qui n'est pas en contradiction avec une vision des espèces chimiques susceptibles de réagir dès qu'elles sont en présence ; une autre version du modèle cinétique consiste à envisager le niveau microscopique et à dire que l'arrêt de la transformation correspond à des nombres de chocs efficaces entre particules dans le sens direct et dans le sens inverse tels que la population globale des particules de chaque sorte reste constante au cours du temps.

La question posée aux élèves nous paraît donc tout à fait propre à illustrer la nécessité de recourir à différentes explications donc à différents modèles pour donner toute sa signification à une même situation expérimentale.

Présentation des trois registres et des différents modèles



Questions de recherche

Dans ce contexte les questions de recherche sont alors :

Quelle(s) raison(s) les élèves fournissent-ils à l'arrêt d'une transformation chimique non totale ?

Privilégient-ils une raison plutôt qu'une autre, c'est-à-dire utilisent-ils plutôt un modèle thermodynamique ou un modèle cinétique ?

Recueil de données

Des questionnaires écrits ont été soumis à des élèves de terminale S de plusieurs lycées de différentes villes dans différentes académies en 2003 et 2004, après enseignement. Dans chaque questionnaire la structure était la même : on présentait d'abord l'équation de réaction avec la constante d'équilibre associée, puis on décrivait le mélange homogène effectué et on indiquait la composition du système en quantités de matière dans l'état initial et dans l'état final, comme résultant de mesures de pH donc de considérations empiriques. Toutes les espèces chimiques prenant part à la transformation acido-basique étaient présentes dans ces

deux états. En 2003, la question était formulée de la façon suivante : « *Comment expliqueriez-vous que la transformation cesse ?* », en 2004 la formulation était : « *comment expliquez-vous que les concentrations gardent une valeur constante après un certain temps ?* ».

Analyse des données

En accord avec l'analyse de contenu qui a été présentée et les questions de recherche qui ont été posées, les réponses ont été classées selon le type d'arguments utilisés pour expliquer l'arrêt de la transformation. Les réponses peuvent a priori fournir une explication d'origine thermodynamique en se référant à la valeur du quotient de réaction dans l'état final, une explication cinétique macroscopique en considérant l'égalité des vitesses des réactions inverses, une explication cinétique microscopique en faisant référence aux chocs efficaces entre particules qui doivent être en nombres tels dans un sens et dans l'autre que globalement la population de particules de chaque espèce est constante ou toute autre explication. Cependant avant d'éventuellement faire appel aux vitesses de réaction pour expliquer l'arrêt de la transformation, il convient de s'assurer que le système est effectivement en état d'équilibre chimique en calculant le quotient de réaction dans l'état final pour prouver ce que l'on avance. Les réponses ont donc été regroupées dans deux grandes catégories utilisation ou non utilisation du critère d'évolution, puis dans chacune de ces catégories, d'autres regroupements ont été faits pour prendre en compte les arguments cinétiques tels que le recours à deux réactions inverses et le recours aux chocs efficaces entre particules et d'autres arguments tels que la présence d'un réactif limitant ou l'absence de toute réaction.

Résultats et discussion

Réponses faisant appel au critère d'évolution

L'argument majeur attendu était que l'évolution cesse parce que le quotient de réaction est égal à la constante d'équilibre ($Q_r = K$). Cette réponse est minoritaire et apparaît en proportion comparable en 2003 et 2004. (voir tableau 1)

Tableau 1

catégorie	Année 2003		Année 2004	
critère $Q_r = K$	18	18%	17	16%
Pas critère	75	74%	86	80%
Absence de réponse	9		4	
total	N=102		N=107	

Parmi les élèves qui répondent de cette façon, on peut remarquer que certains en restent à ce stade et ne disent pas que de ce fait le système est à l'équilibre chimique.

E 40 : les concentrations gardent une valeur constante lorsque le quotient de réaction = K.

En outre peu d'élèves évoquent deux réactions qui continuent à se produire (3 sur 102 en 2003 et 6 sur 107 en 2004), et parmi eux certains ne font pas mention de la vitesse.

$D28 : Q_r = ([B^-] \times [AH]) / ([BH] \times [A^-]) = 0,0646 \times 0,115 \times V^2 / (0,0364 \times 0,0204 \times V^2) = 10,00$
 On a $Q_r = K$ donc la réaction a atteint le niveau d'équilibre, dit dynamique, car les réactions se font toujours dans les deux sens, mais elles se compensent.

Enfin aucun élève ne fait mention de chocs entre particules.

Par ailleurs les termes utilisés par les élèves révèlent des difficultés d'expression qui font craindre des confusions de registre.

*B34 : La transformation cesse car elle atteint son équilibre c'est à dire qu'elle se fait dans les deux sens mais elle ne varie plus. A l'état final : $Q_r = (0,87 \times 1,1) / (0,33 \times 0,58) = 5$
 $Q_r = K$.*

Cette réponse est typique de telles difficultés, successivement l'élève écrit que la transformation cesse puis qu'elle se fait dans les deux sens puis qu'elle ne varie plus, ce qui est contradictoire. On peut penser que cet élève a conscience que quelque chose est terminé, mais que cependant il se passe encore autre chose, et comme il emploie le même terme « transformation » dans les deux cas il est difficile de dire s'il situe ces deux « choses » dans des registres différents. Dans la réponse précédente (D28) on peut considérer que c'est le mot « réaction » qui est employé dans deux sens différents et là aussi il est difficile de déterminer si l'élève distingue deux registres.

Réponses ne faisant pas appel au critère d'évolution

Une large majorité d'élèves ne mentionne pas l'égalité entre le quotient de réaction et la constante d'équilibre ; cette majorité (74% et 80%, voir tableau 1) est du même ordre de grandeur en 2003 et 2004 par contre la répartition entre les sous-catégories est différente (voir tableau 2).

En 2003 la réponse la plus fréquente (30%) consiste à dire que la transformation s'arrête parce qu'elle est totale, parce qu'il manque une espèce (le réactif limitant) pour qu'elle se poursuive, comme si ces élèves en restaient aux explications fournies dans les classes antérieures et ce en dépit de la donnée de l'état final dans lequel toutes les espèces sont présentes. On peut se demander si ces élèves ont effectivement vu que la composition du système dans l'état final était donnée avant de répondre à cette question.

Réponses d'élèves

B 45 : La transformation cesse au bout d'un certain temps car il n'y a plus assez de mol d'un des réactifs pour réagir avec l'autre.

A18 : La transformation cesse car la quantité de l'espèce en défaut est fini, il n'y a plus de réaction avec le réactif limitant.

En 2004, les élèves qui répondent de cette manière sont moins nombreux (11%). Faut-il y voir un effet de la formulation différente de la question posée qui ne mentionnant pas le mot « transformation » ni le mot « cesse » incitait moins à se rappeler que quelque chose n'a plus lieu ? Ou s'agit-il d'une meilleure compréhension de la situation chez les élèves interrogés en 2004 que chez ceux interrogés en 2003 ?

Une autre raison erronée fournie par les élèves consiste à dire que l'arrêt de la transformation est due au fait « qu'il n'y a plus de réaction ». Cet argument a été fourni comme seule explication à l'arrêt de la transformation de façon extrêmement minoritaire, 3% en 2003 et 7% en 2004. On a pu voir dans la réponse précédente (A18) que cet argument était parfois cité par les élèves raisonnant avec le « réactif limitant » ce qui incite à considérer que ces deux types de réponses erronées sont typiques d'élèves qui n'ont pas augmenté leurs connaissances à propos des transformations chimiques. Globalement 33% des élèves en 2003 et 18% en 2004 ont fourni des explications de ce type.

En 2004 la réponse la plus répandue (29%) mentionne que le système (ce n'est pas toujours ce mot qui est employé mais cela peut être « la réaction », « la transformation », « on ») est en équilibre sans aucune preuve, ni aucun autre argument comme si l'affirmation fonctionnait comme une évidence. Ce type de réponse est apparu à 20% en 2003.

Réponses d'élèves :

E53 : après un certain moment on arrive à un équilibre entre les réactifs et les produits. La réaction est à l'équilibre.

E45 : les concentrations gardent une valeur constante après un certain temps car il n'y a plus de réaction entre les réactifs. Le système a atteint son état d'équilibre, donc il n'évolue plus. D'où le fait que les concentrations ne varient plus.

Cette absence d'argument supplémentaire ne permet pas de dire avec certitude dans quel registre ces élèves se situent. Cependant, comme la dernière réponse le montre certains élèves considèrent qu'à l'équilibre il n'y a plus de réaction, ce qui conduit à dire que ces élèves ont une conception statique de l'état d'équilibre.

Toujours parmi les élèves qui ne mentionnent pas l'égalité entre le quotient de réaction et la constante d'équilibre, certains évoquent l'idée de deux réactions inverses en précisant parfois que leurs vitesses sont égales sans citer le mot équilibre alors que d'autres le font dont certains citent l'expression « équilibre dynamique ». 14% des élèves en 2003 et 22% en 2004 ont utilisé l'argument des deux réactions.

Réponses d'élèves :

D30 : Au bout d'un certain temps, l'état d'équilibre est atteint, les concentrations ne varient plus, cependant des réactions se font encore mais elles se compensent. On parle d'équilibre dynamique.

B 22 : On ne peut pas dire que la transformation cesse, elle arrive à un état d'équilibre. Les réactions directes et indirectes se font à la même vitesse et les réactifs disparaissent aussi vite qu'ils se créent donnant l'impression d'un système figé.

A21 : La transformation cesse, car chaque réaction qui a lieu dans le sens inverse est compensée par une dans le sens direct.

Bien que les formulations employées ne soient pas toujours rigoureuses (il est préférable de parler de réactions opposées ou inverses ayant des vitesses égales que de réactions « qui se compensent »), elles montrent cependant que ces élèves cherchent à donner du sens à leur réponse, ils dépassent la description empirique de la situation (l'immobilité, l'absence d'évolution) et fournissent une explication qui relève du registre des modèles et privilégie l'argument cinétique par rapport à l'argument thermodynamique.

Pour terminer ce tour d'horizon des réponses fournies par les élèves, signalons qu'aucune réponse ne mentionne des chocs entre particules bien qu'un très petit nombre (3 en 2003, 1 en 2004) cite l'échelle microscopique sans cependant en utiliser cette caractéristique, les chocs entre particules, et au contraire en plaçant à cette échelle des éléments qui n'y appartiennent pas.

A37 : La transformation cesse à l'échelle macroscopique car, au bout d'un certain temps, le mélange se stabilise c'est-à-dire que les quantités des réactifs ainsi que des produits reste constante. Cependant, à l'échelle microscopique, la réaction continue, mais avec la même vitesse dans le sens direct que dans le sens inverse et par conséquent les quantités de matière des espèces chimiques se stabilisent.

Les termes employés par cet élève pour décrire l'échelle microscopique ne diffèrent en rien de ceux employés habituellement pour décrire le niveau macroscopique. Ce que l'élève qualifie d'échelle microscopique est en fait le modèle cinétique macroscopique.

Tableau 2 : catégories et sous catégories de réponses

catégorie	Sous-catégorie	Année 2003			Année 2004		
critère	Qr=K	18 ^(*)	18%		17 ^(*)	16%	
dont	Equil dyn	3	3%		6	6%	
	Equil	10	10%		7	7%	
	2 réac	1	1%		0		
	micro	0			0		
Pas critère		75 ^(**)	74%		86 ^(**)	80%	
dont	Equil dyn	9	9%	14%	16	15%	22%
	2 réac	5	5%		7	7%	
	Equil	20	20%		31	29%	
	TT	31	30%	33%	12	11%	18%
	Plus réac	3	3%		8	7%	
	micro	0			0		
	Autre	7			12		
NR		9			4		
total		N=102			N=107		

(*) la somme des nombres de réponses des 4 lignes suivantes n'est pas égale à ce nombre, car certaines réponses emploient uniquement l'argument $Q_r = K$.

(**) la somme des nombres de réponses des 7 lignes suivantes est égale à ce nombre.

En conclusion

L'argument thermodynamique, l'égalité du quotient de réaction et de la constante d'équilibre, est avancé de façon minoritaire (18% et 16%) alors que c'était la première explication attendue à l'arrêt de la transformation, l'un des points marquants de ce programme étant l'introduction du critère d'évolution des systèmes chimiques pour prévoir et expliquer que *tout système chimique évolue spontanément vers un état d'équilibre* (B.O., 2001, p.99). Au contraire une proportion importante d'élèves se contente d'affirmer l'équilibre du système, sans chercher à fournir aucune autre explication (20% et 29%). Ces réponses font craindre des conceptions statiques en accord avec le sens commun du mot équilibre, l'immobilité. Il semble que ces élèves ne ressentent pas la nécessité d'une explication pour lever l'apparente contradiction entre la présence de toutes les espèces dans l'état final et l'absence d'évolution. Ressentent-ils d'ailleurs cela comme une contradiction ?

Toutes réponses confondues, ce sont seulement 18% des élèves en 2003 et 28% en 2004 pour lesquels il se passe encore quelque chose malgré l'absence d'évolution macroscopique, en faisant appel (parfois maladroitement) au modèle cinétique. Parmi les élèves interrogés, la vision dynamique est plus répandue en 2004 qu'en 2003, bien qu'elle reste encore minoritaire.

Près d'un tiers des élèves interrogés en 2003 expliquait l'arrêt d'une transformation non totale par l'existence d'un réactif limitant. Cette proportion a diminué en 2004, il serait intéressant de déterminer si une nouvelle enquête avec la même formulation qu'en 2003 révèle la même tendance.

D'autre part les explications fournies par un grand nombre d'élèves montrent beaucoup de confusion dans les termes utilisés, signe que la nécessaire clarification entre ce qui relève des phénomènes et ce qui relève des modèles, de l'imaginé n'est pas opératoire.

Finalement les explications attendues relevant des trois modèles présentés sont minoritaires pour les modèles thermodynamique et cinétique macroscopique et inexistantes pour le modèle microscopique, ce qui incite à dire que les élèves ne se sont pas suffisamment approprié ces outils que constituent les modèles pour répondre à la question qui leur était posée.

Bibliographie

B.O., 12 août 1999, n°6, hors série.

B.O., 30 août 2001, n°4, hors série.

BARLET Roger, PLOUIN Dominique, 1994, L'équation-bilan en chimie, un concept intégrateur source de difficultés persistantes, *ASTER*, n°18, pp.27-56.

CARETTO Josette, VIOVY Roger, 1994, Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique, *ASTER*, n°18, pp.11-26.

DAVOUS Dominique, DUMONT Manuel, FÉORE Marie-Claude, FORT Laure, GLEIZE Robert, MAUHOURAT Marie-Blanche, ZOBIRI Thérèse, JULLIEN Ludovic, 2003, « Les nouveaux programmes de chimie au lycée », *l'Actualité chimique*, février 2003, pp.31-44.

GOFFARD Monique, 1994, « Des programmes de chimie à leur mise en œuvre », *Didaskalia*, n°3, pp.129-137.

LARCHER Claudine, 1994, « Etude comparative de démarches de modélisation. Quelles sont les caractéristiques des démarches de modélisation ? » in : Equipe INRP/LIREST, *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*, Paris, INRP, pp.9-24.

MARTINAND Jean-Louis, 2002, « Apprendre à modéliser », in : Rodolphe Toussaint (Ed), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences : recherches et pratiques*, Outremont (Québec), Logiques, pp.47-68.

SINACEUR Hourya, 1999, « Modèle », in : Dominique LECOURT (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, Paris, PUF, pp.649-651.

TIBERGHIEU André, PSILLOS Dimitris, KOUMARAS Panagiotis, 1995, « Physics instruction from epistemological and didactical bases », *Instructional Science*, n°22, pp.423-444.

Le gène : conceptions d'élèves du lycée et d'étudiants Tunisiens et connaissances scientifiques actuelles

KHATTECH Saloua, Assistante, Institut Supérieur de l'Education et de la Formation Continue, Tunis, Tunisie

ORANGE Christian, Professeur, Institut Universitaire de Formation des Maîtres, Pays de la Loire, France

Cadre théorique

Dans le présent travail nous nous proposons d'analyser comment les bacheliers inscrits dans la section sciences expérimentales et les étudiants de la 2^{èmes} année section sciences de la vie et de la terre, de différentes régions de la Tunisie, expliquent le gène.

Le gène, comme dit (Gros, 1991) n'est pas un concept tout fait. Il n'a cessé, au cours du temps de recouvrir des significations et des réalités différentes ; il est d'ailleurs, sans doute moins un concept qu'une "idée régulatrice". On trouve l'idée de Gros confirmée par l'histoire, en effet le concept de gène est baptisé "unité de calcul" par Johannsen, puis "unité de mutation", "unité de recombinaison" et "unité de fonction" par l'école de Morgan, conçu comme étant constitué de protéines et puis de nucléoprotéines. Puis la génétique moléculaire classique l'a conceptualisé comme un cistron, ensuite comme le seul responsable de la synthèse des protéines et de nos jours les chercheurs s'intéressent beaucoup plus au fonctionnement des gènes. Donc, comme l'exprime (Morange, 2003), le concept de gène est flou, multivoque, et il est impossible d'en donner une définition précise. Les travaux récents ont montré l'impossibilité de définir la fonction du gène, puisque le produit de chaque gène participe à de multiples processus dans l'organisme, tout en étant associé, lors de la mise en œuvre de ces processus, à de multiples autres gènes. Cette recherche s'intéresse, à identifier les conceptions des élèves et des étudiants sur le concept gène, afin de repérer certains obstacles à l'apprentissage.

Méthodologie

La recherche a porté sur un échantillon de 103 lycéens de la 4^{èmes} année secondaire, (baccalauréat) inscrits dans la section sciences expérimentales (18 et 20 ans) et 266 étudiants en 2^{èmes} année universitaire section sciences de la vie et de la terre, (SVT2). Leur âge varie entre 21 et 23 ans. Cette contribution est une partie d'un travail de thèse en cours. Le questionnaire, qu'on a proposé aux lycéens et aux étudiants, comporte cinq questions portant sur le comportement des chromosomes lors de la mitose et de la méiose, la synthèse des protéines, la structure en double hélice de l'ADN, la distinction entre gène et allèle et enfin la définition de la notion du gène. Dans le présent travail, nous nous limiterons à l'analyse de l'explication du gène par les apprenants. Notre consigne était la suivante : Donnez la définition du gène qui vous paraît la plus acceptable en utilisant les mots que vous jugez convenable de la liste suivante : Molécule d'ADN, allèle, protéine, chromosome, locus, ARN, chromatine, nucléotides, caractère, phénotype, génotype.

Résultats

A la lecture des différentes réponses des élèves et des étudiants, nous avons remarqué que l'ensemble des mots qu'on a présenté dans le questionnaire, peut se partager en deux catégories : ceux décrivant les caractères physiques du gène (molécule d'ADN, chromosome, locus, chromatine, nucléotides), et d'autres les caractères génétiques (allèle, caractère, phénotype, génotype, ARN, protéine). Ce qui nous a mené à effectuer la catégorisation suivante des réponses. Les résultats, sont récapitulés dans le tableau suivant, nous essayons de les commenter dans ce qui suit.

Les catégories ↓	Lycée de Tunis N=41		Lycée de Bizerte N=17		Lycée de Sfax N=45		Faculté de Tunis N=124		Faculté de Bizerte N=62		Faculté de Sfax N=80	
Repérage des mots	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Caractères physiques	10	24,4%	6	35,3%	16	35,3%	23	18,5%	21	33,9%	36	45%
Caractères génétiques	10	24,4%	6	35,3%	11	35,3%	23	18,5%	21	33,9%	25	31,2%
Formulation d'une phrase	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Caractères physiques	24	58,5%	11	64,7%	29	64,4%	76	61,3%	43	69,3%	32	40%
Caractères génétiques	30	73,2%	11	64,7%	14	31,1%	73	58,9%	38	61,3%	31	38,8%
Non réponse	4	9,8%	4	23,5%	12	26,7%	23	18,5%	4	6,4%	14	17,5%

Pour définir le gène les lycéens et les étudiants utilisent les caractères physiques dans les mêmes proportions que les caractères génétiques du gène. Nous savons que le gène est caractérisé par sa structure (une portion de molécules d'ADN, locus...) qu'on désigne par caractères physiques. Et ses fonctions (se transcrire en ARNm pouvant se traduire en protéines) désignées par caractères génétiques. Il n'y a pas de différences visibles, entre les réponses de lycéens et des étudiants, à l'exception des élèves du lycée de Sfax pour lesquels, le gène est connu par ses caractéristiques physiques, plus que par ses caractéristiques génétiques.

Une autre catégorisation des réponses a été effectuée. Les différentes réponses ont été catégorisées en se basant sur l'évolution du concept gène, du gène particule matérielle situé sur le chromosome (théorie chromosomique de Sutton et Boveri), jusqu'au gène permettant la synthèse d'une protéine. Ainsi nous obtenons l'ensemble des catégories est rassemblé dans le tableau suivant.

Les catégories ↓	Lycée de Tunis N=41		Lycée de Bizerte N=17		Lycée de Sfax N=45		Faculté de Tunis N=124		Faculté de Bizerte N=62		Faculté de Sfax N=80	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Gène : entité matérielle	32	78,0%	12	70,6 %	23	51,1 %	66	53,2 %	52	83,9 %	52	65 %
Gène : un caractère	19	46,3 %	8	47,0 %	11	24,4 %	52	42,0 %	30	48,4 %	17	21,2 %
Gène : génotype	14	34,1 %	7	41,1 %	6	13,3 %	40	32,2 %	28	45,1 %	27	33,8 %
Gène: unité de fonction	6	14,6 %	4	23,6 %	2	4,4 %	11	8,9 %	15	24,2 %	12	15 %
Gène : unité de transcription	2	4,9 %	0	0 %	5	11,1 %	16	12,9 %	3	4,9 %	1	1,2 %
Non réponse	4	9,8 %	4	23,5 %	11	24,4 %	23	18,5 %	5	8,1 %	14	17,5 %

Ces résultats nous permettent de dire, que la conception du gène comme un ensemble d'entité matérielle l'emporte sur toutes les autres conceptions. Donc, les lycéens et les étudiants restent attachés, si l'on peut dire, à la théorie chromosomique de l'hérédité qui stipule que le gène est une particule matérielle située sur les chromosomes. Ce qui est contraire à ce qu'affirme (Gros, 1991) lorsqu'il écrit que, ce qui caractérise le mieux le gène aujourd'hui, ce n'est pas sa matérialité physique, mais ce sont bien davantage les produits qui résultent de son activité, qui sont l'ARNm cytoplasmique et la protéine.

Les réponses relatives à la conception "gène unité de fonction" confirme bien cette hypothèse : nous voyons que les pourcentages des réponses diminuent nettement, ils passent de 51,1 % à 4,4 % pour les lycéens de Sfax et de 53,2 % à 8,9 % pour les étudiants de la faculté de Tunis. Ce serait d'après nous, les difficultés d'apprentissage des notions biochimiques, sous-jacentes à la structure du gène qui constituent un obstacle.

La conception, qui vient au deuxième rang après le sens matériel donné par les lycéens et les étudiants, pour définir le gène est la conception gène "unité de caractère". Ceci peut être expliqué de la manière suivante : en fait depuis le début de la génétique, le gène était lié au caractère. Une telle relation, d'après Morange (2000), est à la fois fondamentale, et imprécise. Les biologistes moléculaires la remplacent par une double relation : le gène permet la synthèse d'une protéine ; cette protéine participe, de manière inconnue, à la réalisation d'un caractère. Des recherches récentes en biologie moléculaire et en génie génétique, ont conduit à une nouvelle vision de la fonction des gènes. Les produits des gènes fonctionnent sous formes de voies et des réseaux très complexes qui sont utilisés, en tout ou en partie, pour accomplir des tâches différentes. La conséquence est que chaque produit du gène participe à la réalisation de multiples caractères, action dite 'pléiotropique' des gènes, et chaque caractère résulte de l'action de centaines, voire de milliers de protéines, chacune étant le produit d'un gène élémentaire. D'où la conséquence, de l'impossibilité d'expliquer la formation d'un quelconque caractère à partir de l'existence et des caractéristiques d'un ou de quelques composants élémentaires. Nous constatons qu'une partie importante des lycéens de la 4^{èmes} année secondaire et les étudiants de la SVT2 est encore sous l'influence du déterminisme causal, un gène-un caractère qui a marqué une bonne partie de l'histoire de la génétique.

La conception « le gène est une unité de transcription » vient en dernier rang ; c'est la conception la moins répandue, nous notons des pourcentages très faibles, de 4,9% à la faculté de Bizerte, de 1,2% à la faculté de Sfax et aucun lycéen du lycée de Bizerte, ne pense le gène à travers sa capacité de transcription.

La conception dominante, chez nos élèves et nos étudiants, d'après les résultats précédents, est que le gène est une entité matérielle. Nous tentons d'apporter une réponse à la question

suivante : est-ce que cette prédominance chez les élèves et les étudiants, de la vision matérialiste du gène a une influence sur leur prise en compte des fonctions de ce gène ?

Pour cela nous croisons les réponses des élèves et des étudiants, pour lesquels le gène est une entité matérielle avec celles pour qui, le gène est une unité de fonction et aussi une unité de transcription. Nous présentons les tableaux récapitulatifs pour les lycées et les facultés.

Lycées	Entité matérielle (+)	Entité matérielle (-)
Unité de fonction et de transcription (+)	8	8
Unité de fonction et de transcription (-)	55	33

Facultés	Entité matérielle (+)	Entité matérielle (-)
Unité de fonction et de transcription (+)	13	7
Unité de fonction et de transcription (-)	144	74

Nous calculons la valeur de Khi-deux, pour les lycéens elle est de 0,88, pour les étudiants la valeur est de 0,009. Nous remarquons que ces deux valeurs sont nettement inférieures à la valeur critique qui est de 3,84 pour α égal à 0,05 et un degré de liberté égal à 1. Nous pouvons ainsi dire que le gène est conceptualisé par les élèves et les étudiants comme une entité matérielle indépendamment de sa fonctionnalité. Il y a un cloisonnement entre penser la structure du gène et ses capacités à synthétiser des protéines. Pour nos apprenants le gène est défini comme une séquence de nucléotides uniquement, ou bien comme une séquence de nucléotides, transcrit en ARNm, et traduit en polypeptides. Mais ceci ne semble pas empêcher certains élèves et étudiants de penser le gène comme une entité matérielle, une unité de fonction et une unité de transcription, notons que les deux dernières catégories unités de fonction et de transcription sont représentées par une faible proportion dans le tableau des résultats, sauf pour le lycée et la faculté de Bizerte où la catégorie unité de fonction est de l'ordre de 24 % et pour le lycée de Sfax, et la Faculté de Tunis, la catégorie unité de transcription représente à peu près 12 %.

Conclusion

Le gène, avec toutes ses caractéristiques structurales et fonctionnelles, a été progressivement construit par les scientifiques. La découverte du gène est fragmentée, étalée dans le temps sur près d'un siècle. C'est de ce lent processus de construction que le gène tire toute sa complexité et toute sa richesse. Nous remarquons que la vision qu'ont nos élèves et nos étudiants des gènes et de leur action est limitée, car c'est la conception structurale qui l'emporte sur toutes les autres conceptions, et c'est une conception héritée des travaux effectués pendant la première moitié du XX^{ème} siècle.

Bibliographie

GROS François, 1991, *Les secrets du gène*, Points/Seuil.

MORANGE Michel, 1994, *Histoire de la biologie moléculaire*, La Découverte.

MORANGE Michel, 2003, "évolution des sciences de la vie et de la santé et enjeux de formation", (19 décembre 2003), séminaire du groupe d'étude. ENS ULM. Paris.

MORANGE Michel, 2000, "Gene function" in Sciences de la vie. N° 323. Paris.

Les graphiques comme aide pour l'enseignement de la physique : cas de la cinématique dans l'enseignement secondaire tunisien

LAMOUCHE CHEBBI, Kaouthar, Etudiante, ISEFC Tunis/ René Descartes, Paris 5, Tunis, Tunisie

Introduction

Dans ce papier, nous présentons une partie d'un travail réalisé dans le cadre d'une thèse en didactique de la physique. Dans cette thèse, nous avons essayé de mettre en évidence dans un premier temps, les difficultés que rencontrent les élèves de 3^{ème} année du secondaire tunisien (17-19 ans) dans la compréhension du sens des différentes notions de cinématique et de leurs relations (autres que mathématiques). Pour aider ces élèves à comprendre, nous avons dans un deuxième temps expérimenté l'introduction de l'étude qualitative de graphiques de mouvement dans l'enseignement de la cinématique. C'est à cette dernière expérimentation que nous nous intéressons dans cet article.

Cadre théorique

La diversification des représentations et le travail dans divers systèmes sémiotiques faciliterait l'apprentissage dans différents domaines, et en particulier dans celui de la physique. La physique possède en effet plusieurs langages qui se complètent les uns les autres, et il serait regrettable d'emprisonner les élèves dans le seul monde des équations et de les priver de s'exprimer dans d'autres langages tels que celui des graphiques. En effet ces derniers peuvent permettre aux élèves de faire la connaissance des mêmes notions sous une autre forme, ce qui éviterait leur fossilisation sous forme mathématique et favoriserait leur compréhension ainsi que la compréhension des relations entre elles.

Le fait de travailler sur plusieurs systèmes sémiotiques entre autre le système graphique permet d'augmenter les capacités cognitives des sujets (Duval, 1995) et de développer leurs connaissances. En effet les registres "analogiques" comme les figures, les schémas, les graphiques permettent de traiter les informations de façon plus économique et plus puissante que d'autres registres tels que ceux mettant en jeu les textes ou les formules. Dufresne et al (1997) vont dans le même sens et montrent que le fait de diversifier les représentations des problèmes en physique peut aider les apprenants à mieux les résoudre. En effet, la résolution des problèmes dans les cours de physique est souvent algorithmique et procédurale. Les étudiants résolvent les problèmes en mimant les méthodes utilisées par leurs enseignants. La plupart des problèmes proposés sont strictement quantitatifs et leurs solutions peuvent être obtenues facilement en manipulant les équations adéquates.

Face à des activités de résolution purement qualitatives (interpréter un graphique ou expliquer une situation) les élèves se trouvent démunis voire bloqués et ne savent quoi faire de leurs équations (Trowbridge, 1980 ; Trowbridge, 1981 ; Clement, 1981 ; Peters, 1982 ; Arons, 1984 ; Van Ausdal, 1988 ; Van Heuvelen, 1991..).

L'utilisation des graphiques serait un important outil didactique dans l'enseignement de la physique et surtout de la cinématique (Dimitriadis et al., 1999 ; Van den Berg, 2000), mais il

convient de ne pas oublier que c'est un langage qui possède ses propres normes et sa propre structure. Tout cela fait qu'il n'est pas forcément transparent et spontanément compréhensible (Lenton et al., 2000 ; El-Mimi et al., 2002).

Questions de recherche

L'utilisation des formules et des équations occulte souvent le sens physique des situations abordées par l'enseignement. Ce phénomène, bien qu'étant général dans l'enseignement de la physique, n'a pas la même ampleur dans tous les domaines de cette dernière. En effet certains sont plus "mathématisés" que d'autres comme la cinématique où abondent les équations toutes prêtes à l'application.

Il serait donc intéressant de trouver des solutions qui favorisent une compréhension au lieu d'une simple mémorisation de formules mathématiques et de procédures qui deviennent avec l'habitude quasi automatiques. Varier les représentations en physique paraît comme étant une piste prometteuse dans ce contexte, qu'en est-il de l'utilisation des graphiques qualitatifs en cinématique ? Peut-elle procurer de l'aide aux élèves en difficulté de "sens" ? Est-elle capable de les faire renoncer à leur "chères" équations dans les cas où ils n'en ont pas besoin ?

Méthodologie

Dans le secondaire tunisien et au niveau de la 3^{ème} année scientifique les élèves (17-19 ans) tracent des représentations graphiques en cinématique et ce dans le but d'en extraire des équations horaires que ce soit dans le cas du mouvement uniforme ou du mouvement uniformément varié. Nous avons choisi de maintenir le même cours et les mêmes travaux pratiques de cinématique que ceux proposés par le Programme officiel, de faire les mêmes manipulations, de tracer les mêmes courbes et de n'intervenir que sur la façon de les analyser. L'essentiel est de montrer aux élèves que les courbes sont riches en informations sur le mouvement et peuvent donner parfois beaucoup plus que les équations.

Nous avons fait le choix de travailler sur les graphiques en travaux pratiques où nous avons affaire à des groupes plus réduits d'élèves. Notons que ce travail a été mené sur quatre séances de travaux pratiques ayant chacune une durée d'une heure et demi. Notre proposition est la suivante : après le traçage d'une courbe les élèves sont invités à noter par écrit sur le dos de la feuille de papier millimétré sur laquelle a été faite la représentation, les informations qu'elle peut donner sur le mouvement et ce sans faire de calculs, c'est-à-dire de façon qualitative. Ces résultats sont discutés par la suite de façon collective avec la participation de l'enseignant (le chercheur). Les élèves se corrigent chacun avec ses propres mots et par écrit. Ceci a pour objectif d'engager activement les élèves dans l'activité.

Les élèves ayant participé à cette expérimentation sont au nombre de 28 et ils ont été comparés à 26 autres élèves (groupe témoin, même tranche d'âge) lors d'activités d'interprétation qualitative de situations cinématiques. Les élèves du groupe expérimental et ceux du groupe témoins ont eu un même enseignant (le chercheur), un même cours de cinématique et ont effectué les mêmes travaux pratiques de cinématique. Au cours de ces travaux pratiques, ils ont tracé les mêmes courbes mais ne les ont pas exploitées de la même façon.

Nous avons travaillé dans cette recherche sur deux plans : d'une part nous avons suivi l'évolution du groupe expérimental seul et ce à travers les textes écrits par les élèves et dans

lesquels ils interprètent des graphiques qualitatifs de mouvements. D'autre part nous avons comparé ce groupe à un groupe témoin dans un contexte d'exploitation qualitative de graphique en travaux pratiques et dans des contextes de situations "exercices graphiques qualitatifs"

Nous avons collecté à chaque fois ce qui a été écrit par les élèves et nous avons accordé une attention particulière à la façon dont ils parlent des différentes notions.

Résultats

En ce qui concerne l'évolution du groupe expérimental, nous avons constaté à travers les premiers textes collectés en séance de travaux pratiques, que les élèves avaient du mal à se séparer de leurs équations, certains d'entre eux ne distinguaient même pas les variables ciblées par l'étude. Leurs textes étaient tous de nature très générale, une sorte de suite de mots techniques du chapitre. Le graphique tracé est, dans la majorité des cas, confondu avec la trajectoire et est généralement surexploité, c'est-à-dire qu'il pouvait donner des informations sur toutes sortes de notions cinématiques.

Nous avons pu constater qu'après une semaine du premier TP, certains élèves devenaient plus indépendants vis-à-vis des formules et utilisaient des mots de plus en plus pertinents dans leurs réponses (à la place des équations). Leurs réponses écrites sont devenues plus précises sur ce qu'une notion est et ce qu'elle n'est pas et sur la façon d'extraire les informations pertinentes.

La comparaison entre le groupe expérimental et le groupe témoin montre que la majorité des élèves ayant travaillé sur les graphiques de mouvement de façon qualitative s'améliore quant à la compréhension des notions de cinématique telles que la vitesse, l'accélération, la trajectoire et la position, de même que les relations entre elles. Beaucoup d'entre eux deviennent plus indépendants vis-à-vis du formalisme mathématique et moins influençables par les traits de surface, car être en possession de plusieurs outils permet aux élèves d'être plus autonomes. En contrepartie, nous remarquons l'abondance des confusions entre les différentes notions dans le groupe témoin, à cela s'ajoute une influence plus grande par les traits de surface tels que la forme des graphiques, les formules et même les symboles. Ces élèves utilisent majoritairement les équations dans des contextes non appropriés et ne s'interrogent pas, même s'il s'agit parfois de contradictions.

Discussion et Conclusions

Les résultats que nous avons obtenus semblent apporter des réponses à nos questions de recherche. En effet le travail qualitatif sur les graphiques nous paraît intéressant dans le sens où il permet aux élèves d'avoir une vision globale du mouvement au lieu de l'aspect plutôt local et discontinu que procurent les équations. Il leur permet de voir plus clairement les relations qui existent entre les différentes notions (trajectoire, vitesse, accélération) et aussi celles qui n'existent pas. Le sens physique de ces relations est souvent occulté par l'utilisation quasi automatique de formules du type "dérivation" ou "intégration".

Bibliographie

ARONS Arnold B, february 1984. Student pattern of thinking. *The Physics Teacher*, 22, pp. 88-93.

CLEMENT John, november 1981, "Solving problems with formulas : some limitations ", *Engeneering education*, 72, pp. 158-162.

DIMITRIADIS Panagiotis ; KABOURIS Kostas ; KARANIKAS John ; PAPAMICHALIS Kostas ; PAPATSIMBA Lamprini et KALKANIS George, august-september 1999, " Linear motion study throug graphs a new technology-based learning environnement ", *Proceedings of the 2nd intrenational conference of the european science education research, Kiel august 31-september 4*, pp. 36-38.

DUFRESNE Robert J; GERACE William J et LEONARD William J, may 1997, " Solving physics problems with multiple representations ", *The Physics Teacher*, 35 pp. 270-274.

EL-MIMI Osama and GALILI Igal, november 2002, " Different modes of representing Physics probems at university level ", *Proceedings of the 2nd international conference on science education, Nicosia 11-13 November*, pp. 327-338.

DUVAL Raymond , 1995, *Semiosis et pensée humaine*, Paris, PUF.

LENTON Graham ; STEVENS Brenda and ILLES Robert, december 2000, " Numeracy in science : pupils understanding of graphs ", *School Science Review*, 82 (299), pp.15-23.

PETERS, P.C, june 1982, "Even honors students have conceptual difficulties with physics", *American Journal of Physics*. 59, 6, pp. 501-508.

TROWBRIDGE David E and McDERMOTT Lilian, march 1980, " Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension", *American Journal of Physics*, 49 (3), pp. 242-253.

TROWBRIDGE David E and McDERMOTT Lilian C, december 1981, " Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension", *American Journal of Physics*, 48 (12), pp. 1020-1028.

VAN AUSSDAL Ray G, november 1988, " Structured Problem solving in Kinematics ", *American Journal of Physics*, 26, pp. 518-521.

VAN DEN BERG Ed ; VAN DEN BERG Rosea ; CAPISTRANO Nilo and SICAM Arni, december 2000, " Kinematics graphs and instant feedback ", *School Science Review*, 82, pp. 104-107

VAN HEUVELEN Alan, october 1991, " Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies ", *American Journal of Physics*, 59,10, pp. 891-897

Formations des maîtres en sciences : de la modélisation des situations didactiques comme fondement de la conception d'un Environnement informatique pour l'apprentissage humain (EIAH) adaptatif

LAUBE Sylvain, Enseignant-chercheur, CREAD (Univ. Rennes2-IUFM de Bretagne), Brest, France

GARLATTI Serge, Enseignant-chercheur, LUSI (ENSTB), Brest, France

LOISY Catherine, Enseignante-chercheuse, CRPCC (Univ. Rennes 2), Rennes, France

BENEY Michel, Enseignant-chercheur, Univ. Bretagne Occidentale (UBO), Brest, France

FOREST Dominique, Doctorant, CREAD (Univ. Rennes2-IUFM de Bretagne), Brest, France

KUSTER Yves, PRAG, CREAD (Univ. Rennes2-IUFM de Bretagne), Rennes, France

Introduction

La création des CAREST (Centres d'Autoformation et de Ressources en Sciences et Technologie) au sein de l'IUFM de Bretagne s'est traduit dans les plans de formations 2004-2007 par une demande institutionnelle de nouveaux dispositifs didactiques à destination des maîtres en formation initiale et continue, dispositifs reposant sur l'autoformation par l'usage des TIC et visant à permettre l'évolution des connaissances en sciences et en didactique des sciences. Ce type de modules d'autoformation peuvent s'appuyer sur plusieurs aspects : formation en autonomie, formation tutorée en présentiel et/ou à distance, mise à disposition d'une documentation ou accès à des bases de données. Les travaux de recherche liés à la conception et l'utilisation de tels Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH) rentrent dans le cadre de la recherche en didactique des sciences et de l'« Ingénierie des EIAH » (TCHOUNIKINE, 2002), car il s'agit bien de définir des concepts, méthodes et techniques reproductibles et/ou réutilisables facilitant la mise en place (conception-réalisation-expérimentation-évaluation-diffusion) d'environnements de formation ou d'apprentissage en permettant de dépasser le traitement ad hoc des problèmes. Le champ de recherche concernant l'ingénierie EIAH est ainsi transdisciplinaire et les travaux nécessitent d'être menés par des équipes pluridisciplinaires. L'objet de cette communication est de présenter la recherche en cours du projet *MODALES (Modelling Didactic-based Active Learning Environment in Sciences)* où collaborent des chercheurs en didactique des sciences et sciences de l'éducation (CREAD, Université de Rennes2-IUFM de Bretagne; Université de Bretagne Occidentale (UBO-Brest), en psychologie cognitive (CRPCC, Université de Rennes2), en informatique (LUSI, ENSTB).

Cette recherche concerne plus particulièrement la mise en place de séquences de formation, à destination de futurs enseignants (professeurs de lycée et de collège et professeurs des écoles), basées sur l'utilisation de ressources multimédias et s'appuyant sur des pratiques réelles. Il s'agit de mettre en place des *scénarii* qui permettent à de futurs enseignants « d'apprendre leur métier » en réalisant des séquences d'enseignement. La formation est assurée par des formateurs IUFM et la formation est développée autour de l'utilisation d'outils multimédias.

Ce projet est soutenu par l'IUFM de Bretagne, par la région Bretagne dans le cadre d'un PRIR et au niveau national par le projet GUPTen (Genèses d'usages professionnels des technologies chez les enseignants) dans le cadre ACI "Education et formation". Il s'inscrit de plus dans le cadre des recherches du RTP39.

Questions de recherches et cadres théoriques

Dans le projet *MODALES*, nous sommes dans une situation particulière car nous avons la possibilité d'étudier la conception d'un *EIAH* en tant que réponse à une demande institutionnelle depuis les premiers moments de son élaboration jusqu'à sa mise en place et sa validation dans le cadre de la formation des maîtres. Notre étude porte sur : i) des apprenants en seconde année d'IUFM : Professeurs des Ecoles (PE2) et Professeurs des Lycée et Collèges (PLC2) SVT et Physique-Chimie ; ii) deux formateurs SVT et trois formateurs Physique-Chimie que l'on considère comme experts ; iii) une thématique commune (déclinée dans les programmes officiels de l'école primaire et de la classe de seconde) : L'air en tant que gaz dans ses aspects statiques et dynamiques : propriétés, théorie et applications.

Nous cherchons à atteindre les objectifs suivants :

- 1) Créer un *EIAH* dans le contexte des CAREST décrit ci-dessus et dont les contraintes sont les suivantes : i) Il ne suffit pas de rendre accessible aux apprenants un environnement et des documents, il y a nécessité d'un formateur avec une intention didactique qui organise le temps, l'espace, et le milieu d'apprentissage (TRICOT, 2003). Celui-ci définit et régule ensuite l'activité, ii) La mise en place des scénarii de formation dépend de variables et de paramètres dont a) l'origine des apprenants (ici PE2 et PLC2 en formation Initiale (FI)) avec des variabilités inter-individuelles et inter-catégorielles, b) la situation didactique, c) les ressources humaines et documentaires disponibles, d) la répartition entre formation en présentiel et à distance e) la distribution de l'activité entre les différents participants (machine, apprenants, tuteurs, enseignants, etc.).
- 2) Par des travaux focalisés sur le processus didactique dont le point d'entrée est la notion d'enjeu de connaissances et de modélisation de la situation qui en permet l'acquisition, a) mieux comprendre la genèse des scénarii des dispositifs didactiques (qui traduisent les intentions didactiques qui seront à l'œuvre) et les gestes professoraux que nécessitent sa mise en œuvre, b) évaluer ses effets en terme d'apprentissage. Ces travaux se justifient en eux-mêmes mais sont aussi nécessaire à l'élaboration de l'*EIAH* qui se doit d'être transdisciplinaire.
- 3) Etre capable d'engendrer des artefacts ayant une malléabilité maximale et permettant la réutilisation et le partage des ressources utilisées et des modèles sous-jacents. Les dispositifs de formation doivent s'adapter à de nombreux paramètres ; or le nombre de paramètres à prendre en compte pour la mise en place de ces scénarii mène rapidement à une explosion combinatoire des différentes versions d'un *EIAH*. Il devient donc nécessaire d'automatiser leur génération selon une palette de paramètres prédéfinis (intégrant au moins les cinq points donnés ci-dessus) . Un tel *EIAH* peut être vu comme un *Document Virtuel Adaptatif - DVA* - qui engendre dynamiquement un dispositif de formation adapté aux paramètres choisis. Un *DVA* assure ainsi la sélection et le filtrage des ressources et leur organisation en fonction des différents scénarii et paramètres associés. En d'autres termes, un *DVA* permet la réutilisation des ressources à partir des connaissances explicites d'une communauté de pratiques (sur les situations didactiques, le domaine, la description des ressources, les apprenants et les formateurs). Ces pratiques, modélisées par des scénarii, spécifieront entre autre la sélection, le filtrage et l'organisation. La conception d'un tel *DVA* doit s'appuyer sur l'étude et la formalisation des pratiques réelles des formateurs (GARLATTI S., IKSAL S. and TANGUY Y. (2004)).

La conception de cet EIAH suppose ainsi de suivre la démarche suivante:

- Etape 1 : élaboration par les formateurs experts des scénarios d'apprentissage ;
- Etape 2 : choix des outils conceptuels et explicitation de leurs apports, issus de la théorie de l'activité (COLE M. And ENGSTRÖM Y., 1993), de la théorie des situations didactiques (BROUSSEAU G., 1998) et de l'action du professeur (SENSEVY G., MERCIER A., SCHUBAUER-LEONI M.L., 2000), de la théorie anthropologique didactique du savoir (CHEVALLERD Y., 1992 et 1999) ;
- Etape 3 : articulation entre ces outils conceptuels de modélisation des pratiques réelles et les modélisations formelles de l'informatique pour la conception d'un dispositif de formation ;
- Etape 4 : élaborer une première plate-forme d'autoformation expérimentale non adaptative afin de valider les scénarii proposés, leurs paramètres et l'impact en terme d'apprentissage.
- Etape 5 : analyser les activités des apprenants et des formateurs et évaluer les effets de ce premier dispositif non adaptatif. Il s'agit notamment d'évaluer et consolider les scénarii et d'acquérir les paramètres effectifs de l'adaptation
- Etape 6 : élaborer la seconde plate-forme adaptative à partir des scénarii consolidés et des paramètres associés (pertinents). Il s'agit ensuite d'évaluer notamment en terme d'apprentissage cet environnement adaptatif.

Pour avancer dans les étapes de la démarche décrite ci-dessus, les travaux de recherches ainsi que les recueils de données empiriques auront pour objet de répondre aux questions suivantes :

- Q1 : Quels sont les modèles d'enseignement/apprentissage réels sous-jacents aux pratiques des formateurs ? Quels sont les modèles épistémologiques de références des formateurs ? Comment ces modèles influent-ils l'élaboration des dispositifs didactiques ainsi que l'utilisation des systèmes ?
- Q2 : En quoi le rôle du professeur est-il modifié dans une distribution à distance/présentiel. Comment, en l'absence du professeur, sont transmises ses attentes qui sont d'habitude signifiées par les éléments non-verbaux ? Le professeur anticipe-t-il ces questions, et si oui, de quelle manière lorsqu'il met en place les parties distantes de son scénario ?
- Q3 : Dans une approche « traitement de l'information », quels comportements adoptent de futurs professionnels de l'enseignement face à la machine ?
- Q4 : Quel est le rôle de la documentation (en ligne) ? En particulier, celle concernant la didactique, l'épistémologie et l'histoire des sciences ? Quels sont les effets attendus par les formateurs et en quoi les pratiques professionnelles des PE et PLC sont-elles modifiées ? Quels éléments d'une transposition didactique externe et interne peut-on mettre en évidence ?
- Q5 : Quelle répartition des tâches dans le dispositif didactique entre l'homme et la machine ? Quels sont les gestes professorales susceptible de supporter une modélisation formelle informatique ? Quelles sont les théories de références pertinentes ?

Nous présentons dans les sections suivantes une partie de la méthodologie suivie pendant l'année 2004-2005 ainsi que les résultats attendus afin de pouvoir mener en 2005-2006 l'Etape 5 de la démarche décrite ci-dessus.

Méthodologie

Notre méthodologie est proche de celle des études de cas : nous travaillons sur des échantillons réduits (en ce qui concerne les formateurs), nous élaborons un outil de formation particulier (environnement *EIAH*). Enfin nous évaluons les conditions d'élaboration de cet outil, son utilisation et ses effets dans le cadre particulier de la formation des enseignants.

Période 2004-2005

1) Recueil de données concernant l'élaboration des scénarii de formation par les formateurs experts (étape 1). Un plan de scénario de formation commun P_0 dont les variables sont les apprenants, le formateur et le contexte documentaire a été élaboré par les formateurs experts (voir annexe I). Il se décline en deux phases: i) construction de références professionnelles pour les apprenants, ii) élaboration d'une séquence d'apprentissage à mettre en œuvre dans les classes. Chaque phase est découpée en une série d'étapes. Les scénarii PE2, PLC2 SVT et PLC2 Physique-Chimie ont été élaborés selon la même procédure : chaque formateur (en fonction de la formation dont il a la charge) construit à partir du plan commun P_0 le scénario qu'il souhaite mettre en place. Il associe à l'étape i de la phase j une série de renseignement : 1) activation de l'étape (si elle existe dans le scénario) ; 2) en présentiel ou à distance ; 3) une description de la documentation mise à disposition et son type (notionnelle, didactique, épistémologique / historique) ; 4) une description de l'activité des apprenants et du formateurs.

Ce premier recueil de données est complété par les enregistrements vidéos des deux réunions nécessaires à l'élaboration du générique (nous appellerons RC_1 : les scénarii et les enregistrements)

2) A partir de RC_1 , deux études sont en cours :

- a) Un guide d'entretien des concepteurs a été élaboré afin de mettre en évidence les attendus en terme de formation et les représentations de la situation didactique. Il s'agit aussi d'apporter des réponses aux questions Q1, Q2, Q4. Les entretiens auront lieu courant février 2005 puis seront analysés.
- b) Une première procédure de modélisation informatique sera menée dès janvier 2005 à partir de l'analyse des scénarios experts en relation avec les théories de l'activité et des sciences de l'éducation citées plus haut. Ce travail permettra d'avoir des éléments de réponses aux questions Q5.

3) A partir des résultats obtenus en 2), une première plate-forme d'autoformation sera élaborée. Celle-ci sera le support de l'expérimentation menée en 2005.

Discussion

Bien que notre recherche soit en cours et que les premiers résultats fiables ne seront disponibles que fin juin 2005, plusieurs points peuvent être mise en évidence.

1) Les scénarios experts

Alors que les formateurs experts ont élaboré et retenu un plan de scénario commun, il s'avère que les scénarii effectifs qui en résultent présentent une grande diversité. Cette

diversité s'explique par la diversité des publics visés par la formation avec des PE2 considérés comme néophytes sur les aspects universitaires et les PLC2 comme plutôt experts. Elle s'observe aussi dans les procédures d'apprentissages choisies et mises en place par chaque formateur expert. Ces procédures sont certainement sous-tendues par les différentes représentations des experts en ce qui concerne les profils des apprenants et les modèles d'apprentissage de chaque formateur. On pourra par ailleurs sans doute mettre en évidence une épistémologie de référence différente en SVT et en Physique-Chimie.

2) Le modèle informatique

Partant du principe que le modèle informatique à implanter sur machine est fondé sur un modèle de tâches, il semble pertinent de s'appuyer sur la théorie anthropologique didactique du savoir. En effet, selon CHEVALLARD (1992), l'action du professeur peut s'exprimer en termes de types de tâches T accomplies au moyen d'une technique τ . Cette association tâche-technique définit un savoir-faire qui s'appuie sur un environnement technologico-théorique (ou savoir) formé d'une technologie θ (discours qui justifie et rend intelligible la technique) et une théorie Θ justifiant et éclairant cette technologie. Ce système à 4 composantes $T/\tau/\theta/\Theta$ constitue une organisation praxéologique articulant une partie pratico-technique (savoir-faire) et une partie technologico-théorique (savoir). Toute praxéologie est donc constituée par un système de tâches autour duquel se développent et s'organisent techniques, technologies et théories. Dans le cas qui nous intéresse, celui de la formation des maîtres, on voit que ce point de vue peut s'appliquer à deux niveaux : i) le formateur expert qui possède son système $(T/\tau/\theta/\Theta)_{\text{formateur}}$ que nous cherchons à mettre en évidence puisque nous considérons que ce système constitue la référence pour la conception d'un EIAH adaptatif, ii) l'apprenant qui est en formation à l'IUFM. En effet la procédure d'apprentissage (les activités) mise en place par le formateur dans le cadre de son système $(T/\tau/\theta/\Theta)_{\text{formateur}}$ ont pour objectif de faire évoluer le système de l'apprenant $(T/\tau/\theta/\Theta)_{\text{apprenant}}$ d'un état initial vers un état final. On devrait ainsi pouvoir retrouver les différents moments de l'organisation didactique (CHEVALLARD, 1999) :

- le moment de la première rencontre avec le type de tâches $T_{\text{apprenant}}$;
- le moment de l'exploration du type de tâches $T_{\text{apprenant}}$ et de l'élaboration d'une technique ;
- le moment de l'élaboration technologico-théorique relatif à une technique
- le moment du travail de la technique qui doit améliorer la technique en la rendant plus efficace et plus fiable et accroître la maîtrise que l'on en a.
- le moment de l'institutionnalisation
- le moment de l'évaluation qui s'articule au moment de l'institutionnalisation.

Conclusion

Cette recherche porte sur l'analyse critique de la conception, de la mise en place et de l'utilisation d'environnements informatiques pour l'apprentissage Humain (EIAH) concernant la formation des enseignants scientifiques en IUFM (PLC2 et PE2). Il s'agit de s'appuyer sur les pratiques réelles de formation. Pour cela, à partir de la genèse d'un tel environnement par des formateurs experts, nous avons cherché à déterminer les variables à retenir pour la mise en place d'un outil de formation, à montrer en quoi et comment ces variables permettent effectivement d'élaborer cet outil, à tester sa réalisation effective et à en mesurer les effets.

Nos premiers résultats montrent comment on peut prendre en compte les épistémologies différentes des formateurs (suivant leur origine : SVT ou sciences physiques mais aussi leur épistémologie personnelle), comment ces différences se retrouvent dans le choix et l'utilisation des documents et des ressources mises à disposition dans un tel environnement. Par ailleurs nous mettons en évidence en quoi un tel environnement modifie les pratiques des formateurs et des formés.

Il s'agira ensuite de tester l'utilisation de cet outil en situation de formation, d'en mesurer les effets : que ce soit en terme d'utilisation des documents (historique, didactique, notionnels) mais aussi de voir ce que les formés réinvestissent dans leur pratique.

Bibliographie

- BROUSSEAU G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. La Pensée sauvage, Grenoble.
- CHEVALLARD, Y. (1992), "Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique", La Pensée sauvage, Grenoble, *Recherches en didactique des mathématiques*, Vol 12, n°1, pp. 73-112 .
- CHEVALLARD, Y. (1999), "L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique", La Pensée sauvage, Grenoble, *Recherches en didactique des mathématiques*, Vol 19, n°2, pp. 221-226,
- COLE M. And ENGESTRÖM Y. (1993). "A cultural-historical approach to distributed cognition." In G. Salomon (Ed.), *Distributed cognition. Psychological and educational considerations*, pp1-46. Cambridge University Press.
- GARLATTI S., IKSAL S. and TANGUY Y. (2004), "SCARCE: an Adaptive Hypermedia Environment Based on Virtual Documents and the Semantic Web ", in : *Adaptable and Adaptive Hypermedia Systems*, S.Y. Chen and G.D. Magoulas, Editors. 2004, Idea Group. p. (à paraître).
- SENSEVY G., MERCIER A., SCHUBAUER-LEONI M.L. (2000). "Vers un modèle de l'action didactique du professeur. A propos de la course à 20". La Pensée sauvage, Grenoble, *Recherches en didactique des mathématiques*, Vol 20, n°3
- TCHOUNIKINE P., (2002), "Pour une ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. ", *Revue I3*, Vol. 2, n°1, p. 59-95.
- TRICOT A. & PLEGAT-SOUTJIS, F. (2003). "Pour une approche ergonomique de la conception d'un dispositif de formation à distance utilisant les TIC. ", *Revue STICEF* (10)

Annexe I : Plan commun PE2/PLC2 (SVT et Physique-Chimie)

Scénario MODALES : phase 1
Construction de références professionnelles
Etapes
T1. Construction de la problématique
T2. Lecture de la doc. Initiale
T3. Démarche explicative hypothético-déductive (formulation d'hypothèses, de procédures expérimentales avec prédictions des résultats)
T4. Ecrit intermédiaire
T5. Mise en œuvre et réalisation
T6. Production d'un écrit : compte-rendu
T7. Confrontation des comptes-rendus
T8. Synthèse et apports théoriques : notions, épistémologie, didactique, histoire des sciences, méthodes

Scénario MODALES : phase 2
Elaboration d'une séquence d'apprentissage
Etapes
T1. Mise en place du problème scientifique
T2. Objectifs scientifiques visés
T4. Objectifs de méthodes et de savoir-faire
T5. Description de la procédure de résolution du problème didactique
T6. Descriptif des activités à faire (boucler sur i = nombre d'activités)
T7. Confrontation des productions
T8. Synthèse
T9. Validation des procédures

L'enseignement des sciences physiques dans la série sciences et techniques de l'ingénieur, spécialité arts appliqués

LORILLOT Véronique et CAILLOT Michel, Laboratoire Éducation et Apprentissages, Université René Descartes – Paris 5, 45 rue des Saints Pères, 75720 Paris Cedex 06

Introduction

L'évolution constante des programmes scolaires, que ce soit en termes de politique, d'objectifs ou encore de contenus, a amené les Sciences de l'Éducation et notamment la sociologie de l'Éducation à s'interroger sur ceux-ci en termes de curriculum. En effet, la sociologie anglo-saxonne a ouvert ces questionnements introduisant dans l'étude des programmes le contexte dans lequel ils évoluent, prenant en compte à la fois les différents partenaires État, École, Enseignants, Élèves, mais aussi l'histoire des disciplines (Forquin, 1991). Ainsi pour le chercheur, étudier une discipline suppose un questionnement sur la considération de celle-ci dans un espace social défini à un moment donné de son histoire. Le rattachement en 1997 des Arts Appliqués, dispensés jusque-là dans la filière F 12, à la filière Sciences et Techniques de l'Ingénieur permettait du point de vue ministériel d'enrichir la gamme des formations Technologiques et de mettre l'accent sur la particularité de la formation Design¹ et de ses liens avec les techniques et les technologies modernes, ce qui semblait alors être un enjeu économique.

Problématique de la recherche et méthodologie

Une série particulière, un enseignement spécifique; Sciences et Arts Appliqués : un lien difficile à établir

A travers l'exemple précis de l'enseignement des Sciences physiques dans la série Sciences et Techniques de l'Ingénieur (STI), spécialité Arts Appliqués (AA), nous posons la question de la transmission du savoir scientifique mais aussi celle de la place d'un enseignement dit général dans une formation très spécialisée, et de la pertinence de celui-ci à travers son adaptabilité à une série spécifique avec un profil d'élèves et des contenus particuliers. Pourquoi faire des Sciences Physiques dans cette formation, et quels savoirs transmettre ? Autrement dit, s'agit-il de copier, d'aménager un enseignement donné par ailleurs dans les lycées d'enseignement général en gardant les mêmes références, ou d'adapter celui-ci et de l'intégrer réellement aux besoins spécifiques des séries technologiques ou professionnelles ? Comment ces enseignements sont-ils pensés ? Quelles sont les références utilisées par les concepteurs de programmes, mais aussi comment les enseignants de Sciences Physiques,

¹ Design: regroupe dans le champ éducatif les Arts Appliqués qui concernent les métiers de la conception et de la création industrielle dans les domaines de l'environnement, de la mode, de la communication. Le Design est issu en France de l'Esthétique industrielle. Lié d'abord au style, il prend un sens nouveau dans les années 60, se dégageant de la production d'objets pour englober les notions de signes, de besoins, de discours social. Aujourd'hui, le Design recouvre aussi bien des industries (grande série ou série plus limitée de production d'objets, d'aménagement d'espace, de mode, de communication) qu'une création parfois plus artisanale.

acteurs principaux avec leurs élèves, perçoivent-ils et vivent-ils leur propre enseignement dans ces séries? Quel est leur rapport au savoir scientifique dont ils sont coporteurs et comment celui-ci intervient-il dans leur enseignement ? En résumé quel est le sens de cet enseignement dans cette série et quel sens les enseignants lui donnent-ils ?

Méthodologie de la recherche

Analyse curriculaire

Faisant référence à Forquin pour qui le curriculum est ce qui donne sens à l'enseignement même puisqu'il le justifie et expose les conditions de celui-ci, notre analyse prend en compte l'ensemble du cursus. En outre, la notion de pratique de référence (Martinand, 2001) permet d'interroger ce curriculum du côté de la discipline et de prendre en compte le contexte culturel dans lequel elle a été pensée et celui dans lequel elle évolue. Pour cette analyse, nous avons consulté les archives concernant la création de ce baccalauréat et l'élaboration du programme de Sciences Physiques au Ministère de l'Éducation Nationale, et analysé le programme de Sciences Physiques que nous avons comparé avec celui des séries S et L², en liaison avec les enseignements de Sciences dans les séries Arts Appliqués post-baccalauréat.

Analyse d'entretiens

Nous avons mené des entretiens avec sept enseignants de Sciences Physiques pour déterminer quels sont leur type de rapport au savoir scientifique et leur identité professionnelle. L'analyse a tenté tout d'abord de mettre en avant le type de discours des enseignants sur leurs élèves, leur pratique, les programmes, mais aussi leurs représentations des Sciences, des élèves, des Arts Appliqués, des Sciences Physiques, de l'enseignement scientifique. Puis les différents "*rapports à*" (rapport à l'enseignement, aux Sciences et à l'Art) ont été repérés. Leur discours sur leur pratique a permis de comprendre également comment ils se positionnent en tant qu'enseignants de Sciences physiques dans une série qui n'est pas scientifique et donc de comprendre comment cette situation est vécue. A partir des analyses individuelles, des regroupements ont permis de mettre en évidence plusieurs types d'identités professionnelles :

Identité liée à une reconnaissance de deux interprétations du monde :

l'une par une approche scientifique l'autre par une approche artistique,

Identité ancrée dans la discipline,

Identité ancrée dans la fonction enseignante,

et par la suite de définir différents types de rapport au savoir scientifique : rapport au savoir disciplinaire, rapport au savoir basé sur la transversalité ou rapport au savoir basé sur sa transmission.

² La série L peut conduire à des carrières artistiques.

L'analyse curriculaire

CPC et GTD ³

La consultation des archives disponibles au Ministère permet de comprendre l'origine de la rénovation de ce baccalauréat en 1996 et la part réservée à l'enseignement scientifique, mais aussi de comprendre, après analyse, à partir de quelles références culturelles, scientifiques et professionnelles le programme a été conçu. La volonté d'intégrer les Arts Appliqués dans la filière Sciences et Techniques de l'Ingénieur afin de revaloriser la filière fut claire mais ce aussi pour des raisons liées à l'évolution des métiers du Design. Toutefois une divergence entre la Commission Professionnelle Consultative Arts Appliqués et le Groupe Technique Disciplinaire des Sciences est apparue quant au choix du contenu et à la forme d'enseignement avant la mise en place du nouveau baccalauréat. Une note de la CPC définit ainsi les besoins en Sciences physiques en proposant l'idée d'intégrer les enseignements scientifiques dans les programmes d'enseignement technologique et de choisir des contenus au plus proche des préoccupations des professionnels du moment:

Notions simples de statique et de dynamique, notions simples concernant les caractéristiques mécaniques des matériaux, déformations classiques (traction, compression, torsion, flexion), notion de colorimétrie, influence de la lumière sur les couleurs d'un objet, détermination précise de la couleur, notion concernant la photo, transmission des images⁴.

La CPC considère que l'évaluation doit se faire de manière implicite au travers des enseignements technologiques et donc que l'enseignement des sciences physiques ne devrait pas être évalué au baccalauréat par une épreuve terminale spécifique. Le GTD de Sciences Physiques est en total désaccord sur ce point puisqu'il demande à ce que l'épreuve soit maintenue afin que cet enseignement soit considéré de la même manière que dans les autres baccalauréats, ce qui signifie implicitement que l'évaluation au baccalauréat est la source de la reconnaissance d'une discipline et de sa valorisation vis-à-vis de la société.

À partir de cette demande, ne seront pas prises en compte dans le programme définitif ni les notions de statique et de dynamique, ni les caractéristiques mécaniques des matériaux, ni les déformations classiques ce que souhaitait la CPC. Ainsi la réponse en matière de contenu de programme ne répondra pas du tout à la demande de la CPC, mais sera déterminée par les choix disciplinaires du GTD.

Alors pourquoi ce choix de programme ?

L'analyse montre que les référents des deux commissions ne sont pas du même ordre. Pour la CPC ils sont d'ordre professionnel et répondent aux demandes des professionnels les plus importants en terme de débouchés, à savoir le Design industriel⁵, pour le GTD ils sont d'ordre disciplinaire.

Le programme de sciences physiques

Le référentiel général de la série précise que *“la spécificité de l'enseignement des Arts Appliqués tient à la nature d'une recherche, d'une expérimentation, d'une production qui*

³ CPC : Commission Consultative Professionnelle dans laquelle sont présents les professionnels du Design et les représentants du Ministère.

GTD : Groupe Technique Disciplinaire.

⁴ Note de la CPC antérieure au programme définitif que nous n'avons pu dater.

⁵ Design industriel : définition de T. Moldano (1961), “le design est une activité créatrice qui consiste à déterminer les propriétés formelles des objets que l'on veut produire industriellement.” in D.Quarante (1984). *Eléments de design industriel*. Paris. Maloine

prennent en compte des données d'ordre scientifique, esthétique, socio-économique, technique et technologique" (BO.09/97). L'enseignement de Physique appliquée fait partie des enseignements généraux, mais n'est pas défini en termes de culture générale. "*L'objectif est de développer la curiosité scientifique des élèves tout en mettant en relief la démarche scientifique: observation, questionnement, expérimentation, et interprétation*" (BO.10/97).

En Première deux domaines sont abordés : *l'optique* (optique géométrique et instrumentale - propagation des ondes lumineuses - optique physiologique) et *la chimie* (oxydoréduction - chimie organique). En Terminale, *la physique* comprend la photographie, les ondes, la télévision et l'image numérique. *La chimie* comprend les matières plastiques et les matières colorantes et peintures, ainsi qu'une partie appelée méthodes physico-chimiques d'analyses appliquées à l'identification et à la restauration des oeuvres d'art.

A travers ces choix de contenus nous constatons un regard sur les formations futures et les pratiques professionnelles autour des méthodes de communication visuelle et de l'usage de matériaux. En effet la prépondérance en physique de l'optique (en Première) puis de ce qui a trait à l'image en Terminale pourrait laisser penser que les programmes sont inspirés de pratiques issues à la fois du champ de la communication et des nouvelles technologies, et par là même de celui de l'art contemporain. Or si cette orientation est bien donnée dans le référentiel d'Arts Appliqués, celui-ci tient pour autant à bien marquer la séparation entre enseignement artistique et enseignement technologique, c'est à dire entre Art et Design. Or, la dominance dans le programme de l'optique et de l'image semble davantage relever de la culture générale que de la pratique des divers designers, les deux domaines ayant évolué bien au-delà du programme. Si le programme de chimie, orienté vers les matériaux et leur transformation, semble être lié à ce qui est la vocation première du designer, il montre que les références sont bien issues du Design industriel, mais il ne satisfait pas tout le champ du Design actuel. En outre l'analyse du programme montre que la partie "Restauration des oeuvres d'art" n'a aucun lien avec les formations en Design et fait plus référence à l'univers artistique et non technologique des métiers du Design.

Ainsi, même si certains éléments du programme laissent penser qu'il est lié à l'évolution du Design, en matière de créations industrielles et artisanales diverses, de produits de consommation, ou encore de communication, et si tel était bien le discours des initiateurs de programme à son origine, nous constatons qu'il ne prend pas en compte certaines dimensions comme la dimension environnementale présente dans la définition même du cadre d'action du designer. Même le Design industriel qui est le plus présent aujourd'hui prend de plus en plus en compte la dimension de l'homme interagissant avec son milieu, les autres Designs se préoccupent réellement de ces questions. Or les programmes de Sciences ne prennent pas en compte cette dimension alors qu'elle semble avoir sa place dans d'autres séries comme dans la série L. Par ailleurs, nous constatons l'absence totale de biologie, alors qu'elle apparaît à travers un enseignement d'ergonomie dans certaines formations post-baccalauréat.

La comparaison en termes de compétences avec la série L, qui peut conduire à des carrières artistiques, montre que pour cette série le programme de Sciences physiques est orienté vers l'idée de culture scientifique. En effet celui-ci faisant partie de l'enseignement général et étant pensé en termes de culture pour les élèves, la seule compétence évaluée sera celle qui permet "*une meilleure compréhension du monde pour y intervenir en temps que citoyen*"⁶.

Par contre les compétences de la série STI AA sont identifiées en termes de "*savoirs que*", "*utiliser*" et "*savoir-faire*" comme le sont celles de la série S. Ainsi la forme des contenus du programme de STI AA ressemble davantage à ceux de la série S scientifique qu'à ceux de série L orientée vers le domaine artistique. Si l'enseignement des Sciences physiques de la série STI AA fait partie de l'enseignement général, il dépasse la notion même de culture générale puisque des savoirs et savoir-faire précis sont à acquérir.

⁶ Cf BO n° 7 hors série du 31-08-00

Les écoles post-baccalauréat et le Design aujourd'hui

Sur le plan général, le programme de STI AA semble avoir été conçu avec un parti pris quant à ce qui sera utilisé après le baccalauréat, dans les BTS ou DSAA, puisqu'il est bâti autour de l'optique donc en relation avec la photographie – et la chimie des matériaux, que l'on retrouve en Création Mode et Objet. Sur l'ensemble des formations post-baccalauréat nous retrouvons dans les programmes l'optique, la photographie, la colorimétrie et l'éclairagisme, ces notions étant plus ou moins approfondies suivant la spécificité de l'option. Par contre, il est à noter que certains contenus ne sont pas du tout abordés au lycée, comme la mécanique, l'acoustique ou l'action mécanique des matériaux thèmes importants notamment en Design-espace ou Design-objet, alors que l'évolution des matériaux a permis aux designers de s'inscrire dans une idée de développement durable, même si la question ne se pose pas de la même manière suivant les spécialisations. Ainsi certains designers se préoccupent aujourd'hui de recyclage. L'absence de biologie en STI AA souligne la non prise en compte des problèmes environnementaux actuels dus aux effets de l'usage de nouveaux matériaux et à l'étude de nouveaux comportements. De même la biologie est absente des programmes de STI AA alors que le problème du corps très présent également en Design se retrouvera abordé sous forme de l'ergonomie dans les formations supérieures.

La présence même d'un contenu scientifique dans ces formations post-baccalauréat montre bien la nécessité d'un enseignement de Sciences au niveau Terminale.

L'analyse des objectifs de la série et des enseignements montre que les références ne sont pas du même ordre dans les deux domaines Sciences et Design. Ainsi pour les enseignements technologiques d'Arts Appliqués, les références sont liées aux pratiques professionnelles dominantes du Design et à la vision contemporaine de celui-ci. Pour les enseignements scientifiques de cette série, les références sont liées à l'enseignement "classique" de la physique et les contenus de programmes montrent qu'ils ne sont pas adaptés aux questions nouvelles en matière de Design. La question de la discipline de service (Martinand, 2001) montre que dans ce cas précis si les concepteurs du programme des enseignements technologiques d'Arts Appliqués reconnaissent le rôle fondateur des Sciences en matière de Design, ceux du programme de Sciences Physiques restent sur des pratiques acquises dans les autres filières ne nécessitant pas l'intégration de la discipline dans les enseignements principaux de cette série.

Le rapport au savoir scientifique des enseignants

La question de la place de la discipline dans un curriculum spécifique peut être abordée à travers les enseignants qui l'enseignent. En effet, Raïsky (2001) pose la question de la référence du côté du système didactique. Si le référentiel est ce qui donne sa légitimité au savoir prescrit, la référence peut être interne ou externe à l'école. Ainsi elle peut être envisagée à travers les représentations des enseignants de la discipline enseignée, leur *identité professionnelle* (Dubar, 2000) et leur *rapport au savoir* (Charlot, 2002). Le rapport au savoir s'enracine dans l'histoire du sujet à travers ses références, ses modèles et ses choix. L'appropriation personnelle du curriculum dépend également de ce rapport au savoir et contribue à donner du sens à leur enseignement, d'autant que, pour cette série, l'absence de document d'accompagnement du programme laisse une liberté d'interprétation plus grande. Si la sociologie de l'Éducation a montré que les identités professionnelles des enseignants du second degré sont d'ordre disciplinaire, il nous a semblé possible dans cette étude de nuancer. Ainsi à partir d'une étude de cas comprenant sept entretiens semi-directifs et sept questionnaires auprès d'enseignants de Sciences physiques qui enseignent dans la série STI Arts Appliqués nous avons pu vérifier l'hypothèse suivante :

Le sens que les enseignants de sciences physiques donnent à leur propre enseignement dans la série dépend de leurs rapports au savoir scientifique, au Design et à l'Art et de leur identité professionnelle.

Suite à l'analyse des entretiens, nous avons déterminé trois types de rapport au savoir : un de type disciplinaire, un autre de type transdisciplinaire, et un troisième basé sur la transmission de ce savoir. En effet, pour certains, l'enseignement de la physique prend son sens à travers la discipline de référence et les valeurs qui lui sont attribuées, pour d'autres à travers l'implication des Sciences dans le domaine du Design, pour d'autres enfin à travers la nécessité d'une culture scientifique.

A partir de ces types de rapport au savoir scientifique apparaissent trois idéal-types d'enseignants que nous avons nommés : les *Scientifiques-Designers*, les *Scientifiques*, les *Professeurs*.

Les "Scientifiques Designers"

Pour eux, l'identité professionnelle s'inscrit dans la discipline *Physique* et dans la spécificité de la série. Ces enseignants pensent être perçus comme des scientifiques et se sentent reconnus dans les deux communautés enseignantes : celle de la physique et celle du design. Ils pensent que le programme est une base dont ils ont les clefs dans le domaine scientifique mais qu'il faut approfondir dans le champ spécifique de la série. Il peut y avoir complémentarité des deux univers dans une approche moins formelle des Sciences.

En effet, pour eux la spécificité de la série renforce l'importance de l'enseignement scientifique et les liens qu'ils établissent entre les deux enseignements sont source de motivation pour les élèves (E1: *"Lorsque l'on fait des expériences, ils associent toujours à leur domaine, c'est fabuleux..."*) et pour eux mêmes (*"Pendant les premiers mois j'ai essayé de reprendre des cours de S...mais j'ai vite compris que ce n'était pas cela qu'il fallait faire, alors j'ai fait des expositions, j'ai lu des livres d'Art, de Design..."*). Leurs connaissances en art et en design leur permet de faire appel aux connaissances des élèves. Ils travaillent sur des thèmes conservant une approche spécifique au domaine scientifique. Ils ont un rapport régulier avec les enseignants d'Arts Appliqués dans une perspective constructive pour leur enseignement et pour les élèves et travaillent dans l'idée d'une complète transversalité. L'enseignement scientifique prend son sens en partie à travers l'implication des Sciences dans le domaine du Design.

Les "Scientifiques"

Ils ont une identité professionnelle fondée sur leur discipline et, à travers elle, ils s'identifient à l'ensemble des enseignants de Sciences Physiques dont les valeurs sont liées à la forme d'esprit qui donne *"une certaine adaptabilité, une ouverture sur le monde permettant une interprétation de celui-ci, un accès à une forme de culture."* Pour ces enseignants leur identité est acquise du côté de la communauté des enseignants scientifiques et reconnue du côté Arts Appliqués en tant que physiciens. Ils sont axés sur et se retrouvent dans le cursus en tant que scientifiques et alors n'ont pas de problème d'adaptation. En termes d'individualité, ils s'épanouissent dans leur choix d'enseigner en STI AA et dans la spécificité des Sciences dans cette section qui semble leur apporter un certain confort tant au niveau du programme que des élèves et de la forme de travail. Leurs pratiques d'enseignement diffèrent peu de celles que l'on trouve dans d'autres séries, mais ils trouvent un certain plaisir dans cette section du fait du programme qui pour eux est original. Par ailleurs, la plupart d'entre eux ne manifeste pas de connaissance réelle du design, ce qui les empêche de positionner les sciences physiques dans le champ des Arts Appliqués avec un regard critique. Ainsi même s'ils ne s'intéressent pas, ou peu, à l'art, ils font des liens de manière intuitive entre certains concepts scientifiques

et des objets artistiques (couleur, peinture, colorant...). L'enseignement scientifique dans cette série prend son sens à travers la physique et les valeurs qui lui sont attribuées, mais aussi à travers la nécessité d'une culture scientifique.

Les "Professeurs"

Ces enseignants s'identifient davantage à leur fonction d'enseignant faisant passer la discipline à enseigner au second plan et souvent en comparaison, voire en opposition, avec les enseignements d'Arts Appliqués (E2: "*On ne leur demande pas d'être passionnés en physique, mais juste d'être passionnés pour un petit domaine, une petite chose, un petit truc...*"). Ainsi les valeurs retenues sont liées au développement des méthodes de travail chez les élèves. L'enseignant pense être perçu comme un enseignant d'enseignement général qui n'est parfois reconnu ni dans sa discipline, ni dans sa fonction (E2 "*on a envie d'être reconnu...*"). Ils sont axés sur le programme et la spécificité de la série pour en faire ressortir une certaine incompatibilité entre eux. Pour eux, existe un problème identitaire ; leur identité serait mise en doute du côté de la communauté des enseignants de sciences physiques, mais serait aussi remise en cause du côté des professeurs d'Arts Appliqués. Ils éprouvent une certaine frustration du côté disciplinaire et du côté enseignement. La spécificité de la série semble leur être un obstacle, ils ne manifestent aucune connaissance réelle du design et ne perçoivent pas les liens possibles entre les deux domaines. L'enseignement des Sciences Physiques dans cette série leur pose problème car il semble prendre son sens à travers la nécessité d'une culture scientifique qui ne serait pas adaptée à cette série. D'autre part l'absence de document d'accompagnement de programme les conduit à une certaine incertitude dans ce qu'ils doivent et peuvent enseigner.

Conclusion

L'analyse curriculaire pointe des différences quant aux références utilisées dans le programme de l'enseignement principal (ici le design) et dans celui d'un enseignement considéré comme général (ici les sciences physiques). Elle permet de comprendre ce qui motive les concepteurs de programmes pour l'introduction d'une matière dans un cursus et les conditions d'adaptation de chaque type d'enseignement, mais aussi le cadre dans lequel les enseignements doivent être proposés. Ainsi, si l'introduction de l'option Arts Appliqués dans la série STI a été liée à une réponse en partie économique, aujourd'hui l'évolution du design s'oriente vers des questionnements prenant en compte l'environnement quotidien de l'homme et des réponses que peuvent apporter les sciences en matière d'élaboration et d'usage de matériaux, des différents modes de perception par l'homme des acteurs de cet environnement (son, image...).

L'analyse des sept entretiens et des questionnaires montre que les Sciences physiques dans cette série sont perçues différemment selon les professeurs. La majorité d'entre eux les considère comme une discipline d'ouverture permettant l'acquisition de connaissances nécessaires à une culture, alors que d'autres la considèrent comme une discipline de service pouvant toutefois avoir un effet motivant, ce qui permet une connaissance des deux disciplines et des relations entre elles. Enfin pour quelques uns, les sciences physiques restent dans cette série une discipline atypique. Ainsi à travers cette étude, nous pouvons comprendre comment les identités professionnelles qui sont par ailleurs conjoncturelles s'ancrent dans la discipline avec ou sans distinction de la spécificité de la série, ou encore dans la fonction enseignante plus ou moins bien vécue.

Le sens de l'enseignement scientifique dans la série STI AA dépend de la définition même du programme et du choix des contenus mais aussi du rapport au savoir des enseignants. Il est

dépendant des représentations de ceux-ci quant à la discipline qu'ils enseignent et à leur rôle d'enseignant, mais aussi de leurs représentations des arts appliqués (design) et de l'art en général, des élèves de cette série et de l'enseignement qu'ils reçoivent dans leur formation principale. Toutes ces représentations aident à comprendre le type de rapport au savoir que développe l'enseignant et son identité professionnelle.

Pour les uns, l'enseignement scientifique prendra son sens à travers la discipline concernée et les valeurs qui lui sont attribuées. Pour d'autres ce sera à travers l'implication des sciences dans le domaine du design (technologie appliquée ou art) et plus largement dans l'univers créatif et artistique. Pour d'autres encore, ce sera à travers la nécessité d'une culture scientifique minimale permettant aussi l'acquisition de compétences transversales (esprit critique, rigueur dans le travail). Enfin certains enseignants mettront en doute le sens de cet enseignement dans la section AA, enseignement qui reste difficile à concevoir dans cette série du fait des liens qu'ils n'établissent pas entre les deux domaines. Il est possible alors de penser que les choix didactiques des enseignants, dans leur approche de l'enseignement scientifique, dépendraient du sens qu'ils donnent à leur propre enseignement et par conséquent de leur propre rapport au savoir. Ainsi une approche des pratiques professionnelles supposerait alors une analyse approfondie du rapport au savoir des enseignants. C'est ce que nous avons commencé à étudier.

Bibliographie

BLIN Jean-François (1997) *Représentations, pratiques et identités professionnelles*. Action et Savoir- Paris: l'Harmattan.

CHARLOT Bernard (2002) *Du rapport au savoir. Éléments pour une théorie*. Paris: Anthropos.

DUBAR Claude (2000) *La socialisation, construction des identités sociales et professionnelles*. Paris: Armand Colin, 3ème édition.

FORQUIN Jean-Claude (1991) *École et culture le point de vue des Britanniques*. Bruxelles: De Bœck

MARTINAND Jean-Louis (2001), Pratiques de références et problématique de la référence curriculaire. In A. Terrisse (Ed), *Didactique des disciplines, les références au savoir*, 17-24. Bruxelles: De Bœck

QUARANTE Daniele (1984), *Eléments de design industriel*. Paris: Maloine.

RAISKY Claude (2001). Référence et système didactique. In A. Terrisse (Ed), *Didactique des disciplines, les références au savoir*, 25-47. Bruxelles: De Bœck.

Concept de fossile et rapport au(x) savoir(s) : une étude au cycle 3 de l'école primaire

MAIRONE Corinne, PRAG, PIUFM & DUPIN Jean-Jacques, Professeur d'Université, IUFM d'Aix-Marseille, UMR ADEF (INRP, IUFM d'Aix-Marseille, université de Provence – Aix-Marseille 1)

Introduction

De nombreux travaux en didactique des sciences ont été consacrés à l'étude des conceptions des élèves. Aujourd'hui, ces recherches s'enrichissent d'une nouvelle dimension apportée par les débats autour des questions de rapport au savoir. Dès les premières rencontres de l'ARDIST, en 1999, J.-L. CHARTRAIN et M. CAILLOT présentaient leurs travaux sur "Apprentissages scientifiques et rapport au savoir : le cas du volcanisme au CM2". Depuis, d'autres études ont porté sur les liens que l'on peut établir entre didactique des sciences et concept de rapport au(x) savoir(s) (BEN ABDELAHMANE M.-L., 2000 ; CAILLOT M., 2000 ; CHABCHOUB A., 2000 ; AROUA S., COQUIDE M. & ABBES S., 2001, JELMAN Y., 2002 ; MAURY S. & CAILLOT M., 2003).

Dans ce travail préliminaire, nous nous proposons d'explorer un concept géologique, le concept de FOSSILE, à la lumière des connaissances acquises en didactique et des questions liées au concept de rapport au(x) savoir(s). Travailler sur ce concept nous a paru pertinent pour au moins deux raisons :

- il est inscrit dans les programmes scientifiques et technologiques de l'école primaire, domaine au centre de nombreuses préoccupations actuellement ;
- il n'est pas neutre, en ce sens qu'il passionne petits et grands. Ainsi, peut-il constituer un savoir susceptible "d'interpeller les convictions idéologiques et culturelles des individus" (BEN ABDELAHMANE M.-L., 2000) ?

Cadre théorique

Ce travail s'appuie sur des éléments empruntés à différentes recherches :

- Des recherches en didactique des sciences,
- Des recherches sur les questions de rapport au(x) savoir(s).

Le concept de fossile du point de vue de la didactique

Les premières études françaises qui portent sur des concepts et des notions de Géologie à l'école primaire datent des années 80. Elles ont été menées dans le cadre d'une recherche-innovation et d'un groupe de travail mis en place par le ministère de l'éducation nationale sous l'impulsion d'une Inspectrice Générale, Jeannine DEUNFF et d'un universitaire géologue, Georges SABOURDY.

Ces recherches ont permis de construire un certain nombre de savoirs à propos du concept de FOSSILE. Ils concernent notamment le repérage des conceptions des élèves de l'école primaire. D'autres travaux (GOUANELLE et SCHNEEBERGER, 1995 ; LAPPERIERE-TACUSSEL, 2002) ont permis de confirmer et compléter les premières recherches en

fournissant d'autres exemples de formulations et des pistes d'analyse. A partir de ces résultats, nous avons pu définir une typologie des conceptions des élèves de l'école primaire à propos des fossiles.

La question du rapport au savoir : différentes approches possibles

Le concept de rapport au savoir peut s'envisager selon différents points de vue : une approche clinique (BEILLEROT et al., 1989), une approche microsociologique (CHARLOT, 2002), une approche anthropologique (CHEVALLARD, 2003), une approche didactique (CHARTRAIN & CAILLOT, 1999, 2001).

Dans l'étude que nous avons menée, l'approche anthropologique a été privilégiée. En effet, nous avons souhaité entrer dans le concept de rapport au savoir, non pas du côté du sujet comme le suggèrent les approches clinique et microsociologique, mais du côté du savoir lui-même. Notre travail emprunte à l'approche anthropologique trois notions majeures, celles d'institution, de rapport personnel et de rapport institutionnel (CHEVALLARD, 2003).

Par institution, il faut entendre *"un système de pratiques sociales (1) qui, relativement à un certain domaine de réalité, (lui-même objet culturel) marque sa différence, (2) dont les acteurs sont vus comme réalisant une "performance" sociale, déterminée, réputée associée à une compétence spécifique"* (CHEVALLARD, 2003). Autrement dit, on peut parler de l'institution "école", de l'institution "classe" mais aussi "famille", "club sportif", "syndicat socioprofessionnel", "paroisse" ... Dans ces institutions vivent des objets (o) et des personnes (x). Il se crée des relations entre cet objet (o) et la personne ou l'institution. Il existe donc deux grands types de rapports au savoir :

- des rapports personnels pour chaque personne ;
- des rapports institutionnels pour chaque institution.

Les objets en cause et leur taille peuvent varier (objet "école", objet "professeur", objet "apprendre", objet "savoir", objet "mal au dent", objet "fossile" ...).

Quand un individu (x) entre dans une institution, cet individu va être confronté à chaque objet institutionnel connu de l'institution à travers le rapport que l'institution entretient avec lui. Apprendre un objet de savoir pour un sujet revient donc à rendre conforme son rapport personnel avec cet objet au rapport institutionnel (MAURY & CAILLOT, 2003). Un même objet de savoir peut donc être connu et vivre dans des institutions différentes, l'école et la famille par exemple. Dans certains cas, les rapports aux objets de savoir construits dans la vie familiale ou quotidienne peuvent entrer en conflit avec les rapports institutionnels à ces mêmes objets que l'école veut imposer (JELMAN, 2000). D'où les tensions susceptibles de se produire lors des apprentissages.

Questions de recherche

Il s'agit, pour nous, d'appliquer ces notions de rapport institutionnel et de rapport personnel à un concept précis, le concept de fossile. Autrement dit :

- *Quelles sont les attentes de l'institution scolaire vis à vis du concept de fossile ?*
- *Quel rapport personnel les élèves de cycle 3 niveau 3 développent-ils vis à vis de ce concept ?*

Hypothèse générale

Plus le rapport institutionnel est clairement défini, plus les enseignants seront "armés" pour mettre en place des situations d'apprentissage efficaces.

Une hypothèse intermédiaire

Partant du présupposé que le rapport personnel se construit à travers une confrontation au rapport institutionnel, on peut émettre l'hypothèse qu'un objet de savoir institutionnellement mal défini (ou défini de façon peu explicite) ne permettra pas aux élèves de construire un rapport personnel adéquat.

Résultats

Une première étape empirique : l'étude des documents officiels

L'analyse a porté sur les programmes(et les compléments ou documents d'application) de l'école primaire des vingt dernières années. Notons qu'ils ont changé à trois reprises : 1985, 1995 et 2002. Nous avons recherché dans ces textes toutes références au concept de *fossile* afin d'identifier les attentes de l'institution scolaire en ce qui concerne cet objet de savoir.

Si des concepts et des notions géologiques, et en particulier les fossiles, ont fait leur entrée dans le programme de l'école primaire dès la fin du XIX^{ème} siècle¹, les notions géologiques disparaissent totalement de ces programmes de 1969 à 1985. Dans les instructions de 1985, l'objet d'enseignement *fossile* réapparaît dans l'intitulé : l'évolution des vivants dans le programme du cycle 3 (niveaux internationaux 3, 4 et 5).

On note, sans conteste, des différences dans la manière de rédiger ces instructions entre 1985, 1995 et 2002. En effet, le texte des instructions devient plus "fourni". On passe de "*L'évolution des vivants*" en 1985 à "*Des traces de l'évolution des êtres vivants (quelques fossiles typiques) ; les grandes étapes de l'histoire de la Terre ; notion d'évolution des êtres vivants*" en 2002. Dès 1985, il s'agit donc bien d'enseigner les fossiles afin d'étudier les grandes étapes de l'histoire de la vie sur Terre. Le maître mot reste celui d'*évolution*. Pourtant, bien que comportant un plus grand nombre de mots, le libellé de 2002 ne semble pas d'une grande aide pour les enseignants.

Le mot *fossile* apparaît clairement dans les compléments au programme publiés en 1990. Ils précisent qu'il ne s'agit pas d'étudier les fossiles comme une fin en soi mais bien d'introduire la notion d'*évolution* et de faire comprendre la reconstitution de l'histoire de notre planète. Ils donnent également des indications supplémentaires aux enseignants en précisant notamment le niveau de formulation à atteindre en fin de cours moyen et les activités possibles pour y parvenir.

Dans les textes de 1995 et 2002, une expression a retenu notre attention : il s'agit de "*Quelques fossiles typiques*". A aucun moment, dans aucun texte complémentaire, il n'est précisé de quels fossiles il s'agit. Paradoxalement, il est suggéré aux enseignants [*d'intégrer les apports personnels des élèves dans les activités (exemple : fossiles trouvés par les élèves)*]. Une question se pose immédiatement : des fossiles typiques oui mais typiques de quoi ? de la région ? de l'évolution ? des deux ?

D'autre part, dans le document d'application de 2002, on invite les enseignants à [*privilégier les sorties sur le terrain, dans les musées ou les expositions*]. Oui, mais dans quel but ? La lecture de paysages géologiques est un exercice délicat qui requiert de multiples compétences et connaissances.

¹ Ainsi, les préconisations étaient les suivantes en 1882 : "*Notions sommaires sur le sol, les roches, les fossiles, les terrains : exemples tirés de la contrée. Excursions et petites collections.*" (ROUBAUD, 2001).

Ces quelques exemples suffisent à pointer les difficultés que représente cet enseignement du fait notamment de l'imprécision des textes. C'est à l'enseignant que revient la charge de définir ce que l'on attend de lui et donc de ses élèves en fin de cycle 3.

Pour conclure, nous dirons que les textes officiels préconisent clairement d'étudier les fossiles pour introduire la notion d'évolution auprès des élèves de cycle 3 mais, qu'à notre avis, ils ne sont d'aucune aide concrète pour les enseignants. On peut en déduire que le rapport institutionnel à l'objet de savoir "Fossile à l'école primaire" n'est pas clairement défini.

Une seconde étape empirique

En nous référant aux travaux de DEUNFF & LAMEYRE (1990) et de GOUANELLE & SCHNEEBERGER (1995), nous avons proposé un questionnaire à 49 élèves de cycle 3 niveau 3 (niveau international 5) afin de recueillir leurs connaissances sur "Fossiles et fossilisation", de repérer leurs conceptions et, si possible, d'en tirer des informations sur le rapport personnel qu'ils ont développé à propos de cet objet de savoir. Le questionnaire a été complété par des entretiens semi-directifs avec quatre élèves, choisis sur la base de leurs réponses au premier questionnaire. Dans les deux cas (questionnaire et entretien), l'expérimentation s'est appuyée sur des objets réels (empruntés à un Musée de Paléontologie) que les élèves ont manipulés : descriptions, activités de tri et de regroupement de fossiles variés, de roches, de coquillages actuels...

L'étude s'est déroulée dans deux classes d'une même école. Ces deux classes ont à peu près le même "profil" : les élèves sont issus de milieux très divers ce qui conduit à une hétérogénéité. Cependant, une variable d'importance les différencie : une des deux a rencontré l'objet de savoir *fossile* au cours de l'année (enseignement délivré quelques mois auparavant) alors que les élèves de l'autre classe n'ont reçu aucun enseignement sur ce thème.

Le questionnaire est proposé aux 49 élèves des deux classes par l'expérimentateur, les enseignants n'intervenant pas. Il présente 7 questions réparties en trois parties distinctes. Les questions sont données au fur et à mesure aux élèves afin d'éviter les interférences car certaines d'entre elles peuvent contenir la réponse à une question précédemment posée.

La première partie du questionnaire s'appuie sur la manipulation de fossiles (des moulages externes de bivalves du genre *Pecten*, *Ostrea* et *Gryphea* et de gastéropodes du genre *Natica* et *Potamides*), chaque fossile évoquant un être vivant existant (Coquille Saint Jacques, escargot ...). Les deux questions posées ("Décris ce que tu as devant toi" et "Peux-tu lui donner un nom ?") doivent permettre de savoir si l'objet *fossile* est connu des élèves, s'il existe pour eux. Nous cherchons également à repérer les critères qui serviront de base à la description.

Les questions de la deuxième partie du questionnaire ont pour intention de révéler les connaissances des élèves à propos de l'objet *fossile* et du processus de fossilisation et de connaître l'origine de ces connaissances.

Dans la troisième et dernière partie, il s'agit de confronter les connaissances des élèves à une explication scientifique du processus de fossilisation. Le document utilisé est une bande dessinée que l'on trouve dans certains manuels scolaires². Cette étape doit permettre l'émergence d'un éventuel conflit entre ce que pense l'élève de la formation des fossiles (formulé dans la deuxième partie) et la proposition qu'en font les experts.

L'étude montre que tous les élèves ont rencontré les fossiles à l'école ou ailleurs et qu'ils peuvent tous en parler. Leurs réponses au questionnaire renvoient, dans la plupart des cas, à quelque chose de vivant, à quelque chose qui a vécu il y a longtemps. Le facteur temps est très largement évoqué même s'il reste un véritable obstacle, obstacle déjà largement évoqué

² *Sciences et Technologie, cycle 3*, 1996, Paris, Nathan, Collection Gulliver.

dans les recherches citées précédemment. En effet, la notion d'échelle de temps n'est pas maîtrisée ; les réponses des élèves oscillent entre *plusieurs années, pendant des milliers d'années, des milliards d'années, au fil des siècles* ... D'autre part, nous pouvons retenir que l'idée de transformation est sous-jacente même si elle est rarement explicite. Ces résultats ne font que confirmer les travaux précédemment évoqués, une dizaine d'années après leur publication.

La comparaison des réponses des deux classes montre (sans réelle surprise) une nette "supériorité" des élèves ayant reçu un enseignement, au moment de l'identification et de la définition de l'objet fossile (première étape du questionnaire). Ils reconnaissent le fossile à plus de 70 %. Les autres ne se réfèrent spontanément qu'à des traits de surface (poids, couleur). Faute de pouvoir le nommer et porteurs de peu de connaissances sur le sujet, ils font alors appel à leur sens pour décrire l'objet fossile. Cette "supériorité" n'est plus aussi nette quand il s'agit de répondre à la question : "D'après toi, comment se forme un fossile ?".

Un rapport au concept de fossile semble donc exister chez tous les élèves même chez ceux qui n'ont pas reçu d'enseignement. Chez ces derniers, il faut noter que, même s'ils sont aptes (sollicités explicitement par le chercheur) à reconnaître l'existence du fossile dans une catégorisation, ils ne sont encore pas capables, pour la plupart, d'identifier les fossiles comme des objets spécifiques présentant des critères communs.

Dans l'état actuel d'avancée des travaux, l'étude n'a pas permis de caractériser plus précisément ce rapport. Elle a, en revanche, montré que les origines du savoir fossile sont multiples. Pour les élèves ayant reçu un enseignement, c'est l'institution scolaire qui est évoquée par le plus grand nombre. Le travail mené sur l'autre classe montre que ce savoir, bien que très spécialisé, a diffusé dans la société et que l'on peut rechercher son origine dans de multiples institutions extrascolaires.

Conclusion

Ce travail préliminaire nous permet d'apporter quelques éléments de réponse aux deux questions posées.

En ce qui concerne les attentes de l'institution, il apparaît nettement que les fossiles sont à étudier comme témoins du processus d'évolution. Reste le constat que c'est un sujet d'étude extrêmement complexe et que, de notre point de vue, les textes apportent peu d'aide aux enseignants pour mettre en place un enseignement efficace et pertinent. Se pose alors la question des pratiques effectives des enseignants.

Pour ce qui est du rapport personnel des élèves à l'objet de savoir fossile, cette première approche pose plus de questions qu'elle n'en résout. Toutefois, l'hypothèse intermédiaire formulée semble en partie se vérifier. Nous avons en effet constaté que les élèves ayant reçu un enseignement sur les fossiles n'avaient aucun mal à les identifier et à les nommer. En comparaison aux élèves de l'autre classe, ils possèdent un lexique plus large, plus adapté. Mais si l'on s'intéresse au degré de maîtrise du concept, l'écart entre les deux classes est peu significatif. Cela est net quand on analyse les réponses à la question posée dans la deuxième partie du questionnaire : "D'après toi, comment se forme un fossile ?".

C'est à ce niveau de notre étude que nous pouvons tenter d'établir un premier lien entre rapport institutionnel et rapport personnel des élèves. Des instructions officielles supposées peu explicites se traduisent par un rapport personnel des élèves peu conforme aux attentes de l'institution scolaire.

Il s'agissait bien ici d'une étude exploratoire initiant une recherche approfondie sur ces questions. Dans la suite, nous nous interrogerons sur les fossiles comme objets géologiques

témoignant de l'évolution, conformément aux prescriptions des instructions officielles. Nous sommes donc amenés à questionner directement l'objet de savoir "Evolution". Existe-t-il un rapport institutionnel clairement attendu à son sujet ? Les relations à l'objet "Fossile" sont-elles explicites ? Ceci devrait permettre de mettre en évidence les distances entre rapports personnels et rapport institutionnel. De plus, on peut s'attendre à ce que le terme *évolution* soit porteur de plus de déterminants sociaux, culturels voire affectifs que celui de *fossile* ouvrant éventuellement un plus large éventail de réponses. Ceci fera l'objet des recherches à venir.

Bibliographie

- BEN ABDELAHMANE M.-L., 2000, *Pertinence et limites de la notion de "rapport au savoir" en didactique des sciences*. In A. Chabchoub (dir.), *Rapports aux savoirs et apprentissage des sciences*, Actes du 5^{ème} Colloque international de didactique et d'épistémologie des sciences, Sfax, pp. 187-194.
- CAILLOT M., 2000, *Rapport(s) au(x) savoir(s) et didactique des sciences*. In A. Chabchoub (dir.), *Rapports aux savoirs et apprentissage des sciences*, Actes du 5^{ème} Colloque international de didactique et d'épistémologie des sciences, Sfax, pp. 25-36.
- CHABCHOUB A., 2000, *Rapports au(x) savoir(s), didactique des sciences et anthropologie*. In A. Chabchoub (dir.), *Rapports aux savoirs et apprentissage des sciences*, Actes du 5^{ème} Colloque international de didactique et d'épistémologie des sciences, Sfax, pp. 37-46.
- CHARLOT B., 2000, *La problématique du rapport au savoir*,. In A. Chabchoub (dir.), *Rapports aux savoirs et apprentissage des sciences*, Actes du 5^{ème} Colloque international de didactique et d'épistémologie des sciences, Sfax, pp. 13-24.
- CHARLOT Bernard, 2002, *Du rapport au savoir. Eléments pour une théorie*, Paris, Anthropos.
- CHARLOT Bernard, 2003, *La problématique du rapport au savoir*. In S. Maury & M. Caillot (dir.), *Rapport au savoir et didactiques*, Education et sciences, Paris, Fabert, pp. 33-50.
- CHARTRAIN J.-L., 2003, *Rôle du rapport au savoir dans l'évolution différenciée des conceptions scientifiques des élèves. Un exemple à propos du volcanisme au cours moyen 2*. Thèse de 3^{ème} cycle. Université Paris 5.
- CHARTRAIN J.-L. & CAILLOT M., 1999, *Apprentissages scientifiques et rapports aux savoirs : le cas du volcanisme au CM2*, Actes des 1^{re} rencontres de l'A.R.D.I.S.T, Cachan, 1999.
- CHARTRAIN J.-L. & CAILLOT M., 2001, *Rapport au savoir et apprentissages scientifiques : quelle méthodologie pour analyser le type de rapport au savoir des élèves ?* Actes des 2^e rencontres scientifiques de l'A.R.D.I.S.T, Carry-Le-Rouet.
- CHEVALLARD Yves, 2003, ***, In S. Maury & M. Caillot (sous la direction de), *Rapport au savoir et didactiques*, Education et sciences, Paris, Fabert, pp ***.
- DEUNFF Jeannine, LAMEYRE Jean & al., 1990, *Contribution à la définition de modèles didactiques pour une approche de la géologie à l'école élémentaire et dans la formation des maîtres*, M.E.N. Direction des Ecoles.
- GOUANELLE C. & SCHNEEBERGER P., 1995, *Enseigner les fossiles à l'école primaire*. In

ASTER n° 21, Enseignement de la géologie, Paris, INRP, pp. 81-107.

JELMAN Y., 2002, *Le rapport aux objets de savoirs comme critère de différenciation entre les apprenants : cas de la foudre*, doctorat en cours sous la direction de M. Caillot.

LAPPERIERE-TACUSSEL M., 2002, *Essai de construction de situations pédagogiques sur le thème des fossiles*. Grenoble : revue Grand N n° 69, pp. 83-98.

MAURY S. & CAILLOT M., 2003, *Quand les didactiques rencontrent le rapport au savoir*, In S. Maury & M. Caillot (dir.), *Rapport au savoir et didactiques*, Education et sciences. Paris, Fabert, pp. 13-32.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, *Ecole élémentaire : programmes et instructions*, Paris : C.N.D.P, 1985a.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE/DIRECTION DES ÉCOLES, *Ecole élémentaire : compléments aux programmes et instructions*, Paris : C.N.D.P, 1985b.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, *Programmes de l'école primaire*, Paris : CNDP, 1995.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, *Qu'apprend-on à l'école élémentaire ?*, Paris : Hachette, 2002.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, *Documents d'application*, Paris : Hachette, 2002.

ROUBAUB Jean-Louis, 2001, *Une approche de la transposition didactique : étude des conceptions d'étudiants de première année d'IUFM sur les grands phénomènes géologiques, objets à enseigner à l'école élémentaire*. Thèse de 3ème cycle. Université de Provence.

L'histoire des sciences comme outil de recherche et d'enseignement : exemple des couleurs obtenues par passage de la lumière à travers un prisme

MAURINES Laurence, professeur, Université Paris-Sud, Orsay, France

Introduction

L'étude que nous présentons ici s'inscrit dans une recherche actuellement en cours sur l'utilisation de l'histoire des sciences dans l'enseignement. Elle porte sur un thème faisant partie du programme de physique de la classe de seconde : la réfraction et la dispersion de la lumière par un prisme. Elle vise à dégager les difficultés rencontrées par les élèves, en particulier celles concernant l'origine des couleurs, et à examiner si certaines de ces difficultés sont aussi celles que les scientifiques ont eu à surmonter autrefois.

Si les thèmes de la réfraction et de la couleur ont donné lieu à des analyses historiques (Ronchi, 1956 ; Mathieu, 1987 ; Blay, 2001), il n'est que partiellement exploré par la didactique. En effet, la plupart des recherches sur des situations de réfraction concernent la formation des images par une lentille (Fawaz et Viennot, 1986, Goldberg et Mc Dermott, 1987 ; Kaminski, 1989, Galili, 1996). La majorité des travaux sur la couleur mettent en jeu des objets opaques diffusants ou des filtres colorés (La Rosa et al, 1984 ; Kaminski, 1989 ; Chauvet, 1993). Seules quelques recherches concernent des prismes (Prat, 1989; Singh et Butler, 1990), ou s'intéressent à l'origine des couleurs produites par dispersion (Hadadah, 1984), ou encore, mentionnent des difficultés liées aux concepts de lumière monochromatique (Péroles et al, 1989) ou de superposition des lumières (Chauvet, 1993).

Nous allons tout d'abord présenter le contexte dans lequel cette étude est menée, les questions auxquelles nous souhaitons apporter des éléments de réponse et la méthodologie que nous suivons. Nous donnerons ensuite quelques indications sur les premiers résultats obtenus.

Contexte de l'étude

Si les nouveaux programmes du secondaire demandent d'utiliser l'histoire des sciences et si les documents d'accompagnement des programmes suggèrent quelques pistes d'utilisation, peu d'exemples sont fournis. Si plusieurs chercheurs en didactique soulignent l'intérêt de l'histoire des sciences aussi bien pour la recherche que pour l'enseignement (Saltiel, 1987 ; Martinand, 1993 ; Toussaint et Gréa, 1996), il existe encore peu d'études sur les questions soulevées par l'introduction de l'histoire des sciences dans les cours (Audigier et Fillon, 1991 ; Galili, 1996 ; Laugier et Dumon, 2001 ; De Hosson, 2004). C'est pourquoi, nous avons voulu commencer une recherche sur l'utilisation de l'histoire des sciences dans l'enseignement, notamment en faisant un état des lieux de ce qui se passe actuellement en classe et en construisant et testant des séquences d'enseignement.

Pour contribuer à l'effort de recherche et d'élaboration d'une banque de situations d'enseignement s'appuyant sur l'histoire des sciences (Calmettes, 1997 ; Scheidecker et Laporte, 2000 ; Fauque, 2003, Bracco et al, 2004, Thouin, 2004) nous avons construit une séquence sur la vitesse de la lumière autour de textes historiques en collaboration avec un chercheur en histoire des sciences (Maurines et Mayrargue, 2003). Ayant décidé de travailler

des obstacles cognitifs, nous avons choisi d'aborder des points signalés comme difficiles par les recherches en didactiques ou susceptibles de l'être moyennant deux hypothèses. La première est que les raisonnements mécanistes dégagés à propos des ondes mécaniques (son, signal sur une corde) peuvent aussi se manifester dans le cas de la lumière. La deuxième est que les élèves peuvent avoir à surmonter aujourd'hui des difficultés similaires à celles rencontrées par les scientifiques autrefois. Nous avons ainsi été amenés à traiter quatre points pouvant être abordés en classe de seconde, mais dont l'étude pourrait être commencée en classe de quatrième et donner lieu à des prolongements en classe de terminale scientifique. Ils concernent le fait que la vitesse de la lumière n'est pas infinie, que la lumière blanche est composée de plusieurs lumières « colorées » (la couleur étant un effet perceptif, cette expression est un raccourci pour dire « qui produit la sensation de couleur »), que la vitesse de la lumière est la même avant et après la traversée d'un milieu transparent, que les lumières « colorées » ont la même vitesse dans le vide. Le choix du premier point provient de la conception connue en didactique sous l'expression « le bain de lumière », celui du second point de l'hypothèse d'une similitude de conceptions entre celles des élèves et celles des scientifiques autrefois, celui des deux derniers de l'hypothèse de l'existence d'un raisonnement mécaniste à propos des ondes lumineuses, hypothèse issue de la recherche en didactique et renforcée par l'histoire de l'optique (Maurines et Mayrargue, 2001).

Les autres objectifs de la séquence étant d'ordre épistémologique (montrer aux élèves que les idées des scientifiques ont évolué, amorcer une réflexion sur la démarche expérimentale et la preuve, montrer que le raisonnement par analogie a ses avantages comme ses limites), nous avons choisi pour l'essentiel d'exploiter des textes historiques proposant des modèles contradictoires ayant donné lieu à des controverses. Nous avons également cherché à réaliser une « mise en scène expérimentale » des textes lorsque c'était possible. Nous n'avons pas pu réaliser notre projet initial d'élaborer des situations-problèmes s'appuyant sur l'histoire des sciences dans les situations choisies car nous n'avons pas assez d'information sur les conceptions des élèves. C'est pourquoi le travail proposé dans la séquence consiste en une lecture guidée d'un texte original ou à résoudre un exercice inspiré par un texte lorsque celui-ci a été jugé trop difficile pour être donné tel quel aux élèves, ou bien encore à utiliser les modèles contradictoires pour faire des prévisions face à des expériences suggérées par les textes.

Comme certains des points abordés dans la séquence avaient été peu explorés par la didactique, nous avons décidé de nous y intéresser. C'est le cas du thème faisant l'objet de cette communication, celui de l'origine des couleurs obtenues lors du passage de la lumière à travers un prisme. Nous souhaitons dans cette étude dégager les conceptions des élèves avant enseignement, examiner leur résistance à l'enseignement et les comparer à celles des scientifiques autrefois. La connaissance de ces conceptions devrait ainsi nous permettre de vérifier si les points proposés dans la séquence sont bien des obstacles cognitifs et éventuellement nous conduire à proposer une exploitation plus judicieuse des textes.

Questions explorées

Les questions que nous sommes en train d'explorer ont été déterminées par l'analyse de l'histoire de l'optique. Disons-en deux mots.

La question qui a préoccupé les scientifiques aux dix-septième et dix-huitième siècles est celle de savoir si les couleurs obtenues lors du passage de la lumière blanche à travers un prisme résultent uniquement de l'action de la matière sur la lumière (théorie de la modification) ou si elles sont déjà présentes dans la lumière incidente (théorie de la lumière

composée). Si dans la théorie de la modification, la lumière blanche est le concept premier, dans la théorie de la lumière composée, c'est la lumière colorée.

La théorie de la modification existait déjà dans l'antiquité. Selon Aristote, une lumière colorée est un mélange de lumière blanche et d'ombre, la quantité d'ombre incorporée augmentant avec l'épaisseur de milieu transparent traversé : si l'épaisseur est grande, la quantité d'ombre est importante et la lumière est bleue ; si l'épaisseur est petite, la quantité d'ombre est moindre et la lumière est rouge. La théorie de la modification se rencontre également au dix-septième siècle sous une autre forme. Ainsi, Descartes propose une théorie mécaniste de la lumière dans laquelle les couleurs apparaissent près des zones d'ombre et proviennent d'une modification définitive d'une propriété de la lumière incidente, à savoir la vitesse de rotation des boules de matière subtile.

La théorie de la lumière composée a été proposée par Newton : elle consiste à dire que la lumière blanche est composée de lumières « colorées » que le prisme sépare car l'angle de réfraction dépend de la « couleur » de la lumière. Newton a renouvelé l'expérience du prisme réalisée par ses prédécesseurs : la pièce était sombre et l'ouverture laissant passer la lumière du soleil petite, l'écran d'observation était loin du prisme. Il a expérimenté avec des prismes d'épaisseurs différentes et montré qu'une lumière blanche décomposée pouvait donner de la lumière blanche par recombinaison et qu'une lumière colorée obtenue par décomposition de la lumière blanche ne pouvait être décomposée de nouveau.

Le bilan que nous présenterons devrait apporter des éléments de réponses aux questions suivantes :

- pour les élèves, d'où proviennent les couleurs observées sur un écran lors du passage de la lumière à travers un prisme ? Résultent-elles uniquement de l'action du prisme ou sont-elles aussi une caractéristique de la lumière incidente ?
- pour les élèves, les couleurs observées dépendent-elles de l'épaisseur de verre traversé et de la nature du verre ?
- pour les élèves, une lumière « colorée » peut-elle être décomposée, que cette lumière soit celle d'une source primaire de lumière ou bien une lumière « colorée » obtenue par décomposition de la lumière blanche ?
- pour les élèves, les couleurs observées dépendent-elles de la distance du prisme à l'écran d'observation ?
- pour les élèves, la superposition des couleurs obtenues lors du passage de la lumière à travers un prisme conduit-elle à de la lumière blanche ?

Méthodologie

Nous avons choisi d'utiliser essentiellement des questionnaires pour mener à bien cette étude. Cependant, nous envisageons également de réaliser quelques interviews afin d'analyser plus finement les raisonnements des élèves.

Un premier questionnaire a été passé en 2003 et 2004 à quinze élèves de cinquième n'ayant pas reçu d'enseignement sur la lumière, à dix-sept élèves de quatrième ayant abordé les premières notions sur la lumière et la couleur (la couleur est une réponse du système œil-cerveau, la couleur d'un objet diffusant dépend de la lumière qui l'éclaire, la lumière blanche est composée de lumières « colorées », les couleurs peuvent être obtenues par synthèse additive et soustractive), à trente et un élèves de seconde ayant suivi l'enseignement de seconde portant sur la réfraction et la dispersion de la lumière par un prisme. Ce premier questionnaire comportait quatre questions qualitatives visant à explorer les trois premiers points présentés plus haut : explication de l'apparition des couleurs, prévision de l'influence de l'épaisseur et de la nature du prisme, décomposition d'une lumière « colorée » obtenue par

décomposition de la lumière blanche. Il était demandé aux élèves d'accompagner leur réponse par des schémas si nécessaire.

Les résultats obtenus nous ont conduit à affiner nos questions et à les compléter par des questions portant sur les deux derniers points présentés plus haut (prévision de l'influence de la distance prisme-écran, prévision de la couleur obtenue lors de la recombinaison des lumières « colorées » obtenues par décomposition de la lumière blanche). Deux nouveaux questionnaires ont été élaborés. Passés à des élèves de seconde n'ayant pas suivi l'enseignement sur la réfraction et la dispersion par un prisme, ils sont en attente de dépouillement. Ils sont également en cours de passation auprès d'élèves de collèges n'ayant pas reçu d'enseignement d'optique et d'élèves de seconde en ayant reçu un.

Résultats

Les premiers résultats sont les suivants :

Origine des couleurs

Seules les réponses d'un tiers des élèves n'ayant pas reçu d'enseignement (5 /15) laissent penser que la lumière blanche arrivant sur le prisme est constituée de plusieurs lumières colorées. Ces élèves utilisent ainsi des expressions telles que « *la lampe envoie un faisceau lumineux décomposé par le prisme en plusieurs couleurs* », « *la lampe envoie un rayon lumineux qui se décompose en passant à travers le prisme et celui-ci renvoie des rayons colorés* ». Ce point reste encore à confirmer car tous les élèves ne disent pas que la lumière incidente est composée de plusieurs lumières « colorées ». Seuls deux le font : « *la lumière est composée de couleurs* », « *la lampe émet plusieurs couleurs que reçoit le prisme, il partage les couleurs et les envoie à l'écran, arc en ciel* ».

Après enseignement de quatrième, ce nombre a peu changé (4/17). Après celui de seconde, il a beaucoup augmenté (24/31) mais seulement huit élèves disent que la lumière incidente est polychromatique. Par ailleurs, quatre élèves uniquement font référence à la réfraction et deux aussi au fait que l'indice du prisme dépend de la « couleur » de la lumière. Ce résultat rejoint le fait noté par Péraux (1989) que la dispersion de la lumière, donc l'apparition des couleurs, ne semble pas toujours liée au phénomène de réfraction par les étudiants : « *the consideration of dispersion and refraction as alternative properties, manifests students' deficient comprehension of light dispersion : it is not understood as a selective refraction of light, but viewed as an entirely different kind of property* ».

Les autres réponses données par les élèves de cinquième sont plus difficilement interprétables : certaines laissent penser que la lumière et la couleur sont deux phénomènes distincts, que les couleurs sont potentiellement dans le verre et que la lumière les révèle, ou bien potentiellement dans la lumière et que le verre les révèle : « *la lumière passe à travers le verre et nous fait apparaître les couleurs* », « *quand le verre est traversé par la lumière, le verre reflète des couleurs sur l'écran blanc* », « *la lumière se reflète par transparence et reflète les couleurs de l'arc en ciel* ». Nous retrouvons également sur une réponse l'idée que la lumière prend la couleur d'un objet et l'emporte sur l'écran signalée à propos de la diffusion de la lumière par des objets opaques (Chauvet, 1993) et rencontrée dans la situation proposée par Prat (le prisme éclairé en lumière blanche est posé sur un support bariolé) : « *elle projette sa lumière qui va aller sur les couleurs et l'écran E* ».

Influence de l'épaisseur de verre traversé

A la question demandant comment sont les couleurs observées sur l'écran si le prisme est plus épais, plus de la moitié des élèves n'ayant pas reçu d'enseignement (9/15) disent que les couleurs sont différentes. Ces réponses pourraient être compatibles avec la théorie de la modification, certains élèves précisant qu'elles sont « *plus claires* », « *moins distinctes* », « *plus sombres* ». Ce point est cependant encore à approfondir car il pourrait s'agir pour ces élèves de la modification de l'intensité des couleurs et non aussi de leur teinte. Après enseignement, ce nombre diminue fortement (2/17 en quatrième et 4/31 en seconde), les réponses disant que les couleurs sont identiques étant majoritaires (14/17 en quatrième et 21/31 en seconde). Les justifications accompagnant ces réponses mentionnent rarement le fait que le spectre est plus étalé. Là aussi, il semble que le phénomène de dispersion ne soit pas lié à celui de réfraction.

Influence de la nature du verre

La question demandant comment sont les couleurs observées sur l'écran si le prisme est en cristal et non en verre obtient le nombre le plus élevé de non réponses (6/15 avant enseignement, 6/17 en quatrième et 7/31 en seconde). Si, avant enseignement, elle obtient un nombre de réponses disant que les couleurs sont identiques équivalent à celui obtenu à la question sur l'influence de l'épaisseur de verre (respectivement 4/15 et 3/15), après enseignement, ce nombre est plus petit : 8/17 au lieu de 14/17 pour la classe de quatrième, 15/31 au lieu de 21/31 pour la classe de seconde. Les justifications accompagnant ces réponses suggèrent que les couleurs dépendent de la matière : « *toutes les couleurs d'un prisme de cristal : c'est une matière spéciale* ».

Décomposition d'une lumière « colorée »

A une question demandant ce qui se passe lors du passage à travers le prisme d'une lumière jaune obtenue par décomposition de la lumière blanche, notamment s'il est possible d'obtenir une couleur bleue sur l'écran, beaucoup d'élèves interrogés avant enseignement ne répondent pas (9/15). Les deux tiers de ceux qui répondent disent que l'on ne peut pas observer une couleur bleue sur l'écran. Pour les autres, c'est possible. Cette même question posée en seconde obtient également un nombre important de non réponses (14/31), les autres réponses étant correctes (12/31).

A une question portant sur ce qui se passe lors du passage à travers le prisme d'une lumière jaune émise par une source primaire, seulement la moitié des élèves de quatrième interrogés après enseignement de l'optique (8/17) disent que la couleur observée sur l'écran est jaune. Parmi les neuf autres, deux utilisent ce qu'ils ont appris sur la synthèse additive et disent que l'on observe une tache rouge et une tache verte, cinq semblent considérer que la lumière jaune va se superposer aux couleurs du spectre de la lumière blanche : « *bleu +jaune=vert, rouge+jaune=orange* ».

Influence de la distance prisme-écran d'observation

A une question présentant ce qui est observé sur un écran lorsque celui-ci est près du prisme (une tache blanche bordée d'un côté de rouge, de l'autre de bleu) et demandant ce qui se passe lorsqu'on éloigne l'écran d'observation du prisme, la majorité des élèves de seconde interrogés avant enseignement de seconde (environ 28/32) répondent que les couleurs sont identiques. Bien que les explications fournies pour l'apparition des couleurs dans la situation de référence mentionnent pour beaucoup une dispersion de la lumière et pourraient laisser supposer une conception de la lumière composée, le principe physique à l'origine de ce phénomène est rarement précisé. Là encore, le prisme semble être une boîte noire servant à dévier la lumière et à faire apparaître des couleurs.

Schémas

Le premier questionnaire demandait aux élèves de compléter leur réponse par un schéma si nécessaire. Sur les soixante deux élèves interrogés, seuls deux élèves ont fourni un schéma. C'est pourquoi dans un des deuxièmes questionnaires, nous avons demandé aux élèves de fournir un schéma pour expliquer ce qui se passe. Tous les élèves de seconde interrogés avant enseignement donnent des schémas similaires à ceux obtenus par Singh et Butler (1990) : la réfraction et la dispersion ne se produisent qu'à la face de sortie du prisme.

Conclusion

Des premiers résultats obtenus avant enseignement semble se dégager une conception voisine de celle correspondant à la théorie de la modification, conception se manifestant par le fait que les couleurs dépendent de la nature du prisme et de son épaisseur. Bien que cette conception semble disparaître après enseignement, il se pourrait qu'elle subsiste sous une certaine forme car le principe de la dispersion par réfraction ne semble pas compris. Les questionnaires en cours de passation et les interviews envisagés devraient nous permettre d'affiner ces premiers résultats et de les compléter. Nous devrions ainsi être en mesure de pouvoir comparer les conceptions des élèves aux explications avancées autrefois par les scientifiques et de juger de la pertinence de nos propositions pédagogiques.

Bibliographie

- AUDIGIER François et Fillon Pierre, 1991, *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques : une approche pluridisciplinaire*, Paris, INRP.
- BLAY Michel, 2001, *Lumières sur les couleurs : le regard du physicien*, Paris, Ellipses.
- BRACCO Christian, KREBS Gisèle, CHARRIER Rodolphe, ALBRECHT Florence, 2004, *Histoire des idées sur la lumière (cd-rom)*, Nice, CRDP.
- CALMETTES Bernard, novembre 1997, « Histoire et enseignement de la réfraction : propositions », BUP, Paris, n°798, pp. 1957-1965.
- CHAUVET Françoise, 1993, « Conceptions et premiers essais d'une séquence sur la couleur », BUP, Paris, n° 750, pp. 1-26
- De HOSSON Cécile, 2004, *Contribution à l'analyse des interactions entre histoire et didactique des sciences. Élaboration d'un support d'enseignement pour l'école primaire et le collège et premiers éléments d'évaluation*, Thèse, Paris, Université Paris 7 Denis Diderot.
- FAUQUE Danièle, 2003, *Lavoisier. La naissance de la chimie moderne*, Paris, Vuibert.
- FAWAZ Ahmed et VIENNOT Laurence, 1986, « Image optique et vision », BUP, Paris, n°686, pp.1125-1146.
- GALILI Igal, 1996, "Students' conceptual change in geometrical optics", IJSE, vol. 18, n° 7, pp. 108-117.
- GOLDBERG F.M. et Mc DERMOTT Lilian, 1987, An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror, American Journal of Physics, vol 55, n°2, pp.108-119.
- HADADAH Khaled, 1984, *Etude comparative de l'histoire et de l'épistémologie de l'optique géométrique et des représentations des élèves libanais dans le même domaine*, Thèse, Orsay, Université Paris 11.
- KAMINSKY WANDA, 1989, « Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière », BUP, Paris, n°716, pp. 973-996.
- KIPNISS Nahum, 1993, *Rediscovering optics*, Minneapolis, Bena Press
- La ROSA C, MAYER M, PATRIZI P, VICENTINI-MISSONI M, 1984, "Commensense knowledge in optics : preliminary results of an investigation into properties of light", European Journal of Science Education, vol 6, n°4., pp.387-397.

LAUGIER A. et DUMON A, 2001, « A la recherche des obstacles épistémologiques à la construction du concept d'élément chimique par les élèves de seconde. » Didaskalia, Paris, n°22, pp 69-97.

MARTINAND Jean-Louis, 1993, « Histoire et didactique de la physique et de la chimie : quelles relations ? », Didaskalia, n°2, pp. 89-99.

MATHIEU J. P., mars 1987, « Sur l'histoire de la réfraction des rayons de lumière », BUP, Paris, n°692, pp.

MAURINES Laurence et MAYRARGUE Arnaud, juillet 2001, « Regards croisés de l'histoire des sciences et de la didactique de la physique sur la notion d'onde », Actes de la Desco, La pluridisciplinarité dans les enseignements scientifiques, Tome 1 Histoire des sciences, Caen, CRDP de Basse Normandie.

MAURINES Laurence et MAYRARGUE Arnaud, décembre 2003, « De la vitesse de la lumière », textes et documents pour la classe, Paris, CNDP-CRDP.

PERALES PALACIOS F Javier, NIEVAS CAZORLA Francisco, CERVANTES Agustin, 1989, « Misconceptions on geometric optics and their association with relevant educational variables, IJSE, vol 11, n°3, pp. 273-286.

PRAT C, 1989, « Conception des élèves de collège sur la lumière et les phénomènes de couleur », BUP, n°710, pp.97-113.

RONCHI Vasco, 1956, Histoire de la lumière, Paris, Colin.

SALTIEL Edith, 1987, Qu'apprend-on d'une conception entre raisonnements spontanés des élèves et modèles anciens. In L. Leite, M. Freitas (coord). Actos do i encontro sobre educação em ciencias, Brag, pp.145-161.

SCHEIDECKER-CHEVALLIER Myriam et LAPORTE Gérard, 2000, *Découvrir la méthodologie scientifique au travers de textes historiques. La démarche de modélisation en chimie*. Paris, Ellipses.

SINGH Amarjit and BUTLER Philip H., 1990, "Refraction : conceptions and knowledge structure", IJSE, vol. 12, n°4, pp.429-442.

THOUIN Marcel, 2004, *Explorer l'histoire des sciences et des techniques : activités, exercices et problèmes*. Sainte-Foy, Québec, Multimondes.

TOUSSAINT Jacques et GREA Jean, 1996, Construire des concepts et mettre en oeuvre des raisonnements, ce que peut apporter un regard sur l'histoire des sciences. In J., Toussaint (coord). *Didactique appliquée de la physique-chimie* (pp. 86-118). Paris : Nathan.

Préfiguration d'un protocole de débat lycéen sur des questions socio - scientifiques relatives au développement des neurosciences

**MOLINATTI Grégoire, professeur agrégé de sciences de la vie et de la terre, doctorant.
Equipe de recherche en muséologie et médiation des sciences, USM 702, MNHN (Paris); ERTé
Hippocampe (Marseille, France)**

Cette contribution présente une recherche en cours. Cette recherche interroge un protocole de débat dont l'objectif principal est de former des lycéens à argumenter sur des questions relatives aux implications sociales du développement des neurosciences. Nous proposons ici les pistes envisagées pour analyser ce type de procédure complexe. Dans un premier temps, la « raison sociale » de cette recherche est affirmée. L'importance et la diversité des enjeux de société soulevés par les développements récents des recherches en neurosciences sont présentées. La mise en débat est envisagée comme une solution adaptée pour aborder ce thème. La capacité à participer à des débats argumentés sur des questions socio - scientifiques est appréhendée comme un enjeu de formation. Dans un deuxième temps, nous développons le cadre dans lequel s'inscrit cette recherche. Il s'agit du champ de la médiation scientifique et technique qui interroge les procédures de participation des citoyens aux choix scientifiques et techniques. Nous empruntons également au champ de la didactique des sciences les outils qu'elle se donne pour analyser l'impact des débats sciences - société sur la qualité de l'argumentation des élèves. Nous présentons alors le protocole « expérimental » de discussions collectives mises en place au sein d'une structure de médiation scientifique et technique qui accueille des lycéens. Nous interrogeons essentiellement le rôle de l'intervention d'un expert scientifique dans cette procédure. Le corpus de recherche constitué, et en cours de constitution, est ensuite présenté. Les éléments d'analyse de ce corpus sont enfin discutés à la lumière des éléments déjà recueillis.

Enjeux sociaux actuels des recherches en neurosciences

Les neurosciences ont fait l'objet d'un important développement au cours des dernières décennies du XX^{ème} siècle. Parmi les avancées majeures de ce champ on compte l'identification d'homéogènes dont les patterns d'expression définissent, au cours de l'ontogenèse, les grandes lignes d'organisation du système nerveux. Par ailleurs, de nombreuses données ont été accumulées pour caractériser l'une des propriétés fondamentales du cerveau humain : sa plasticité structurale et fonctionnelle. Cette neuroplasticité se manifeste au cours du développement comme à l'âge adulte. Il en résulte un modèle complexe dit du « calendrier cérébral » qui rend compte de l'évolution des interactions entre le génome et l'environnement en ce qui concerne le déterminisme du développement et du fonctionnement cérébral¹. Enfin, les neurosciences proposent aujourd'hui des corrélations

¹ Pour une synthèse récente de la question, voir Changeux, 2003.

entre facultés cognitives et processus physiologiques cérébraux². Ce « rapprochement » entre psychologie et neurobiologie a largement bénéficié du développement de la neuroimagerie³.

L'émergence de préoccupations sociales associées au développement des neurosciences se traduit par l'apparition du néologisme « neuroethics » dans le vocabulaire contemporain anglo-saxon et par la tenue, en mai 2002, à San Francisco, d'une conférence intitulée « Neuroethics, mapping the field »⁴. On interroge aujourd'hui la non neutralité des concepts scientifiques et leurs utilisations dans la société. Concernant les neurosciences, on peut envisager un impact latent, non seulement sur la santé, mais également sur l'organisation du travail, de la société et sur l'imaginaire collectif. Les principales questions éthiques associées à la recherche en neurosciences et aux pratiques médicales, sont de différents ordres. Sans prétendre à être exhaustif, on peut interroger la question des conflits entre intérêts et / ou défense de la personnalité et intérêt et / ou défense de la société, la pratique de la psychochirurgie, les problèmes liés à la psychopharmacologie, l'utilisation de psycho technologies neurocomportementales, les conséquences des neurotransplantations et de l'utilisation des cellules souches sur la viabilité et sur la personnalité des patients⁵. Nous retenons essentiellement les questions du libre arbitre et de l'individualité, envisagées sous le spectre du réductionnisme des états mentaux à des états cérébraux et à leurs déterminismes. Dans cette perspective, l'interaction entre neurosciences et génétique constitue une interrogation éthique majeure. Plus particulièrement, une « déconstruction » du déterminisme génétique strict semble aujourd'hui nécessaire. D'autant plus que la détermination de nombreux caractères par les gènes a acquis un statut social extrêmement prégnant auprès du grand public. Plusieurs auteurs, sociologues ou didacticiens, ont ainsi analysé l'appropriation sociale du déterminisme génétique des facultés mentales et les représentations dont il fait l'objet en milieu scolaire. (Clément, 1992 ; Clément et Forissier, 2000 ; Nelkin et Lindee, 1998)

A ce titre ces questions constituent ce qu'il est convenu d'appeler, en contexte de formation et à la suite de Alain Legardez et Yves Alpe, des questions regroupées sous le vocable de « questions socialement vives ». Ces questions font à la fois l'objet de débats relatifs aux savoirs savants de références dans la sphère scientifique, mais aussi dans la sphère sociale et médiatique ; ce qui leurs assure une large diffusion au sein de l'école. (Legardez et Alpe, 2001).

Cadre théorique

Notre étude se situe dans le courant de recherche muséologique et didactique qui envisage les interactions Sciences – Technologies - Société (STS). Que ce soit en situation formelle ou non formelle, ce courant s'interroge sur les conditions de formation des citoyens pour une participation aux choix scientifiques et techniques de société.

² C'est par exemple le cas de la découverte « historique » des « neurones miroirs » ou « systèmes d'empathie », élégamment mis en évidence chez le singe par l'équipe italienne du professeur Rizzolatti, puis généralisés chez l'homme (Rizzolatti & al., 1996).

³ Le caractère non invasif de cette dernière autorise une nouvelle approche du fonctionnement cérébral, hors pathologie.

⁴ Le rapport *Neuroethics, mapping the field*, conference proceedings, may 13-14,2002, San Francisco, California", est disponible en ligne sur <http://www.dana.org/books/press/neuroethics>. Les différentes contributions qui y sont proposées envisagent trois axes d'interrogations : celui de la politique sociale, celui des pratiques de recherche et enfin celui de la communication avec le public.

⁵ Des éclairages sur ces questions sont proposés notamment dans Farah, 2002 ; Bernard, 1996 et dans les travaux du Comité Consultatif National d'Ethique relatifs aux Neurosciences (dont les avis n°16, 23, 39 et 44).

Le tournant participatif actuel de la médiation scientifique et technique

Les musées et centres de culture scientifique et technique se sont, depuis plusieurs décennies, engagés à « mettre la science en culture et en débat » en plaçant le visiteur au centre du dispositif muséal (évaluations, interactivité...). Plus récemment, la recherche de nouvelles formes de débats relatifs aux relations sciences - société, appréhendés comme espace de négociation des représentations entre experts scientifiques, décideurs politiques, groupes d'intérêt, institutions de vulgarisation scientifique et publics, se développe. Cette démarche, qui se définit en rupture avec un transfert linéaire de connaissances des experts vers les profanes, s'inscrit dans la constitution d'un réel espace public scientifique au sens d'un « usage public de la raison ». (Rasse, 1999 ; Le Marec, 2001 ; Debard, Girault et Rasse, 1998) Cette tendance de la médiation scientifique et technique accompagne le développement de procédures participatives visant à associer les citoyens aux choix scientifiques et techniques. Ces procédures ont été initiées dans les années 1980 au Danemark sous la forme de conférences de consensus puis se sont diversifiées, avec des adaptations propres à chaque pays (Technology Assessment et Forums de discussion aux Etats Unis, Publiforum en Suisse, Conférences de citoyens en France, Panels de citoyens et Noyaux d'intervention participative en Allemagne...). (Joly et Assouline, 2001)

Des courants de recherche, essentiellement en sociologie des sciences et en sciences de l'information et de la communication, se sont développés autour de ces pratiques pragmatiques de débat public. Elles en ont pointé la complexité, les limites et certains écueils. (Sclove, 2003) Les risques d'instrumentalisation de ce type de procédure, comme c'est le cas de nombre de « débats » proposés dans les médias de masse, ont notamment été relevés. (Natali, 2001) Dans ce sens le débat est mobilisé pour légitimer, plus que pour élaborer, une prise de décision collective. Pour Alan Irwin cet écueil porte essentiellement sur l'élaboration des questions et la constitution de l'audience. (Irwin, 2001) Irwin critique également le transfert linéaire des connaissances depuis les experts vers les profanes (up to bottom) et remet en question le « déficit model »⁶ souvent à l'œuvre dans ce type de procédure. (Irwin et Wynne, 1996) Les membres de l'Office Parlementaire des Choix Scientifiques et Techniques qui ont eu à mener, en France, les conférences de citoyens, ont proposé d'appréhender ce type de débats comme des « système ayant des capacités d'apprentissage collectif » issues de la confrontation de points de vue différents. (Les cahiers de JERICOST, 1998-200)

La pratique du débat comme dispositif de formation à l'argumentation

L'enseignement des Sciences de la Vie et de la Terre, parce qu'il aborde de nombreuses questions socialement vives (OGM et biotechnologies, clonage, substances psychoactives, cellules souches...), ne peut rester en marge d'une réflexion sur ses pratiques et sur sa spécificité disciplinaire. Cette réflexion a été engagée depuis une dizaine d'années.

Dans un premier temps, des études ont abordé l'utilisation de débats scientifiques dans les enseignements. Cette démarche s'apparente à une transposition du processus de validation des résultats soumis à la critique des pairs, au sein de la communauté scientifique. Elle vise à développer plus une culture de recherche et de réflexion qu'une culture de résultats. (Orange, 2003 ; Joshua et Dupin, 1989) La pratique des débats argumentés a également fait l'objet d'expériences pédagogiques et de réflexions dans le cadre de l'éducation à la citoyenneté. De nombreuses propriétés de ce type de procédures ont été étudiées : place de l'enseignant, « contractualité » préalable au débat, argumentation versus persuasion, argumentation heuristique versus argumentation polémique...⁷ Dans un deuxième temps, des recherches en

⁶ Ce modèle se focalise sur les déficits de compréhension du panel de profanes plutôt que sur les représentations qu'ils se font des institutions scientifiques par exemple.

⁷ Voir à ce sujet *Les cahiers pédagogiques*, n°401, février 2002, dossier « Débattre en classe ».

didactique ont été menées, relativement aux débats portant sur les implications sociales des sciences. Des études anglo-saxonnes ont ainsi abordé la question de l'enseignement des questions bioéthiques dans le cadre d'un apprentissage en collaboration (« collaborative learning »). Ce sont essentiellement les théories sur lesquelles repose une prise de décision éthique qui sont envisagées. Ainsi l'approche téléologique - qui vise à s'intéresser aux conséquences d'une prise de décision - semble plus fructueuse, en terme de débat, que l'approche déontologique - basé sur l'idée qu'une action peut être moralement bonne ou mauvaise au-delà de ces conséquences. (Johansen et Harris, 2000 ; Anderson, 1998) Il semble, à cet égard, essentiel de préciser la distinction importante à opérer, à la suite d'Alain Beitonc, entre débat scientifique et débat sur une question socialement vive. (Beitone, 2004) Car même si ces situations d'apprentissages peuvent mobiliser des compétences communes (argumentation, communication rationnelle...), leurs objectifs n'en sont pas moins différents (formulation d'énoncés vrais et réfutables pour l'une, recherche d'une justesse politique et éthique pour l'autre). Si cette distinction proposée par Habermas n'est pas clairement identifiée, on risque d'introduire une confusion entre justesse et vérité, entre discours de type normatif et discours de type positif. Les écueils évidents qui en découlent sont le développement de discours scientistes ou à l'inverse de discours relativistes⁸.

En France, les travaux de Laurence Simonneaux abordent la formation aux débats dans une perspective socioconstructiviste. (Simonneaux, 1999, 2001, 2003) Les questions socialement les plus « vives » concernent le domaine des biotechnologies et celui de l'environnement, du fait de la situation d'incertitude scientifique, des risques plus ou moins imminents et d'un traitement médiatique important. Ces travaux ont largement nourri notre réflexion quant à la mise en œuvre pragmatique de situations de débat en classe. Ils ont établi l'intérêt de discussions collectives sur la qualité de l'argumentation des élèves, tout en pointant l'influence de certains facteurs sociaux. A la suite de Laurence Simonneaux, nous identifions la nécessité « *de former des personnes qui, informées sur les méthodes de recherche, sur leurs applications et éventuelles répercussions, soient capables de prendre des décisions argumentées lorsque les faits sont incertains et de participer aux débats* ». (Simonneaux, 2003, p1) Nous devons préciser que la pratique pédagogique du débat argumenté, en classe ou dans le cadre d'une structure de médiation scientifique et technique, vise également à travailler avec les élèves sur les compétences relatives aux règles et aux exigences de ces procédures.

Intérêt d'une approche épistémologique des déterminismes du développement et du fonctionnement cérébral

A la suite de Jean Marc Levy-Leblond, nous défendons l'intérêt, pour « mettre la science en culture », d'une mise en perspective historique de l'activité scientifique. (Levy-Leblond, 1996) Or, Nicole Hulin rappelle que, si l'enseignement de l'histoire des sciences a fini par intégrer nos directives officielles, elle reste marginale, faute d'une réelle formation des enseignants. (Hulin, 1998) Nous défendons la nécessité d'un enseignement des sciences de la vie qui se ferait en écho avec les enseignements de philosophie et de sciences humaines. D'autant que les implications sociales des questions qui nous intéressent (questions éthiques, de santé, importance des concepts de normalité et de normativité dans l'individuation cérébrale...) sont fortes. C'est pourquoi un travail antérieur a été mené concernant l'épistémologie des déterminismes en neurosciences et particulièrement du concept de neuroplasticité. Cette approche, non développée dans le cadre de cet article, donne également des éléments d'analyse des situations de débats relatives aux implications sociales des neurosciences. Cela semble d'autant plus important que les situations de débats proposées

⁸ Alain Beitonc rappelle également que « *La classe n'est ni le lieu de recherche d'un consensus sur des valeurs qui divisent la société, ni le lieu de la décision politique.* » (Beitonc, A. 2004, p 11).

laissent une large place à l'expertise scientifique. Au sein du cadre de réflexion qui vient d'être présenté, la recherche que nous menons interroge essentiellement l'impact des conditions de l'expertise sur l'argumentation des élèves. Dans une situation où les élèves bénéficient de l'intervention d'un expert scientifique, nous nous proposons d'évaluer l'impact de la participation d'un intervenant non scientifique. Nous faisons l'hypothèse qu'une « double expertise » permet d'approfondir la formation à l'argumentation en favorisant la contextualisation des questions socio - scientifiques abordées. Nous interrogeons également les éléments d'analyse de ces débats au regard de leur impact sur la qualité de l'argumentation des élèves et du statut des arguments proposés par les experts scientifiques.

Méthodologie

Nous nous appuyons sur un protocole de débat proposé au sein de la structure de médiation scientifique Hippocampe⁹. Le protocole « expérimental » a été élaboré pour permettre d'évaluer la qualité de l'argumentation des élèves dans différentes conditions d'interaction avec des experts. Le temps des débats se décompose en trois sessions d'une heure chacune, réparties sur les trois jours (J1, J2, J3) de présence des élèves dans le laboratoire. Deux groupes de débats comprenant chacun une quinzaine d'élèves sont constitués. Lors de la première session (J1), chaque groupe de discussion définit collectivement une question de débat qui semble légitime pour l'ensemble des participants relativement au thème « cellule souches et réparation du système nerveux »¹⁰. Ce thème a été simplement précisé aux élèves deux à trois semaines avant leur venue au centre, avec pour seule consigne de se documenter. Après avoir présenté le protocole de débat, le modérateur demande alors aux élèves de formaliser individuellement ses opinions relatives à la question qui a été arrêtée (pré test). Dans chaque groupe, une discussion collective permet aux élèves d'identifier des domaines d'expertise nécessaires et de préparer des questions à poser aux experts. La seconde session de débat (J2) correspond à une interaction avec des experts. Les experts sont convoqués pour répondre à des questions précises de manière à éclairer les réflexions des élèves et non pour faire un exposé ou une conférence magistrale. Le premier groupe de discussion (groupe témoin) rencontre un expert scientifique choisis dans le domaine de la neurogenèse. Le second groupe de discussion (groupe expérimental contextualisé) rencontre également un expert scientifique mais aussi un responsable d'association de malades, lui-même atteint de la maladie de Parkinson. La troisième et dernière session de débat (J3) fait l'objet, pour le groupe témoin comme pour le groupe contextualisé, d'une discussion collective éclairée, encadrée par un modérateur. A l'issue de cette interaction, il est demandé aux élèves de formaliser individuellement leurs opinions concernant l'utilisation des cellules souches embryonnaires en recherche fondamentale d'une part et en contexte thérapeutique d'autre part (post-test). De manière à prendre en compte spécifiquement les caractéristiques psychosociales des adolescents, au premier rang desquelles la nécessité d'une valorisation de leurs travaux, il est également demandé aux adolescents de rédiger un document de synthèse

⁹ Hippocampe est une association créée en 2001 à Marseille sous la présidence de Constance Hammond, directrice de recherche à l'INSERM. Hippocampe est un laboratoire spécialement conçu pour accueillir des élèves de l'enseignement secondaire en stage pendant trois jours. Les élèves réalisent, sur des thèmes de biologie variés (procréation, immunologie, génétique, neurosciences) des expériences dérivées de la recherche actuelle, utilisant des techniques non envisageables dans le cadre scolaire, et conformes aux programmes officiels d'enseignement. Toutes les expériences proposées ont été conçues et sont encadrées par des chercheurs appartenant aux organismes de recherche régionaux et nationaux.

¹⁰ Le thème de débat a été choisi parce qu'il présente, un intérêt social (dimension éthique et/ou de santé publique), un intérêt cognitif et didactique (acquisition de nouvelles connaissances) et un intérêt psychologique pour les adolescents (préoccupations personnelles).

communicable (mise en ligne). Ce travail est coordonné, de retour dans l'établissement scolaire par l'enseignant en collaboration avec deux adolescents rapporteurs qui ont été désignés en début de débat. L'ensemble des discussions est enregistré sur support audio vidéo après recueil du consentement de l'ensemble des participants. Quatre protocoles de ce type sont programmés. Un protocole a eu lieu à ce jour, il est en cours de retranscription.

Eléments d'analyse identifiés et premiers résultats obtenus

Le corpus sur lequel nous nous appuyons correspond à des débats organisés avec une classe de première S d'un lycée des Bouches du Rhône. Nous ne présentons donc ici que les pistes d'analyse de ce corpus et les premiers éléments d'exploitation qui émergent. Il est donc hors de propos d'anticiper sur une analyse plus fine et encore moins de généraliser les observations faites dans le cadre de ce travail.

Eléments d'analyse de l'impact du protocole de débat proposé sur la qualité de l'argumentation des élèves.

Un premier niveau d'analyse concerne les caractéristiques de la production des discours dans le cadre des débats sciences – société organisés par la structure de médiation scientifique Hippocampe (contexte institutionnel, enjeux, caractéristiques psychosociales et « scolaires » des participants...). L'analyse du corpus de débat recueilli s'oriente vers l'étude de la macrostructure des interactions verbales (dénombrement des interventions, temps de parole, thématiques débattues...). Les premiers éléments d'analyse font apparaître la nécessité de veiller à la constitution de groupes de débats homogènes pour permettre une comparaison afin d'éviter les comportements de « leader » par exemple. Il semble par ailleurs nécessaire de développer des stratégies qui permettent aux élèves « discrets » de participer aux débats.

Une analyse plus fine des interactions verbales et plus particulièrement de l'argumentation des élèves doit faire émerger le type d'arguments utilisés ainsi que la validité de ces arguments. Nous nous appuyerons pour cela sur les théories de l'argumentation. (Toulmin, 1958 ; Breton, 1998) Dans cette perspective, des marques énonciatives seront repérées dans les discours produits. L'évolution de la qualité de l'argumentation sera évaluée, pour chaque groupe, en comparant la formalisation des opinions au cours du pré test et au cours du post test. Par ailleurs les « trajectoires » argumentatives de chaque participant seront relevées. (Osborne, 1997 ; Simonneaux, 2003) De ce point de vue, il semble, qu'en première analyse, le protocole de débat choisi, et particulièrement l'intervention d'experts, permet aux élèves d'approfondir leur argumentation. C'est essentiellement en ce qui concerne les connaissances scientifiques (nature et propriétés des cellules souches, propriétés de neuroplasticité du système nerveux...) que les élèves ont mis à profit le protocole proposé. Ces premiers résultats semblent pointer l'une des difficultés du protocole proposé dans le cadre du stage Hippocampe. Il semble que les élèves se focalisent, lors de la discussion collective finale, sur des aspects scientifiques, plus que sur des aspects sociaux ou éthiques. La comparaison de la qualité de l'argumentation entre le groupe témoin et le groupe expérimental contextualisé devrait permettre de savoir si l'intervention d'un malade atteint d'une maladie neurodégénérative permet de dépasser cet obstacle.

Eléments d'analyse des arguments proposés par les experts scientifiques et de leur mobilisation par les lycéens

Le protocole de débat proposé offre une place importante à une l'intervention d'experts scientifiques convoqués pour répondre aux questions des élèves. L'analyse épistémologique

de la recherche de déterminismes en neurosciences a permis de mettre l'accent sur la propension avec laquelle ce champ de la connaissance se prête au développement d'« idéologies scientifiques ». Nous avons par exemple rendu compte de la forte implication sociale de l'innéisme génétique qui, relayant le spiritualisme, rencontre, à l'aube du XX^{ème} siècle, l'adhésion d'une bonne partie des physiologistes, des psychologues, des éthologistes et des généticiens. Le sujet qui nous intéresse est donc à la fois contraint par les représentations sociales et les nourrie en retour.¹¹ Nous avons également montré qu'au cours de l'histoire, les positions environmentalistes et innéistes se sont alternées et ont parfois coexisté¹². Il s'agit donc d'analyser, dans ce sens les arguments proposés par les experts scientifiques. Nous envisageons également d'analyser leur mobilisation par les élèves au cours de la discussion collective qui fait suite à l'interaction experts – lycéens. Nous reprendrons pour cela les critères proposés par Georges Canguilhem pour caractériser une idéologie scientifique : le déplacement du champ de l'expertise, la légitimation scientifique d'une croyance et les relations de filiation historique entre idéologie et connaissance scientifique¹³. De ce point de vue, les analyses déjà entreprises sur le corpus existant font apparaître une grande diversité dans le positionnement des experts.

Conclusion

Le corpus recueilli étant en cours d'analyse, il ne s'agit pas ici de conclure quant à la validité des hypothèses testées. Nous rappelons également qu'il s'agit d'une simple « étude de cas » à caractère expérimental. Si le débat argumenté apparaît comme un dispositif pédagogique adapté pour aborder les implications sociales des recherches en sciences, il semble indéniable que cette procédure complexe est difficile à mettre en œuvre et à évaluer. Pour autant, l'initiative présentée propose une nouvelle forme de coopération entre le monde de la recherche et celui de l'enseignement. Les chercheurs sont amenés à repenser leur rapport à la vulgarisation scientifique, de manière à donner aux lycéens les connaissances nécessaires à une réflexion autonome. La formation des jeunes citoyens à des procédures participatives relatives aux choix scientifiques et techniques doit retenir notre intérêt. C'est à la fois un enjeu citoyen majeur pour l'école et, dans le contexte actuel d'une désaffection pour les filières scientifiques, un enjeu de continuité pour le monde de la recherche.

Bibliographie

- ANDERSON Rodney P., 1998, « Collaborative learning in biology ». The american biology teacher, vol. 62, n°3, pp 202-205.
 BEITONE Alain, 2004, « Enseigner des questions socialement vives. Note sur quelques confusions. » Contribution présentée à la 7ème biennale de l'éducation et de la formation (Lyon 15 avril 2004).
 BERNARD Jean, 1996, La bioéthique, Paris, Flammarion, coll. Dominos n°15.
 BRETON Philippe, 1998, L'argumentation dans la communication. Alger. Casbah éditions.

¹¹ François Jacob souligne cette influence réciproque et précise, en ce qui concerne les neurosciences, que « *Le cerveau humain a un tel besoin d'unité et de cohérence que toute théorie de quelque importance risque d'être utilisée de manière abusive et de dériver vers le mythe* » (Jacob, 1981, p 44).

¹² Ainsi par exemple, quand l'éthologie animale opère avec le behaviorisme, un retournement du rapport entre l'organisme et son milieu, la révolution génétique réaffirme l'autonomie du vivant par rapport au milieu.

¹³ G. Canguilhem pointe trois caractéristiques des idéologies scientifiques : le déplacement du champ de l'expertise, les antériorités réciproques entre idéologies et connaissances scientifiques, leur caractère de « croyance légitimée ». (Canguilhem, 1977, p 44)

- CHANGEUX Jean Pierre (dir.), 2003, *Gènes et culture*, Symposium annuel, Collège de France, Paris, Jacob.
- CLEMENT Pierre, 1992, "La difficile évolution des conceptions sur les rapports entre cerveau, idées et âme", in Giordan A., *Représentations, conceptions, connaissances*, Berne, Peter Lang, pp 73-90.
- DEBARD Cécile, GIRAULT Yves et RASSE Paul, 1998, "Diffuser ou débattre : réflexions sur la médiation muséale des problèmes environnementaux", in GIRAULT Y. (coord.) *Des expositions scientifiques à l'action culturelle, des collections pour quoi faire ? Actes de colloque*, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, Grande galerie de l'Evolution, pp 249-259.
- FARAH Martha J., 2002, "Emerging ethical issues in neuroscience", *Nature neuroscience* vol 5 n°11, pp 1123-1129.
- HERVE Christian (coord.), 1992, "Médecine, biologie, quelles questions sur l'éthique aujourd'hui ? ", *Actes de la journée d'éthique médicale (29 novembre 1989)*, Paris, L'Harmattan.
- HULIN Nicole, 1998, "Histoire des Sciences, Histoire de l'enseignement scientifique et formation des enseignants", *Bulletin de la société française de philosophie* n°116, octobre, pp 9-22.
- IRWIN Alan and WYNNE Bryne (Eds), 1996, *Misunderstanding Science ? The public reconstruction of science and technology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- IRWIN Alan, 2001, "Constructing the scientific citizen: science and democracy in the biosciences", *Public Understanding of Science*, vol.10, n°1.
- JACOB François, 1981, *Le jeu des possibles, Essai sur la diversité du vivant*, Paris, Fayard.
- JOHANSEN Carol K., HARRIS David E., 2000, "Teaching the ethics of biology". *Teaching the ethics of biology* », *The american biology teacher*, vol. 62, n°5, pp 352-358.
- JOLY Pierre, ASSOULINE Gérard (Eds), 2001, "Assessing Debate And Participative Technology Assessment in Europe, Final report", Grenoble, INRA; QAP Decision.
- JOSHUA Samuel et DUPIN Jean, 1989, *Représentations et modélisations*, Berne, Peter Lang.
- Office Parlementaire de choix Scientifiques et Techniques, 2000. *Les cahiers de JERICOST*, 1998-2000. *Méthodes et conduites du débat public*, IUT de Tours.
- LEGARDEZ Alain et ALPE Yves, 2001, "La construction des objets d'enseignements scolaires sur des questions socialement vives : problématisation, stratégies didactiques et circulations des savoirs", 4è congrès AECSE *Actualité de la recherche en éducation et formation* (Lille, 5-8 sept 2001).
- LE MAREC Joëlle, 2001, "Le musée à l'épreuve des thèmes sciences et société : les visiteurs en public", *Quaderni*, n°46, pp. 105-122, Paris, Hiver 2001-2002.
- LEVY-LEBLOND Jean Marc, 1996, *La pierre de touche, la science à l'épreuve*, Paris, Gallimard.
- NATALI Jean Paul, 2001, "Le développement des conférences, colloques, débats dans les centres de culture scientifique", *Quaderni*, n°46, pp. 163-177, Paris, Hiver 2001-2002.
- NELKIN Dorothy et LINDEE Susan, 1998, *La mystique de l'ADN, pourquoi sommes nous fascinés par le gène ?*, Paris, Belin débats.
- ORANGE Christian, 2003. "Débat scientifique dans la classe, Problématisation et argumentation : le cas d'un débat au cours moyen", *Aster*, n°37, pp 83-107.
- OSBORNE Jonathan, ERDURAN Sibel, SIMON S, MONK Martin, 2001, "Enhancing the quality of argument in school science", *School Science Review*, 82, 301, pp 63-70.
- RASSE Paul, 1999, *Les musées à la lumière de l'espace public*, Paris, L'Harmattan.
- RIZZOLATI Giacomo, FADIGA Luciano, GALLESE Vittorio, FOGASSI Leonardo, 1996. "Premotor cortex and the recognition of motor actions". *Cognitive Brain Research*, 3, 131-141.
- SCLOVE Richard, [1995], 2003, *Choix technologiques et choix de société*, Paris, Charles L. Mayer.
- SIMONNEAUX Laurence (dir.), 1999, *Les biotechnologies à l'école : un enjeu éducatif pour la formation à la citoyenneté*, Dijon, Educagri.
- SIMONNEAUX Laurence, 2001, "Role-play or debate to promote students' argumentation and justification on an issue in animal transgenesis", *International Journal of Science Education*. 23 (9), 903-928.
- SIMONNEAUX Laurence, 2003, "L'argumentation dans les débats en classe sur une technoscience controversée", *Aster*, n°37, pp 189-214
- TOULMIN Stephen, 1958, *The uses of argument*. Cambridge, Cambridge University Press

Une approche interdisciplinaire du concept d'angle à l'école élémentaire à travers la notion de champ visuel : regards croisés didactico-psychologique

MUNIER Valérie, MERLE Hélène, DUSSEAU Jean-Michel, FAVRAT Jean-François, EA 3749. Laboratoire interdisciplinaire de recherche en didactique, éducation et formation, IUFM de Montpellier, France

DEVICHI Claude, BALDY René, AUBERT Florence, EA 1977. "Psychologie du développement cognitif normal et troublé", Université Montpellier 3 – Paul Valéry, France

Introduction – question de recherche

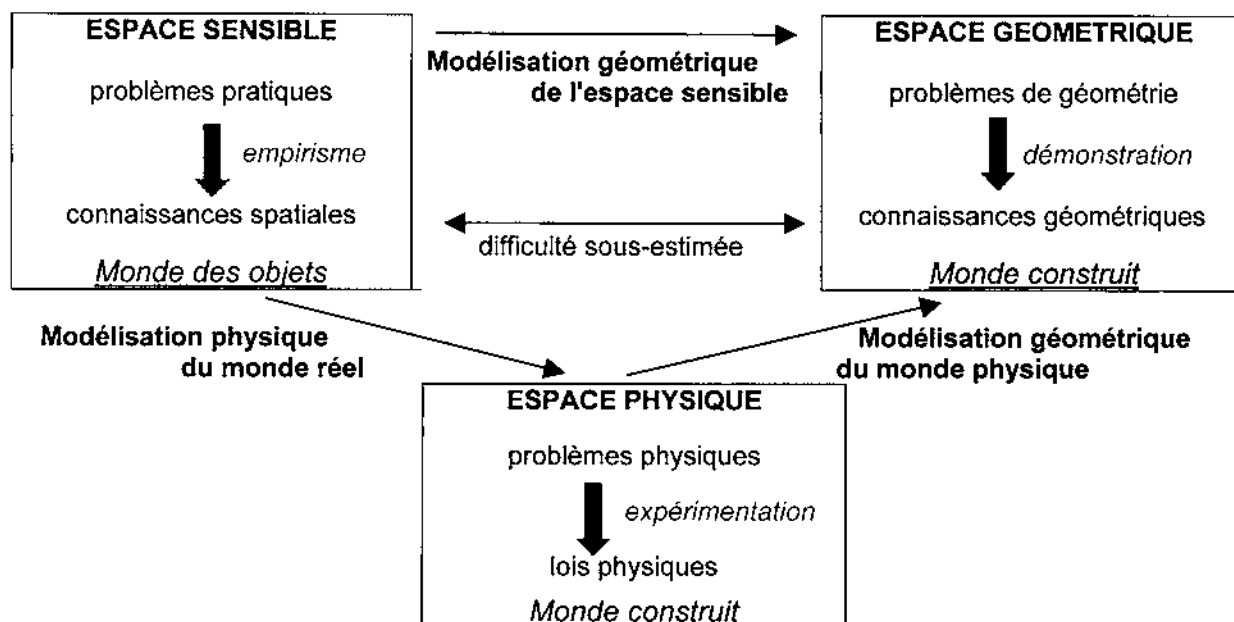
Le terme "enseignement de la géométrie" à l'école élémentaire recouvre deux champs de connaissances distincts : le champ des connaissances spatiales, nécessaires à l'enfant pour contrôler ses rapports à l'espace, et celui de la géométrie proprement dite (Berthelot et Salin, 1993-1994). Depuis plusieurs années, et plus encore dans les nouveaux programmes de mathématiques de 2002, l'accent est mis sur l'acquisition des connaissances spatiales par les élèves. Or R. Berthelot et M.H. Salin (1999-2000) signalent que, dans l'enseignement actuel, l'espace de travail à l'école élémentaire reste essentiellement celui de la feuille de papier et, malgré les intentions affichées, les élèves ne sont confrontés à aucune activité de modélisation de l'espace sensible. Les connaissances géométriques sont présentées de façon ostensive, c'est-à-dire montrées et non construites comme des outils de résolution de problèmes. Quand elle est évoquée, la référence à l'espace sensible ne sert en fait que de prétexte à des activités de tracé (ostension déguisée). L'acquisition des connaissances spatiales et géométriques et leur articulation sont alors difficiles pour les élèves : ils ont du mal à mobiliser leurs connaissances géométriques pour résoudre des problèmes dans l'espace sensible. Dans ce contexte d'acquisition des connaissances spatiales et géométriques par les élèves, nous avons choisi de travailler sur la grandeur angle, réputée comme particulièrement difficile. Nous avons émis l'hypothèse que l'introduction de ce concept géométrique à partir de situations de physique, dans l'espace sensible, pouvait permettre une meilleure appropriation de ce concept. Pour tester cette hypothèse nous avons élaboré et testé plusieurs séquences d'enseignement (Munier et Merle, 2003, 2004). Notre objectif est donc de proposer des situations d'apprentissage en physique qui permettent la construction du concept d'angle par l'élève comme connaissance nécessaire au contrôle de situations spatiales, puis comme savoir de géométrie. L'apprentissage prend ainsi racine dans une réalité spatiale qui a du sens pour l'élève. C'est donc une "géométrie comme modèle de l'espace" qui constitue le cadre de notre travail (Gobert, 2001), mais notre spécificité est d'avoir choisi un cadre pluridisciplinaire, avec pour double objectif de construire de nouveaux savoirs physiques et mathématiques.

Cadre théorique

Nous avons donc choisi de nous appuyer sur une expérience spatiale mettant en jeu la physique pour permettre aux élèves de construire un concept géométrique qu'ils n'avaient jamais abordé à l'école.

Cette situation d'apprentissage fait interagir trois espaces : non seulement les espaces sensible et géométrique des mathématiciens (Chevallard et Jullien, 1990-91), mais aussi l'espace physique. Les élèves ont donc à réaliser une **double modélisation**, de l'espace sensible à l'espace physique, puis à l'espace géométrique. Nous avons représenté dans le schéma ci-contre les espaces en jeu et, à l'intérieur de chacun d'eux, le type de problèmes et les modes de construction des connaissances. Nous avons signifié également les liens que nous

souhaitons faire pratiquer aux élèves entre chaque espace. On peut noter que si les connaissances géométriques s'élaborent, dans l'espace de la géométrie, par démonstration, ce mode de construction des connaissances n'est pas accessible à de jeunes enfants, d'où la nécessité signalée par les didacticiens des mathématiques d'articuler, au moins, espace sensible et espace géométrique.



C'est bien une "géométrie comme modèle de l'espace" qui constitue le cadre de notre travail (Gobert 2001), toutefois notre spécificité est d'avoir choisi un cadre pluridisciplinaire, avec pour double objectif de construire de nouveaux savoirs physiques **et** mathématiques.

Méthodologie

Nous analysons ici une de ces séquences avec une méthodologie de type « ingénierie didactique » complétée par des évaluations réalisées par des psychologues du développement cognitif.

Analyse a priori

Les difficultés des élèves face au concept d'angle sont nombreuses. Plusieurs recherches (Balacheff, 1988, Berthelot et Salin, 1994-95) ont pointé l'existence d'une conception erronée, résistante à l'enseignement classique : l'angle est perçu comme la donnée de deux segments ayant une extrémité commune et des supports distincts. Avec une telle conception, deux figures qui ne diffèrent que par la longueur des segments qui les constituent apparaissent comme représentant des angles différents, la grandeur d'un angle semblant dépendre de la longueur des segments tracés. De ce fait les élèves ont du mal à donner du sens au concept d'angle quand il n'est pas présenté sous sa forme primitive, scolaire, et à le reconnaître comme sous-figure d'une autre figure.

Dans chacune des séquences que nous avons élaborées, la conceptualisation de l'angle dans l'espace réel est nécessaire, l'identification de la pertinence de cette grandeur étant laissée à la charge des élèves. De plus la conception de l'angle comme paire de segments est rapidement disqualifiée dans ces situations car elles mettent toutes en jeu l'idée de direction, ce qui permet aux élèves de prendre conscience et de vérifier expérimentalement que l'angle ne dépend pas de la longueur des côtés. Dans ces situations « grandeur nature », les enfants manipulent dans la cour puis dans la classe, et ils sont amenés à modéliser la situation. Les activités de comparaison et/ou de reproduction des angles sont induites par la situation et apparaissent aux élèves comme nécessaires ; elles prennent ainsi du sens pour eux. La

situation que nous présentons ici est basée sur la notion de champ visuel. Les élèves sont amenés à se poser le problème suivant : « que peut-on voir quand on est derrière un obstacle ? ». Ils formulent alors des hypothèses puis construisent des expériences permettant de les tester. Cette expérimentation doit leur permettre de construire le concept d'angle comme limitant, ici, la zone cachée pour un observateur situé derrière un écran. Or pour concevoir l'espace non visible pour cet observateur, l'enfant doit mobiliser la notion de droite de visée, qui s'appuie sur le concept de propagation rectiligne de la lumière¹. Cette notion, même si elle ne figure pas explicitement dans les programmes de cycle 3, est nécessaire pour pouvoir appréhender certains phénomènes astronomiques, et des difficultés liées au concept de champ visuel ont été mises en évidence dans des travaux sur l'enseignement de l'astronomie à l'école élémentaire (Merle, 1999). Ces travaux ont montré qu'un tiers seulement des enfants de cycle 3 déterminent correctement un champ visuel. La situation présentée ici, dont l'objectif est au départ la construction du concept d'angle, doit également permettre aux élèves de construire et/ou de mobiliser les notions de droite de visée et de champ visuel, nécessaires pour pouvoir appréhender certains phénomènes physiques.

Situation proposée

Cette séquence a été réalisée en CE2 (classe de Mme Waleckx, école Sibelius, Montpellier, 2004) de niveau scolaire moyen, n'ayant encore jamais étudié les angles. La maîtresse a elle-même animé les séances, que nous avons préparées en détail et que nous avons filmées.

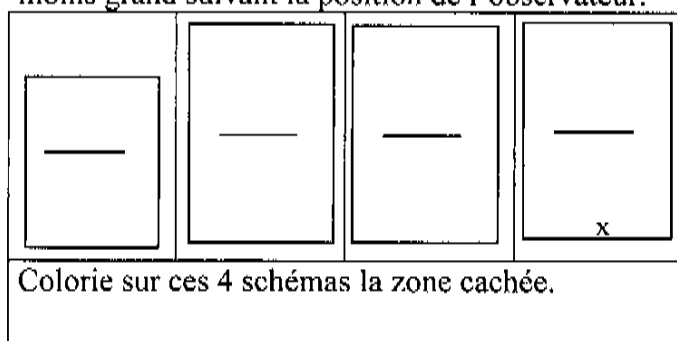
1^{ère} séance : Dévolution du problème et formulation d'hypothèses. Pour introduire la situation, la maîtresse distribue un dessin représentant la sortie d'une école, sur lequel des enfants sont en danger car ils vont traverser la rue alors qu'ils ne sont pas visibles d'un véhicule à cause d'un bus en stationnement. Les élèves doivent analyser cette situation et les avis divergent : certains pensent que les enfants qui s'apprêtent à traverser ne sont pas visibles par le chauffeur du véhicule, mais tous ne sont pas du même avis. Un débat s'engage et aboutit à la formulation du problème : « que voit-on quand on est placé derrière un obstacle ? ». La maîtresse pose alors aux élèves l'exercice 1 pour lequel on obtient trois types de réponses : la réponse correcte, une bande perpendiculaire à l'écran et la solution « non obs. », c'est-à-dire des limites rectilignes obliques passant par les bords de l'écran mais ne passant pas par l'observateur. Les différentes réponses sont affichées et un débat est organisé. Les élèves ne parvenant pas à se mettre d'accord, ils proposent très vite une vérification expérimentale.

Exercice 1	réponse correcte	« bande »	« non obs. »
Un enfant est derrière un écran, colorie la zone qu'il ne peut pas voir. — Ecran ● Enfant			

2^{ème} séance : Expérimentation dans la cour, détermination des limites de la zone visible. On positionne dans la cour un écran et une chaise sur laquelle s'assoit un élève-observateur, avec un quart des élèves autour de lui, qui le remplaceront au cours de la manipulation. Les autres élèves se positionnent d'abord de façon à ne pas être visibles, alignés derrière l'écran, à peu près sur sa médiatrice, puis ils s'écartent jusqu'à la limite de la zone visible en s'arrêtant au signal de l'observateur, et ils posent une quille sur cette limite. La maîtresse leur demande de se placer, dans un premier temps, assez près de l'écran. Elle réunit ensuite les élèves pour qu'ils observent la position des quilles. Ils remarquent qu'elles sont alignées à partir du bord

¹ A de cet âge, le modèle de référence est souvent celui d'un rayon indéterminé issu de l'œil (Guesne, 1984), mais le sens de propagation n'intervenant pas dans le problème qui nous préoccupe, nous en ferons abstraction.

de l'écran et le vérifient à l'aide de deux cordes tendues d'une longueur et d'une couleur données. Ils remarquent aussi que les cordes sont "obliques", ce qui leur permet d'éliminer l'hypothèse « bande ». La maîtresse demande ensuite si on aurait pu prévoir la position des quilles, un élève rappelle l'hypothèse selon laquelle les limites passent par l'observateur, ils le vérifient alors expérimentalement à l'aide des cordes qu'ils décalent jusqu'à la chaise. La maîtresse demande ensuite, pour la même position de l'observateur, s'ils auraient pu se placer plus loin de l'écran, et où. Certains enfants disent qu'ils peuvent se placer sur la droite qui prolonge la corde mais tous n'en sont pas sûrs. On change alors l'équipe d'observateurs puis on refait l'expérience directement avec des cordes plus longues d'une autre couleur, en laissant les premières en place. On change ensuite à nouveau les observateurs et on réalise deux autres expériences avec deux nouvelles séries de cordes, en laissant toujours les autres en place, mais en modifiant cette fois la position de l'observateur sur la « médiatrice » de l'écran. Les élèves constatent que *les diagonales s'écartent plus quand on est plus près de l'écran et se resserrent quand on est plus loin* et ils concluent que l'espace caché est plus ou moins grand suivant la position de l'observateur.



A la suite de cette expérimentation, les élèves dégagent donc les points suivants : les limites de la zone cachée sont des demi-droites, obliques, passant par les bords de l'écran et par l'observateur. De retour en classe la maîtresse propose l'exercice ci-contre permettant de schématiser la série d'expériences.

3^{ème} séance : Emergence du concept d'angle comme limitant la zone cachée. Elaboration de techniques permettant de comparer des angles. La maîtresse affiche des agrandissements des schémas réalisés la fois précédente et demande si la zone cachée est la même partout, ou si elle plus grande ou plus petite et dans quels cas. Une discussion s'engage à propos des deux premiers schémas : certains élèves sont sensibles à la longueur des côtés donc à l'aire de la zone coloriée. D'autres rappellent qu'on peut prolonger les limites « à l'infini ». La discussion se poursuit pour les schémas 3 et 4, tous ne sont pas du même avis sur la taille de la zone cachée. La maîtresse distribue alors à chaque élève ces quatre schémas, puis leur demande de rechercher une technique permettant de comparer les zones. Elle laisse donc les élèves réfléchir aux techniques de comparaison d'angles sans que ce terme ait été verbalisé par les élèves. Au départ la plupart d'entre eux mesurent la longueur des côtés ou la « largeur » de cette zone à l'endroit où le coloriage s'arrête. Un élève rallonge les côtés des différentes zones pour qu'ils aient tous la même longueur puis mesure la distance entre les « extrémités » des côtés. Quelques élèves découpent les zones cachées et les superposent. Un élève demande ensuite du papier calque, cette idée est reprise par plusieurs autres qui vérifient ainsi que la zone cachée est la même pour une position donnée de l'observateur, plus grande quand il s'approche... Plusieurs élèves persistent durablement à comparer la longueur des côtés. Après une longue discussion où chacun argumente, les élèves doivent choisir individuellement la méthode qui leur paraît la plus convaincante. La grande majorité d'entre eux se rallie à la méthode du calque. La maîtresse pose ensuite la question suivante : cette zone cachée est délimitée par quoi ? Les élèves parlent rapidement de « triangles », ou de « V », puis la maîtresse leur dit qu'on appelle cela un angle. Les élèves concluent donc que c'est un angle qui limite la zone cachée et qu'il est le même pour une position donnée de l'observateur, même si les côtés ont des longueurs différentes. La maîtresse revient ensuite sur ce qui se passe quand l'observateur se déplace, et le fait verbaliser en termes d'angle.

4^{ème} séance : Séance de mathématiques sur les angles, exercices d'application. A l'occasion d'un rappel, la maîtresse introduit du vocabulaire : la zone cachée est délimitée par un **angle** dont le **sommet** est l'observateur et dont les **côtés** passent par les bords de l'écran. Suite au

travail de comparaison réalisé la fois précédente, la maîtresse donne un exercice de reproduction d'angle et demande aux élèves d'élaborer d'autres techniques permettant de comparer et de reproduire des angles. Après quelques difficultés manipulatoires, ils parviennent à réaliser des gabarits par pliage. Elle leur demande ensuite de réfléchir à un instrument plus pratique que les gabarits pour comparer et reproduire des angles. Ils proposent d'utiliser des ciseaux, en posant les deux lames à plat sur les côtés de l'angle, et la maîtresse introduit alors une fausse équerre (deux bandes de carton étroites reliées par une attache parisienne) qu'elle utilise ensuite pour soulever des discussions : elle l'écarte de plus en plus jusqu'à l'angle plat, certains élèves pensent alors que *là il n'y a plus d'angle*. Lorsqu'elle dépasse 180° certains élèves considèrent que *l'angle est passé en bas* ce qui permet de lancer une discussion et d'aboutir à l'idée que pour deux demi-droites il y a deux angles, un "ouvert" et un "fermé" (les angles rentrant et saillant). Cette discussion aboutit à la nécessité du marquage des angles. La maîtresse revient alors sur la situation de départ : l'angle "fermé" c'est la zone qu'on ne voit pas (hormis le petit triangle devant) et le "ouvert" c'est ce qu'on voit. Elle propose enfin un exercice de comparaison qui est ensuite corrigé au tableau par les élèves.

Corpus de données

Nous disposons pour analyser l'impact de cette séquence des évaluations des psychologues du développement cognitif, réalisées sous forme d'entretiens d'une dizaine de minutes avant et un mois après la fin de la séquence (Devichi, Baldy, Munier et Merle, 2004), ainsi que d'évaluations écrites réalisées par les didacticiens en fin de séquence. Le corpus analysé est de 18 élèves d'âge moyen 8 ans et 2 mois (présents à la totalité des épreuves). Nous avons réalisé un suivi individuel de ces élèves sur un certain nombre de points, ils sont alors identifiés par un numéro de 1 à 18. Les objectifs des différentes évaluations sont multiples. D'une part nous voulons tester les acquis des élèves sur le concept d'angle, et en particulier savoir s'ils sont capables de reconnaître des angles dans une figure, ce qui n'a pas été travaillé en classe. D'autre part nous souhaitons déterminer dans quelle mesure les enfants ont construit le concept de champ visuel.

Résultats

Résultats des évaluations des psychologues avant et après enseignement

Nous analysons ici les réponses des élèves à deux des questions posées lors des entretiens : les élèves étaient invités à dessiner un angle sur une feuille A4, puis à identifier des angles dans la figure de Piaget, Inhelder et Szeminska (1948) ci-contre, en les coloriant.

Leurs réponses ont été catégorisées (tableaux 1 et 3) et les résultats individuels des élèves figurent dans les tableaux 2 et 4.

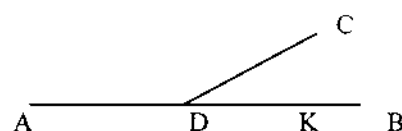


Figure 1

Catégories	Exemples
Pas de réponse (N)	"je ne sais pas"
Ligne (L)	
Figure géométrique (FG)	
Angle (A)	

Tableau 1 : Catégories et exemples de dessins d'élèves.

		Après enseignement			
		N	L	FG	A
Avant enseignement	N			4, 8	5, 12
	L		1, 14		
	FG			9, 13, 18	10
	A			6, 17	2, 3, 7, 11, 15, 16

Tableau 2 : résultats dans la tâche de dessin avant et après enseignement

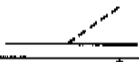
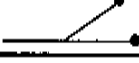
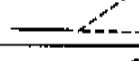
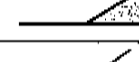
	Catégories	Exemples
Echec	Pas de réponse (N)	Je ne sais pas
	Lignes colorées de différentes couleurs (LC)	
	Extrémités pointées (E)	
Réussite	Sommet pointé (V)	
	Côtés colorés de la même couleur (A)	
	Surface coloriée (S)	
	Angles marqués (M)	

Tableau 3 : Catégories et exemples de réponses d'élèves dans la tâche d'identification

		Après enseignement					
		Echec			Identification des angles		
		N	LC	E.	1	1, 2	1,2,3
Avant enseignement	N	13			2, 10, 15 (ØM), 6, 7, 11, 18 (ØV)	17 (ØS)	
	LC		1, 5, 8, 14				
	E			4			
	1				3 (AA), 9 (SS), 12 (AM)		
	1, 2						16 (MM)
	1,2,3						

Tableau 4 : résultats dans la tâche d'identification avant et après enseignement (Ø : pas d'identification)

Comme le montre le tableau 2, la plupart des élèves ont progressé dans la tâche de dessin d'un angle après enseignement ou sont restés dans la même catégorie, et seuls deux (6 et 17) ont régressé. Sur les 10 qui avaient échoué, la moitié progressent (2 dessinent après enseignement une figure géométrique et 3 un angle). Le tableau 4, portant sur l'identification d'angles dans la figure 1, montre que parmi les 14 élèves qui n'étaient pas parvenus à identifier un angle dans la figure avant enseignement, 8 progressent, la plupart d'entre eux repérant l'angle CDB. Concernant les stratégies de l'ensemble des élèves (identifiées par les lettres entre parenthèses), elles sont toutes utilisées mais on constate que la stratégie prédominante après enseignement est celle du marquage usuel des angles (catégorie M du tableau 3).

Résultats des épreuves écrites (en classe) en mathématiques

Les élèves devaient dessiner un angle puis en reproduire un avec la technique de leur choix (calque, gabarit, fausse équerre). 14 élèves sur 17 (élève « 5 » absent à une des épreuves) parviennent à réaliser l'ensemble de ces deux tâches. Un élève dessine un angle et se trompe dans la reproduction, et à l'inverse deux parviennent à reproduire un angle mais échouent dans la tâche de production. Les élèves devaient ensuite comparer 4 paires d'angles dont les configurations avaient été choisies pour contrôler s'ils conçoivent la taille des angles comme indépendante de celle de leurs côtés. 7 élèves ne font aucune erreur, 9 se trompent pour une seule des 4 paires et 2 élèves se trompent sur la moitié des paires. On peut considérer que seuls ces deux élèves sont en grande difficulté pour les tâches de comparaison. Le dernier exercice est tiré de l'article de Berthelot et Salin (1994-95) : il s'agit de déterminer si, dans une figure (pentagone irrégulier), il existe des angles égaux à deux angles A et B de cette figure. 12 élèves sur 18 trouvent l'angle égal à A. L'angle B n'est égal à aucun autre angle de la figure mais est très voisin de l'un d'eux (moins de 5 degrés d'écart). 13 élèves considèrent ces deux angles comme égaux, et seuls 3 élèves répondent correctement qu'aucun angle n'est égal à B. Si on ne tient pas compte des problèmes de précision, 16 élèves réussissent cette 2nde question.

Comparaison des résultats des psychologues et des didacticiens

En ce qui concerne la tâche de production, qui était identique dans les deux cas, le tableau 5 permet de constater que pour 10 élèves sur 17, les réponses sont les mêmes quel que soit le contexte d'interrogation. Les 7 autres en revanche dessinent correctement un angle dans un contexte scolaire mais n'y parviennent pas lors des évaluations des psychologues.

		Evaluations écrites proposées par les didacticiens			
		N	L	FG	A
Entretiens réalisés par les psychologues du développement	N				
	L				1, 14
	FG			9, 13	4, 6, 8, 17, 18
	A				2, 3, 7, 10, 11, 12, 15, 16

Tableau 5 : résultats dans la tâche de dessin

Cela fait donc apparaître un effet de contrat didactique qui incite à une certaine prudence lors de l'analyse des évaluations didactiques. En effet certains élèves ne sont pas encore capables, après enseignement, de mobiliser leurs connaissances géométriques nouvellement « acquises » hors du contexte scolaire. Concernant l'identification d'un angle dans une figure, cette compétence a été testée lors des évaluations des psychologues à partir de la figure de Piaget. D'un point de vue didactique, l'exercice portant sur le pentagone exige au préalable l'identification d'angles dans cette figure par les élèves pour qu'ils puissent ensuite les comparer aux angles A et B. Ce sont donc les résultats de ces deux activités qui nous permettent de comparer les performances des élèves en termes d'identification dans les deux contextes d'interrogation.

		Evaluations écrites proposées par les didacticiens	
		Réussite pour A ou B	Réussite pour A et B
Entretiens réalisés par les psychologues du développement	Echec	1(L), 4(E), 5(L), 8(L), 14(L)	13(N)
	Réussite	7(V), 10(M1), 17(S12)	2(M1), 3(C1), 6(V1), 9(S1), 11(V1), 12(M1), 15(M1), 16(M1,2,3), 18(V1)

Tableau 6 : résultats dans la tâche d'identification

On constate tout d'abord une certaine concordance entre ces résultats dans la mesure où les élèves qui réussissent à identifier des angles dans la figure 1 parviennent tous à comparer l'angle A ou l'angle B aux autres angles du pentagone, montrant par là même qu'ils ont été capables de les identifier, et la majorité d'entre eux réussit même pour les deux angles.

En revanche, en didactique tous les élèves réussissent au moins une des questions, alors que 6 élèves sur 18 ne parviennent pas à identifier un angle dans la figure 1 lors des évaluations des psychologues après enseignement (soit ils ne voient pas d'angle, soit ils surlignent des segments ou pointent les extrémités non jointives de ces segments). On voit ici encore apparaître des différences qui peuvent être dues à l'effet de contrat identifié lors de l'analyse du tableau 5. On peut également se demander, dans ce cas, si les exercices proposés en didactique permettent de tester une réelle conceptualisation de l'angle ou une simple acquisition de techniques. En effet les élèves peuvent, grâce à un recours mécanique aux différentes techniques (utilisation de calque, de gabarit ou de la fausse équerre) réussir les tâches de comparaison sans avoir pour autant atteint le niveau de conceptualisation nécessaire pour identifier les angles de la figure 1. Le recours à une technique pour des activités de comparaison peut donc masquer des difficultés conceptuelles.

Exercices spécifiques de la situation

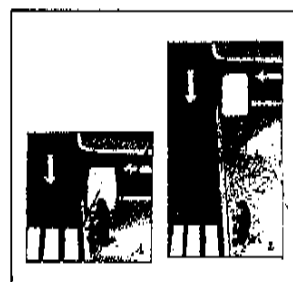
Une large majorité des élèves est capable, à l'issue de cette séquence, de maîtriser la relation fonctionnelle entre la position de l'enfant sur la médiatrice et l'angle d'ouverture du champ : à la question « que devient la zone cachée quand l'enfant avance vers l'écran, quand il recule ou si l'écran est plus grand ? », 11 élèves sur 18 répondent correctement à chacune des trois questions et 2 se trompent uniquement quand on fait varier la taille de l'écran.

Un exercice de transfert a aussi été proposé. Il s'agit de savoir où il est préférable de placer un passage protégé pour que des enfants puissent traverser une rue sans danger malgré la présence d'un obstacle visuel.

5 élèves sur 18 choisissent le bon schéma et expliquent correctement leur réponse

6 autres élèves choisissent aussi ce schéma mais ne justifient pas leur réponse ou donnent des explications difficiles à interpréter.

Ces deux exercices montrent qu'une part importante des élèves a acquis les connaissances spatiales et géométriques permettant la maîtrise de la situation à laquelle ils ont été confrontés.



Conclusion

L'analyse de la séquence et les évaluations réalisées en classe montrent l'acquisition par les élèves d'une certaine maîtrise du concept d'angle, les conceptions erronées usuelles étant dépassées pour une grande partie d'entre eux. Ces élèves se sont créé un référent empirique qui leur permet d'invalider le rôle de la longueur de ses côtés dans la taille d'un angle. Cette situation expérimentale, dans l'espace réel, permet donc aux enfants d'acquérir des connaissances en mathématiques d'une part et en physique d'autre part (concept de droite de visée, notion de champ visuel en présence d'un obstacle). Cependant ces résultats sont à modérer dans la mesure où, pour certains de ces élèves, ces savoirs ne sont encore mobilisables que dans un contexte scolaire, comme le montrent les évaluations réalisées par les psychologues. Cette collaboration entre didacticiens et psychologues montre d'ores et déjà, à travers ces premiers résultats, l'intérêt d'une analyse croisée des performances des élèves. Cette analyse se poursuit actuellement sur d'autres items, avec deux niveaux de classe et plusieurs scénarios jouant sur différentes variables didactiques de la situation. Un de nos objectifs est d'affiner le rôle de l'utilisation des techniques de comparaison des angles : si l'utilisation de ces techniques semble une étape nécessaire pour aider à la conceptualisation, elle n'est manifestement pas un gage d'une conceptualisation complète, même lorsque les élèves les maîtrisent correctement.

Bibliographie

- BALACHEFF Nicolas, 1988, *Une étude des processus de preuve en mathématique chez les élèves de collège*, thèse d'état, Université Grenoble 1, pp. 395-464.
- BERTHELOT René et SALIN Marie-Hélène, 1993-94, « L'enseignement de la géométrie à l'école », *Grand N*, n°53.
- BERTHELOT René et SALIN Marie-Hélène, 1994-95, « Un processus d'enseignement des angles au cycle III », *Grand N*, n°56.
- BERTHELOT René et SALIN Marie-Hélène, 1999-2000, « L'enseignement de l'espace à l'école », *Grand N*, n°65.
- BALDY René, DEVICHI Claude, AUBERT Florence, MUNIER Valérie, MERLE Hélène, DUSSEAU Jean-Michel, FAVRAT Jean-François, sous presse, « Développement cognitif et apprentissages scolaires. L'exemple de l'acquisition du concept d'angle », *RFP*.
- CHEVALLARD Yves, JULLIEN M, 1990-1991, « Autour de l'enseignement de la géométrie au collège », *Petit x*, n°27.
- GOBERT Sophie, 2001, *Questions de didactique liées aux rapports entre la géométrie et l'espace sensible, dans le cadre de l'enseignement à l'école élémentaire*, thèse de doctorat, Université Paris 7.
- GUESNE Edith, 1984, « Children's ideas about light / les conceptions des enfants sur la lumière », *New Trends in Physics Teaching*, Vol IV UNESCO, Paris, pp. 179-192.
- MERLE Hélène, 1999, « Difficultés dans la conceptualisation du mouvement de rotation de la terre sur elle-même », *Didaskalia*, n°14, pp. 61-94.
- MUNIER Valérie et MERLE Hélène, « Une approche expérimentale du concept d'angle à l'école élémentaire à travers la notion de champ visuel », à paraître dans les actes du Colloque International sur l'Enseignement des Sciences - Expérimentation et construction des concepts (Charleville-Mézières, 12, 13 et 14 mai 2003).
- MUNIER Valérie et MERLE Hélène, 2004, « De l'utilisation d'un instrument à la maîtrise des concepts en jeu : l'exemple de la boussole à l'école élémentaire », in : A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg (coord.), actes des XXVes JIES, (Chamonix, 30 novembre-4 décembre 2003).
- MUNIER Valérie et MERLE Hélène, « Une approche interdisciplinaire mathématiques - physique du concept d'angle à l'école élémentaire », en cours de révision pour *RDM*.
- PIAGET Jean, INHELDER Barbel et SZEMINSKA Aline, 1948, *La géométrie spontanée de l'enfant*, Paris, PUF.

Enseignement de la respiration au lycée au gabon, quels savoirs pour quels professeurs ?

NDONG Laurence et CAILLOT Michel, Laboratoire Education et Apprentissage, Université René Descartes- Paris 5, France

Introduction

De nos jours, l'enseignement des sciences pose un problème dans plusieurs pays comme l'affirment Désautels et Laroche (1992). « *C'est un secret de Polichinelle : l'apprentissage des contenus à caractère scientifique pose un problème à tous les ordres d'enseignement, depuis le primaire jusqu'à l'université* ».

Ce constat est encore plus vrai dans les pays en voie de développement. En ce siècle dont les maîtres mots sont excellence et compétitivité, ces pays qui accusent un retard énorme sur les plans économique, industriel et technologique se donnent comme priorité dans l'éducation, l'amélioration de l'enseignement en général et de l'enseignement scientifique en particulier. C'est le cas du Gabon, qui depuis plusieurs années, développe une politique visant à encourager les élèves à poursuivre des études dans le domaine des sciences. En dépit des efforts consentis par les autorités gouvernementales, le taux d'échec reste important. Ainsi, depuis quelques années des discussions ont cours pour tenter de proposer des solutions en vue de l'amélioration des résultats des élèves dans l'enseignement scientifique. Les discours sur la recherche de solutions tournent généralement autour de l'amélioration des conditions de vie et de travail des enseignants. Ces aspects, quoique non négligeables, semblent pour nous, insuffisants pour améliorer la qualité de l'enseignement des sciences.

Aussi, avons-nous choisi de jeter un regard sur la relation que les enseignants entretiennent avec le savoir, notamment avec les savoirs scolaires tant cet aspect nous semble primordial.

L'objet et hypothèse de notre recherche

Dans un article paru en 1982, Chevallard et Johsua, s'appuyant sur les travaux du sociologue Michel Verret, ont analysé le passage d'un contenu de savoir précis à sa version didactisée. Cette recherche menée en didactique des mathématiques a montré que les savoirs savants subissent une décontextualisation, une déhistorisation, une dépersonnalisation et une programmabilité lorsqu'ils deviennent savoir à enseigner. Ainsi, par rapport au savoir savant, les savoirs scolaires sont décontextualisés, déhistorisés et dépersonnalisés (Chevallard, 1985). Ce concept né en didactique des mathématiques a suscité d'autres recherches dans les didactiques des autres disciplines.

C'est ainsi que, Grosbois, Ricco et Sirota (1992), respectivement, biologiste, psychologue et sociologue de l'éducation, ont réalisé une étude de la transposition didactique du concept de la

respiration à travers les manuels, les instructions officielles, les conceptions des élèves¹ et les programmes de formation des maîtres. Cette étude a montré que par rapport aux connaissances contemporaines sur la respiration, celles présentées dans les manuels étaient en retard d'un ou deux siècles, les savoirs étaient décontextualisés, dépersonnalisés, déhistorisés et cela se reflétait dans les connaissances des élèves sur la question.

Nous avons repris la respiration dont la transposition didactique avait déjà été étudiée pour voir si les professeurs de biologie du lycée au Gabon étaient conscients de la différence qui existe entre la respiration telle qu'elle est présentée dans la communauté scientifique et la respiration telle qu'elle apparaît dans les programmes du lycée. Le lycée retient notre attention parce qu'en ce qui concerne la respiration, ce niveau présente le degré de connaissances le plus approfondi et le plus complexe qu'offre le cycle secondaire.

Notre hypothèse de recherche est que les professeurs de lycée² de biologie au Gabon ignorent les transformations que subies le savoir savant quand il devient savoir à enseigner. Pour eux, les savoirs scolaires découlent logiquement des savoirs savants.

Avant de présenter l'enseignement de la respiration dans la formation des professeurs de lycée au Gabon, nous voulons présenter brièvement le système éducatif de ce pays.

Le système éducatif gabonais

Il est entièrement calqué sur celui de la France dans ses modes de fonctionnement, de formation et d'administration (Eyeang, 1997), tout en présentant quelques petites nuances.

L'enseignement général renferme le primaire, le collège unique et le lycée. La maternelle quoique généralisée dans les grandes villes n'est pas obligatoire, même si le gouvernement a entrepris, depuis quelques années, une réforme qui vise l'insertion de ce cycle dans toutes les écoles primaires du pays.

Au Gabon, il existe des Collège d'Enseignement Secondaire (C.E.S.) et des lycées. Cependant, l'organisation des lycées diffère de celle de la France, en ce sens qu'au Gabon, un lycée renferme toutes les classes de la sixième à la Terminale. Les CES, quant à eux, sont des collèges classiques comme en France.

Cette distinction apparaît aussi dans la formation et la classification des enseignants. On distingue des professeurs de lycée susceptibles d'enseigner toutes les classes de la sixième à la Terminale et les professeurs de collège ne pouvant enseigner que de la sixième à la troisième.

Concernant la désignation des classes du lycée, le Gabon s'est aligné sur la Réforme Haby (1975). Par exemple on parle toujours de Seconde S (scientifique), de Première S et des Terminales C (Mathématiques et Sciences Physiques) et D (Mathématiques et Biologie), pour ne parler que de l'enseignement scientifique qui nous intéresse dans cette étude parce que renfermant la respiration dans son programme.

¹ L'enquête a été effectuée auprès des étudiants de première année de D.E.U.G. des Sciences de la Vie et de la Terre juste avant que ne soit traité le cours de biologie portant sur la respiration. Les représentations spontanées sur la respiration, dans ce cas, correspondent aux connaissances acquises durant les enseignements primaire et secondaire.

² Dans notre étude, en parlant de professeurs de lycée, il s'agit des professeurs qui enseignent de la Seconde en Terminale. Le lycée, ici rejoint la terminologie en France

La formation des enseignants au Gabon

Le Gabon a une Ecole Normale Supérieure à Libreville, capitale politique qui forme les professeurs de collèges et de lycées. Avant la réforme de 1996, les futurs enseignants étaient recrutés sur titre après l'obtention du baccalauréat³. Les professeurs de collège étaient formés en trois ans et les professeurs de lycée en cinq ans. Une sélection s'effectuait en troisième année pour accéder au CAPES (diplôme décerné aux professeurs de lycée). Les professeurs de collège obtiennent un CAPC (Certificat d'Aptitude au Professorat de Collège). Après la réforme, l'ENS est devenue une école post-universitaire. Les futurs professeurs de collège sont formés en deux ans. Ils sont recrutés sur concours et doivent être titulaire d'un DEUG ou d'une licence. Tandis que les futurs professeurs de lycée également admis sur concours avec une maîtrise, au minimum, sont eux aussi formés en deux ans.

Au Gabon, il y a une seule faculté des sciences et elle ne forme que jusqu'au DEUG (Chimie Biologie et Biologie Géologie). Pour poursuivre en Licence et au delà, les étudiants sont systématiquement envoyés en France, et depuis peu, dans quelques pays d'Afrique (Côte d'Ivoire Sénégal, Burkina Faso) où des accords existent avec des universités.

Les programmes de formation sont divisés en deux parties, à savoir, les sciences de l'éducation d'une part et la formation disciplinaire d'autre part. La formation disciplinaire tient compte du parcours initial des stagiaires⁴.

La respiration dans la formation des professeurs et dans les programmes du lycée.

La respiration dans la formation des professeurs

Etant donné que tous les stagiaires subissent un complément de formation disciplinaire, nous avons examiné l'enseignement sur la respiration donné à l'ENS, sachant qu'avant et après la réforme, les programmes n'ont presque pas changé. Maintenant, ils sont simplement adaptés au parcours initial des stagiaires, comme nous l'avons déjà dit. Pour faciliter la lecture, nous présenterons le programme tel qu'il existait lorsque les professeurs de lycée étaient formés en cinq ans. Les programmes comprenaient des cours de Biologie cellulaire et génétique en première année, de Physiologie animale et végétale, ainsi que de la Botanique et de la Zoologie en deuxième année. En troisième année, on retrouvait les mêmes matières qu'en deuxième année. En quatrième année, il y avait un programme de Microbiologie, de Biochimie, et d'Evolution. En cinquième année, le programme de la formation disciplinaire portait sur l'Ecologie et la Génétique⁵.

D'après les intitulés et leur contenu, nous avons remarqué que la respiration était envisagée selon les paradigmes en vigueur dans la communauté scientifique contemporaine. Toutes ses étapes sont passées en revue, depuis l'absorption des gaz respiratoires, jusqu'à la production d'énergie sous forme d'ATP au niveau de la membrane interne de la mitochondrie.

³ Ce recrutement sur titre avait pour but d'inciter les étudiants à se lancer dans la carrière enseignante étant donné qu'au Gabon, plus de 70 % des enseignants étaient des expatriés, surtout dans les matières scientifiques. Aujourd'hui, la situation a légèrement évolué même si les professeurs expatriés restent largement majoritaires.

⁴ Par exemple : les stagiaires titulaires d'une Maîtrise en biologie auront un complément de cours en géologie et autres matières dont ils auront besoin pour enseigner les programmes du lycée et vice- versa.

⁵ Nous n'avons pas parlé du programme de géologie parce qu'il ne concerne pas cette étude. Tout comme le programme de science de l'éducation.

Pour avoir suivi ces cours, je me souviens qu'en Biochimie, en quatrième année, on nous demandait de connaître par cœur les formules chimiques de tous les composés qui apparaissent dans l'oxydation du glucose par l'oxygène issue de la respiration pour qu'il y ait production d'ATP et ce depuis la glycolyse, jusqu'à la chaîne respiratoire et la phosphorylation oxydative, en passant par le cycle de Krebs. Ce fut même le sujet de notre examen de passage en cinquième année.

La respiration dans les programmes scolaires

Le principe de la programmabilité du savoir mis en évidence par la transposition didactique s'applique aussi au concept de la respiration. Comme le système éducatif, les programmes scolaires au Gabon sont calqués sur ceux de la France et les différents niveaux de formulation du concept de la respiration en fonction des classes du primaire au lycée, présentés par Astolfi, Darot, Gingsburg-Vogel et Toussaint (1997), correspondent exactement à la programmation en vigueur au Gabon. Ces auteurs décomposent la respiration en six questions qui correspondent à six niveaux de formulation. Ce sont :

1. la ventilation (mouvements respiratoires et échanges gazeux);
2. les relations avec le système circulatoire ;
3. les gaz respiratoires : transport, diffusion et transformation ;
4. l'énergie utilisée ou produite au cours de la respiration ;
5. la respiration tissulaire et cellulaire ;
6. les oxydo-réductions et le transport d'électrons.

Au lycée au Gabon, la respiration est au programme de la classe de Première S. Les niveaux de formulation étudiés dans cette classe sont la transformation des gaz respiratoires, la libération de l'énergie ainsi que la respiration tissulaire et cellulaire. D'ailleurs, le terme respiration n'apparaît pas dans la formulation du programme. On y voit plutôt ceci :

Chapitre 1 : les dépenses énergétiques de l'organisme

Chapitre 2 : l'énergie du fonctionnement cellulaire

Chapitre 3 : le métabolisme énergétique chez l'homme.

En dépit de cette formulation qui semble très actuelle, le contenu de ce programme, comme l'ont montré Grosbois, Ricco et Sirota⁶, n'a pas échappé aux règles de la transposition didactique. Après avoir comparé la respiration dans la formation des enseignants et au lycée, nous avons interrogé les professeurs de lycée pour voir si pour eux, il y avait des différences entre ces deux types de savoirs (savoirs scolaires et universitaires).

Description de l'échantillon et méthodologie de la recherche :

Nous avons eu des entretiens semi directifs avec dix professeurs de quatre lycées de Libreville. Les professeurs interviewés ont des cursus de formation divers avec la particularité d'être tous passés par l'ENS de Libreville où ils ont obtenu le CAPES. La moitié des professeurs interviewés ont été formés en cinq ans à l'ENS. Quatre sont titulaires d'une maîtrise en biologie, ou en géologie ; ils ont été admis sur concours à l'ENS où ils y ont passés deux ans. L'un des professeurs interviewés est titulaire d'une Maîtrise en géologie, il n'a pas validé son CAPES pour faute de mémoire.

⁶ Nous tenons à préciser que les contenus de programme étudiés par ces trois chercheuses étaient quasiment identiques à ceux que l'on retrouvait au Gabon au moment de notre étude).

Tableau 1 : La grille d'analyse

Dimension A	Connaissances portant sur la respiration	Description
Sous dimension A1	Actualité des connaissances	
Catégorie 1	Niveau de formulation du concept de la respiration	Le niveau de formulation auquel renvoient les connaissances de l'enseignant
Catégorie 2	Formulation dépendante de la programmation scolaire	La définition que l'enseignant donne de la respiration est fonction des registres de conceptualisation
Catégorie 3	Description d'une expérience en rapport avec la respiration	Décrire une expérience qui permet de mettre en évidence un fait en rapport avec le concept de la respiration
Sous dimension A2	Histoire du concept de la respiration	
Catégorie 1	Etapes historiques du concept de la respiration	Enoncer les différents paradigmes qui se sont succédés dans l'ordre chronologique
Catégorie 2	Auteurs impliqués	Dire qui sont les auteurs qui ont élaboré les différentes notions de ce concept
Catégorie 3	Contexte d'élaboration des connaissances portant sur la respiration	Rappeler les hypothèses qui ont amené l'élaboration des différentes notions et le dispositif expérimental de l'époque
Catégorie 4	Dates ou époques des événements	Situer dans le temps les différents événements qui ont marqué l'élaboration du concept de la respiration
Dimension B	Nature des savoirs scolaires par rapport aux savoirs savants	Description
Sous dimension B1	Savoirs scolaires conformes aux savoirs savants	Les enseignants considèrent que les savoirs scolaires et les savoirs savants sont identiques
Catégorie 1	Connaissances déclaratives	Ces deux types de savoirs sont identiques sur le plan des discours
Catégorie 2	Connaissances procédurales	Les expériences réalisées par les savants sont les mêmes que celles pratiquées en classe avec les élèves
Sous dimension B2	Savoirs scolaires différents des savoirs savants	
Catégorie 1	Simplification	Les savoirs scolaires sont des savoirs savants simplifiés
Catégorie 2	Introduction de notions ou de données erronées	Les savoirs scolaires renferment parfois des erreurs par rapport aux savoirs savants
Catégorie 3	Les savoirs scolaires plus approfondis que les savoirs universitaires	Certains aspects du savoir semblent plus approfondis au lycée

Il enseigne donc avec sa Maîtrise et est tout de même considéré comme professeur de lycée. Deux des professeurs interrogés ont une expérience professionnelle qui se situe entre un et cinq ans, sept ont entre cinq et dix ans d'expérience professionnelle. Un seul a plus de dix ans d'expérience professionnelle. Les entretiens ont été menés d'après deux axes thématiques, les connaissances portant sur la respiration, avec comme sous thèmes (1) l'histoire de l'évolution

du concept de respiration et l'actualité des connaissances, et (2) la nature des savoirs scolaires par rapport au savoir savant.

La transcription de nos entretiens nous a permis d'obtenir un corpus langagier que nous avons analysé d'après la grille du tableau 1, construite a posteriori.

Résultats et analyse

Nous présenterons ici les principaux résultats en rapport avec le propos de cette communication. Pour préserver l'anonymat des professeurs interrogés, ils sont désignés par les lettres de l'alphabet de A à J.

Dimension A : Connaissances portant sur la respiration

Sous dimension A1 : Actualités des connaissances

Une moitié des enseignants interrogés a formulé le concept au niveau de la ventilation. L'autre moitié a fait allusion à la respiration cellulaire avec production d'énergie, comme nous le montre les extraits suivants :

B1 « Non j'irai directement au but c'est-à-dire eh / en allant directement au / but final la respiration c'est, la production d'énergie :: par un organisme vivant ».

C1 « La respiration est un échange de gaz entre un organisme et son milieu de vie alors le, milieu de vie ici peut être ce milieu aérien, aquatique ou milieu terrestre ».

E1 « La respiration est tout simplement une consommation de dioxygène et un rejet de dioxyde de carbone ».

Outre le niveau de formulation qui renvoie systématiquement aux échanges gazeux respiratoires, nous avons aussi constaté que certains enseignants ne pouvaient pas donner de définition ou citer une expérience sans faire référence à la programmation scolaire du savoir, au découpage de ce dernier, comme si ce découpage allait de soi et comme s'il en a toujours été ainsi. La consigne de départ était pourtant claire. Il s'agissait pour les enseignants de parler de ce qu'ils savent au sujet de la respiration et non pas parler des différents registres de conceptualisation de cette notion, comme nous le montre les extraits rapportés ci-dessous :

D2 « ben, la respiration c'est / :: lorsqu'on le prend au niveau des petits, c'est /, ce sont des échanges gazeux /, donc / l'absorption d'O₂ et rejet de CO₂ lorsqu'on pousse un peu plus la réflexion au niveau cellulaire, c'est le mécanisme qui permet donc la production d'ATP, molécule énergétique utilisée par l'organisme ».

I 3 « Bon euh // les expériences ça dépend des niveaux hein si je euh euh le niveau collège/ on peut prendre l'expérience sur euh les mesures euh euh sur euh euh du dioxyde de carbone / du dioxygène, de l'azote euh euh au cours de :: l'inspiration et de l'expiration ↑ pour mettre en évidence les gaz respiratoires que sont le dioxygène / le dioxyde de carbone y a une autre expérience / euh par exemple ça c'est du niveau terminale où on met en évidence la consommation de dioxygène au niveau des mitochondries »

Sous dimension A2 : Histoire du concept de la respiration

Tous les enseignants que nous avons interrogés ne connaissent pas l'histoire du concept de la respiration. Hormis le nom de Krebs qui est associé à une étape fondamentale de la respiration, aucun autre auteur n'a pu être cité. Ce qui ne nous étonne pas dans la mesure où l'histoire des sciences est absente des programmes de l'ENS de Libreville et semble t-il de la formation universitaire reçue antérieurement.

Dimension B : Nature des savoirs scolaires par rapport aux savoirs savants

Lorsque nous avons demandé aux enseignants de comparer les savoirs savants et les savoirs scolaires, il est apparu comme une sorte d'étonnement sur leurs visages. Certains ont d'ailleurs demandé de reprendre la question tandis que d'autres donnaient des réponses « hors sujet ». Ce qui semble traduire le fait qu'ils n'avaient jamais réfléchi à cette question. Pour eux, les savoirs scolaires découlent logiquement des savoirs savants. Les savoirs scolaires sont logiquement issus d'une simplification des savoirs savants. Pour la majorité des enseignants interrogés, ce qu'ils appellent simplification des savoirs savants c'est en fait la programmation des savoirs scolaires ou plutôt les registres de conceptualisation. On a comme l'impression que pour eux, cette programmation va de soi, qu'elle est unique et indispensable à l'assimilation des notions par les élèves. Les extraits suivants sont édifiants à cet égard.

C16 « Je peux dire que les savoirs savants / ??? ceux qui découvrent le savoir par rapport à ce qu'on demande : d'enseigner aux enfants, je crois que bon : peut-être les connaissances ne sont peut-être pas assez approfondies ... les connaissances sont limitées et pas / approfondies. ».

D13 « Bon mais si on compare, les savoirs scolaires sont beaucoup plus étalés dans le temps sur un certain nombre d'années, donc plus simplifiés... ».

Interprétation

Tous les enseignants que nous avons interrogés ignorent tout de l'histoire du concept de la respiration. Et pour eux, les savoirs scolaires sont des savoirs savants simplifiés. Ils découlent des savoirs savants sans subir de transformations fondamentales. La déhistorisation, la décontextualisation et la dépersonnalisation qui caractérisent les savoirs scolaires sont complètement ignorées. En d'autres termes, la notion de construction des savoirs scolaires semble ne pas exister pour ces enseignants. Les savoirs scolaires sont des savoirs savants « miniaturisés ».

Il semble que dans leur formation, si les connaissances sur la respiration sont actualisées, elles demeurent décontextualisées, déhistorisées et dépersonnalisées. L'histoire des sciences plus précisément celle des concepts scientifiques ne fait pas partie de leur formation initiale. Or, l'étude de Chevallard sur la transposition didactique s'appuyait sur l'histoire du concept de distance qu'il a comparé avec le concept développé dans les programmes scolaires. Grobois, Ricco et Sirota ont suivi le même cheminement pour mettre en évidence les différences entre la « respiration savante » et « la respiration scolaire ». En d'autres termes, sans l'histoire des sciences, il aurait été impossible de déceler la décontextualisation, la déhistorisation et la dépersonnalisation des savoirs scolaires. De plus, si nous établissons un parallèle avec les résultats des travaux de Grobois, Ricco et Sirota qui ont montré que la transposition didactique transparaissait à travers les connaissances des élèves, notamment, par leur niveau de formulation du concept qui renvoyait aussi à la ventilation, les résultats de nos entretiens laissent croire que les connaissances des enseignants se ramènent quasiment aux savoirs scolaires et en dépit de ce qu'ils ont appris à l'université. Pour nous, le fait que certains enseignants définissent la respiration par rapport aux registres de formulation en vigueur dans les programmes scolaires montre bien la dépendance de leurs connaissances personnelles aux savoirs scolaires.

Conclusion

Ce constat pourrait s'expliquer par l'absence d'un cours d'histoire et d'épistémologie des sciences. Car, comme l'affirment Désautels et Larochelle, l'introduction dans l'enseignement (ou la formation)⁷ d'une réflexion sur la nature du savoir scientifique (et du savoir scolaire), sur son processus de formation et ses dimensions sociales peut rendre les élèves (et les enseignants) conscients de la portée des limites des concepts de la science (ou des savoirs scolaires). Autant la science est construite, autant les savoirs scolaires le sont, sinon plus.

Bibliographie

- Astolfi, J.-P., Darot, L., Ginsburger-Vogel, Y., Toussaint, J., 1997. *Pratiques de formation en Didactique des sciences*. Paris – Bruxelles : De Boeck, coll. Pratiques pédagogiques
- Chevallard, Y., Joshua, M., 1982. Un exemple d'analyse de la transposition didactique. La notion de distance. In *Recherche en didactiques des mathématiques*, vol. 3.2.
- Chevallard, Y. 1985. *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : la Pensée Sauvage.
- Eyeang, E., 1997. *L'enseignement / apprentissage de l'espagnol au Gabon. Eléments de recherche pour une adaptation socio-didactique*, Thèse de doctorat NR, Université Stendhal-Grenoble III, Presses Universitaires du Septentrion, tomes 1 et 2.
- Grosbois, M., Ricco, G., Sirota, R., 1992. *Du laboratoire à la classe. Le parcours du savoir. Etude de la transposition didactique du concept de la respiration*. Paris : ADAPT.
- Larochelle, M., Désautels, J., 1992. *Autour de l'idée de sciences. Itinéraires cognitifs d'étudiants*. Bruxelles: De Boeck, coll. Pédagogies en développement. Problématiques et recherches.

⁷ Les parenthèses sont de nous.

Le principe de l'actualisme, pierre d'achoppement des lycéens confrontés à des problèmes de géologie historique

ORANGE Denise, MCF, IUFM des Pays de la Loire, CREN Université de Nantes, France

Introduction

Les Sciences de la Terre s'intéressent tout à la fois au fonctionnement actuel de la Terre et à la reconstitution de son histoire. Dans cette tension entre un pôle fonctionnaliste et un pôle historique, elles construisent une relation complexe entre le passé et le présent. Le passé met en jeu des durées qui dépassent la perception humaine et il ne nous parvient que sous la forme de traces fragmentaires qu'il s'agit d'identifier et d'interpréter. Pour "lire" ces archives de la Terre, les géologues sont contraints de faire un recours à la nature actuelle et à l'observation de ce qu'il s'y passe. Ils mettent en jeu le principe méthodologique de l'actualisme. Qu'en est-il des élèves confrontés à des problèmes de Géologie historique ? C'est à cette question que tente de répondre notre contribution.

Cadre théorique et méthodologie

Cadre didactique

C'est en nous plaçant dans le cadre théorique de la problématisation (M. Fabre & C. Orange, 1997 ; C. Orange, 2000, 2002) que nous nous intéressons aux apprentissages scientifiques, en Sciences de la Terre en particulier. Nos recherches, en effet, prennent en compte l'importance des problèmes explicatifs en sciences et elles questionnent la construction de problème, autrement dit la problématisation. Plus précisément, dans ce cadre théorique, l'activité scientifique se caractérise par la co-construction et la mise en tension de plusieurs registres (J.-L. Martinand, 1992 ; C. Orange, 1997) : un registre empirique, "monde" des données à expliquer ou à prendre en compte dans l'explication ; un registre des modèles, "monde" des constructions explicatives ayant valeur de solutions et un registre explicatif, monde de références explicatives donnant sens et fonctionnalité aux modèles explicatifs et en grande partie implicites. Le principe de l'actualisme participe du registre explicatif des géologues.

Faire entrer des lycéens dans des apprentissages en Géologie, c'est donc les confronter à de véritables problèmes géologiques explicatifs (problèmes fonctionnalistes et problèmes historiques) et, s'il s'agit de problèmes historiques, les conduire à mettre en jeu le principe de l'actualisme.

Le principe méthodologique de l'actualisme en Géologie

Un principe important

La reconstitution du passé de la Terre, fondée sur les traces qu'il en reste (fossiles, roches, structures par exemple) est difficile : la remontée dans le temps géologique va très au delà du temps humain, ce qui exclut les témoignages directs ou relatés dans des écrits. Quelle méthodologie peut alors aider à construire une Histoire de la Terre scientifiquement recevable et prenant en compte ces traces ? Le principe méthodologique de l'actualisme, garde fou des cosmogonies (R. Hooykaas, 1970), s'impose comme une nécessité. Il peut s'énoncer de la manière suivante : les phénomènes à l'origine des changements géologiques passés (leurs causes géologiques¹) ont existé et existent encore dans la nature actuelle. C'est dire que la nature actuelle a un double rôle : elle contient des traces du passé et elle est un vivier de possibles géologiques, autrement dit une référence pour l'explication de ce passé. Ce statut ambigu du présent n'est pas sans poser problème. L'histoire de la Géologie scientifique atteste de l'importance de l'actualisme méthodologique et de la difficulté à s'y tenir.

Actualisme, directionnalisme et catastrophisme

Le principe méthodologique de l'actualisme, d'une certaine façon, se confronte au directionnalisme et au catastrophisme.

Actualisme et directionnalisme

Penser une Histoire de la Terre, c'est admettre qu'elle évolue depuis sa formation, autrement dit c'est l'inscrire dans un cadre directionnaliste. Cela contraint l'utilisation du principe méthodologique de l'actualisme. Car on ne peut pas exiger que la nature actuelle contienne toutes les causes géologiques ayant existé, notamment parce que les conditions de la surface de la Terre ont changé (sous l'influence des êtres vivants par exemple). Il est donc possible que certaines causes géologiques se soient "éteintes". Pensons aux conditions ayant permis l'émergence de la vie. Tout laisse à penser qu'elles n'existent plus. Le principe méthodologique de l'actualisme est donc en tension avec le directionnalisme, qui conduit à envisager des causes anciennes d'une autre nature, sans qu'elles soient forcément d'une autre intensité que les causes actuelles.

Actualisme et catastrophisme

Des causes encore agissantes paraissent spontanément insuffisantes pour expliquer certains phénomènes géologiques comme le plissement des couches ou la formation des chaînes de montagnes. N'est-il pas plus tentant de recourir à des causes différentes soit en nature, soit en intensité ? L'actualisme méthodologique permet de construire les problèmes de la Géologie historique en évacuant un catastrophisme trop immédiat, qui permettrait tout. L'introduction de longues durées peut aider à dépasser le catastrophisme.

Méthodologie

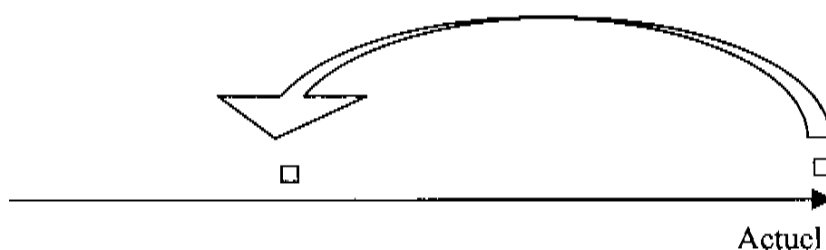
L'importance de l'actualisme en Géologie justifie que nous cherchions à préciser comment il est utilisé par les élèves. Pour cela, nous comparons ce qu'en font les chercheurs et les lycéens dans un problème géologique donné. Dans cette comparaison, nous utilisons les catégories déjà présentées (actualisme et catastrophisme) que nous précisons. Nos analyses

¹ Gohau (1997) donne des exemples de causes géologiques actuelles : érosion, transport, sédimentation, volcanisme, métamorphisme, plissement et soulèvement des montagnes.

épistémologiques (D. Orange Ravachol, 2003) montrent en effet qu'il est possible de distinguer deux niveaux dans le principe méthodologique de l'actualisme² :

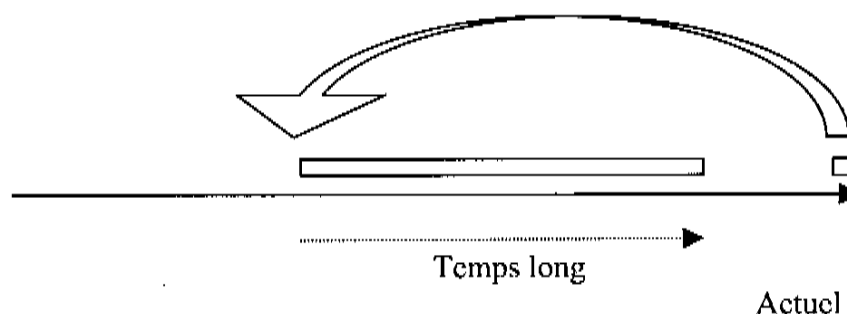
- Un actualisme de premier niveau ou actualisme d'analogie qui consiste à référer une trace ancienne à une structure et à un processus actuel que l'on exporte dans le passé, et en n'importe quel point du passé (figure 1). Cette première forme de l'actualisme relève de l'analogie et le temps géologique n'y joue qu'un rôle de repère chronologique ;

Figure 1 : L'actualisme de premier niveau (actualisme d'analogie)



- Un actualisme de 2^e niveau, ou actualisme à temps long, où la trace est expliquée par des processus actuels à condition de les imaginer sur une durée qui dépasse le temps humain; l'actualisme de 2^e niveau nécessite un temps long producteur de phénomènes (figure 2).

Figure 2 : L'actualisme de 2^e niveau (actualisme à temps long)



Ces deux formes d'actualisme seront illustrées dans la partie suivante, dans le cadre du problème des ophiolites. Soulignons dès maintenant que le principe méthodologique de l'actualisme est ainsi plus complexe qu'il ne paraît, et que, par son deuxième niveau, il s'oppose au catastrophisme immédiat et construit la nécessité d'un temps long créateur. Relevons également son intérêt dans la transformation de nombre de problèmes de la géologie historique en problèmes de la géologie fonctionnaliste: l'actualisme d'analogie transpose de l'actuel sur un tronçon passé de la flèche du temps; l'actualisme de deuxième niveau procède de même mais il étire temporellement le processus en jeu dans le cours de l'Histoire³.

Fort de ces approfondissements, nous allons maintenant nous intéresser à un cas de problème historique, la mise en place des ophiolites, et comparer, chez les chercheurs et chez les

² Et de la même manière, il paraît possible d'envisager deux types de catastrophisme : un catastrophisme de 1^{er} niveau, immédiat et ad hoc, et un catastrophisme de 2^e niveau, raisonné (D. Orange Ravachol, 2003).

³ Nos recherches montrent que certains problèmes historiques résistent à cette transformation: leur construction amène à reconstituer des événements et met en jeu la contingence (Gould, 1991; D. Orange Ravachol, 2003).

lycéens, la place que prennent les différentes formes d'actualisme dans sa construction. C'est une façon de mesurer l'écart des élèves au savoir savant.

L'utilisation de l'actualisme dans le cas d'un problème de géologie historique

Le problème des ophiolites est un problème historique figurant dans les programmes de lycée (Première S, programme de 1992 ; Terminale S, programme de 2001). Côté chercheurs, notre étude s'appuie sur le compte rendu de l'entretien que nous a accordé, en 2001, le tectonicien A. Michard, dont une partie des travaux porte sur les massifs ophiolitiques (D. Orange Ravachol, 2003). Côté élèves, elle utilise les productions écrites de deux classes de Première S obtenues avant apprentissage.

L'utilisation de l'actualisme par les chercheurs

On trouve des ophiolites au sein de nombreuses chaînes de montagnes. Depuis une trentaine d'années, les géologues les définissent comme un assemblage de roches magmatiques constitué de péridotites plus ou moins serpentinisées, de gabbros, de basaltes en *pillow lavas* que complètent des sédiments siliceux ou radiolarites (A. Nicolas, 1990). Dans le cadre de la théorie de la tectonique des plaques, ils les considèrent comme des lambeaux de lithosphère océanique charriés sur de la lithosphère continentale (obduction); ils conçoivent une formation de ces roches relevant du magmatisme d'une dorsale et leur charriage sur une marge continentale en rapport avec des phénomènes tectoniques. De quelle manière l'actualisme méthodologique intervient-il dans une telle explication? Le tectonicien A. Michard (D. Orange Ravachol, 2003), explique que la formation des roches ophiolitiques ne soulève pas de difficultés, contrairement à la question de leur charriage. Nous interprétons ses propos par la mise en jeu des deux niveaux d'actualisme définis ci-dessus.

La mise en jeu de l'actualisme d'analogie

Par nombre de leurs caractères pétrologiques et organisationnels, les ophiolites rappellent la lithosphère océanique, maintenant bien connue grâce aux études sismiques et aux explorations sous-marines. Ainsi les figures de *pillow lavas* (laves en coussins) que présentent les basaltes sont aisément mises en comparaison avec des structures équivalentes "fabriquées" de nos jours au niveau d'une dorsale océanique, par solidification d'un magma en milieu aquatique. Par analogie à une structure actuelle dont nous connaissons l'origine, puis grâce à une projection dans le passé, il est possible d'imaginer l'existence et le fonctionnement d'une dorsale ancienne: l'explication de la formation des roches ophiolitiques met en jeu, sans difficulté, de l'actualisme d'analogie ou actualisme de 1er niveau.

La mise en jeu de l'actualisme de deuxième niveau

Le recours à l'actualisme d'analogie situe donc l'origine des ophiolites en milieu aquatique. Mais ce n'est pas dans un tel environnement que nous les trouvons: elles sont émergées et même souvent véritablement "perchées" au sommet de hautes chaînes de montagnes. Le problème est aussi d'expliquer cette position. Plusieurs solutions sont possibles: une régression marine postérieure à la formation des *pillow-lavas* (hypothèse "eustatique" qui consiste à envisager des mouvements du niveau marin) ou une surrection du fond océanique par le biais de mouvements de l'écorce terrestre (hypothèse "épirogénique" envisageant la montée de blocs crustaux ou hypothèse "orogénique et tectonique" mettant en jeu une

construction de relief ou de structure). C'est l'hypothèse orogénique et tectonique qui est retenue par les scientifiques actuels, car il y a formation de reliefs mais également bouleversement de la disposition des formations rocheuses. Comment alors penser des mouvements faisant passer d'un fond océanique immergé à des ophiolites constituant des sommets de chaînes de montagnes? Si l'on raisonne en actualiste, on recourt à un ou des processus actuels. Il est bien évident que l'on ne voit pas à l'échelle du temps humain des massifs se départir de l'eau qui les recouvre (régression marine) ou surgir jusqu'à atteindre une altitude élevée. Le géologue est conduit à penser de petites modifications dont la sommation sur une longue durée produit un grand effet. L'explication de la localisation atypique des ophiolites emploie nécessairement l'actualisme de 2^e niveau (actualisme à temps long). La difficulté de son utilisation réside dans le fait que la nature actuelle n'offre que quelques "images" éparées (par exemple des zones de déformations compressives intra-océaniques) d'un "film" infiniment long (l'obduction) que le géologue reconstitue mentalement. Intéressons-nous maintenant à la mobilisation de l'actualisme méthodologique par des lycéens (Première S) confrontés au problème des ophiolites du Chenaillet, situées dans la chaîne alpine.

L'utilisation de l'actualisme par les lycéens

Notre étude s'appuie sur un recueil de données effectué dans 2 classes de Première S (respectivement 23 et 30 élèves) pour deux situations légèrement différentes :

- une situation (type 1) où les élèves, de par les apprentissages déjà effectués, ne disposent que d'une maîtrise des aspects globaux de la tectonique des plaques (accrétion, subduction, collision) ;
- une situation (type 2) où les élèves disposent également de possibles tectoniques (plissements, failles étudiés dans un cours précédent).

Dans les deux types de situation, la tâche confiée aux élèves est comparable : " *dire quelle peut être l'origine et l'histoire des ophiolites* " (situation type 1) ; " *raconter l'histoire des ophiolites du Chenaillet depuis leur formation jusqu'à aujourd'hui* " (situation type 2) ; pour répondre, les élèves s'appuient sur leurs connaissances et sur quelques documents : une photographie d'un relief (le Chenaillet) constitué de *pillow lavas* et une coupe présentant les différentes formations rocheuses ophiolitiques et leur disposition (cette coupe inclut le mont Chenaillet présenté sur la photographie) ; pour la situation de type 1, les élèves ont également une carte géologique simplifiée. L'analyse des productions écrites des élèves porte sur la façon dont ils expliquent la formation des roches ophiolitiques et leur position. En termes de recours à l'actualisme méthodologique, deux tendances se dessinent.

Sans " possibles tectoniques " : un recours général à l'actualisme d'analogie

Les élèves de Première S (situation type 1) comparent aisément certains aspects du Chenaillet à une dorsale actuelle et expliquent ainsi la formation des différentes roches qu'on y trouve. Tous reconnaissent dans les ophiolites un morceau de lithosphère océanique, mais peu d'entre eux imaginent spontanément des phénomènes tectoniques et orogéniques pour expliquer leur situation actuelle. Tout se passe comme si les lycéens multipliaient les analogies bien au-delà de ce que font les chercheurs: comme ces derniers, ils réalisent des analogies de structures (*pillow lavas*, cortège de roches) ou de fonctionnement (le modèle de fonctionnement de la dorsale ancienne est celui d'une dorsale actuelle), mais ils s'écartent des scientifiques en reconnaissant dans le relief montagneux la forme d'une dorsale, dans les failles qui hachent ce relief, les structures distensives de la zone d'une dorsale. Les élèves se focalisent sur la formation des roches, dans un contexte environnemental pour partie immuable (fixité des reliefs et des conditions environnementales).

Avec des “ possibles tectoniques ”: mise en jeu de l'actualisme d'analogie et du catastrophisme de 1er niveau

Lorsque les élèves disposent de possibles tectoniques et orogéniques (situation type 2), leur explication prend en compte la formation des roches mais également leur position. Les solutions proposées se rapprochent de celles des chercheurs, mais nous remarquons que les élèves utilisent toutes sortes de possibles tectoniques pour obtenir l'organisation structurale du Mont Chenaillet. Prenons l'obliquité des formations rocheuses: certains élèves l'expliquent par des phénomènes de divergence, d'autres mettant en jeu de la convergence; certains élèves la comprennent à une échelle locale, d'autres à une échelle globale. Tout se passe comme si les élèves se permettaient tout, sans règle ni contrôle. La production d'élève présentée en annexe en donne un exemple. L'élève repère, dans la coupe du Chenaillet, une superposition anormale de formations rocheuses : la péridotite surmonte le gabbro quand cela devrait être le contraire. Pour expliquer cette “ *anomalie* ”, il s'engage dans le “ *maniement* ” d'un fond océanique “ *normal* ” (les formations rocheuses sont horizontales) jusqu'à obtenir la configuration actuelle des formations : bascule et faille font ici l'affaire. La tectonique des élèves est une tectonique de bricoleurs (C. Lévi-Strauss, 1962) : ils inventent le montage du Chenaillet avec les objets (fonds océaniques, plaques, etc.) et des outils (rapprochement, écartement, affrontement, failles inverses, etc.) dont ils disposent. Rien de la nature actuelle ne leur sert véritablement de référence, et la nécessité du temps long n'est pas construite. En d'autres termes, les élèves usent sans réserve du catastrophisme immédiat, de 1er niveau, et se contentent du temps de “ *la mise en histoire* ”.

Résultats / Discussion

La géologie prend son sens dans une tension fondamentale entre passé et présent qui correspond au rejet méthodologique du catastrophisme immédiat et à l'adoption de l'actualisme. Nos investigations définissent deux niveaux d'actualisme méthodologique : un actualisme d'analogie, basé sur la conservation d'objets géologiques (roches, formes, etc.) et des phénomènes géologiques dont ils sont le fruit ; un actualisme de 2è niveau qui construit la nécessité d'un temps long producteur de phénomènes. Contrairement aux chercheurs qui recourent aux deux formes d'actualisme, les lycéens privilégient spontanément l'actualisme d'analogie et le catastrophisme immédiat. Ils ne semblent donc pas utiliser l'actualisme de 2è niveau qui structure les problèmes de géologie historique. On peut donc dire que les élèves ne construisent pas vraiment des problèmes de géologie historique. Nous voyons à cela deux éléments d'explication complémentaires:

- L'expression chez les élèves de conceptions résistantes (H. Goix, 1995 ; C. Orange & D. Orange, 2004) : ainsi en est-il de la “ *pérennité* ” des objets ou des formes géologiques (roche ou relief par exemple) ; ou encore de la “ *transformation facile* ”, à la manière d'une métamorphose lorsqu'il s'agit d'évolution des espèces, ou d'un “ *bricolage ad hoc* ” de formations rocheuses lorsqu'il s'agit de mettre en jeu de la tectonique ;
- L' “ *inexpérience* ” géologique des élèves en regard de celle des chercheurs. Dans le cadre de nos recherches, nous avons étudié plusieurs problèmes géologiques (pétrologie, tectonique, origine de la vie, métamorphisme) et nous avons rencontré des chercheurs dont les travaux portent sur ces problèmes. Tous témoignent de la longue construction de leur culture géologique, dans un questionnement des propositions explicatives actuelles et anciennes, et dans une interaction terrain/laboratoire parfois tâtonnante. Cette “ *expérience* ” constitue un véritable “ *vivier* ” empirique et

théorique pour construire des problèmes géologiques complexes comme l'est celui des ophiolites.

Est-ce à dire qu'il est impossible pour les lycéens d'entrer dans de véritables problématiques géologiques ? Nous ne le pensons pas. Connaître leurs "résistances" et leurs "difficultés" aide à penser des dispositifs leur permettant de les travailler. Dans cette logique, nos recherches actuelles s'intéressent aux programmes d'enseignement des sciences de la Terre au collège et au lycée. Quelle(s) forme(s) d'actualisme mettent-ils en jeu ? N'y a-t-il pas une tendance à ne faire fonctionner les élèves que sur l'actualisme d'analogie, qu'ils utilisent sans trop de difficultés ? Nous poursuivons également des approfondissements épistémologiques et didactiques sur les problèmes, bien présents dans les programmes, de formation et de transformation des roches. C'est encore un moyen de questionner l'actualisme.

Bibliographie

- ELLENBERGER François, 1988, *Histoire de la géologie, Tome 1*, Paris, Technique et Documentation - Lavoisier.
- ELLENBERGER François, 1994, *Histoire de la géologie, Tome 2*, Paris, Technique et Documentation - Lavoisier.
- FABRE Michel et ORANGE Christian, 1997, "Construction des problèmes et franchissements d'obstacles", *ASTER*, 24, 28-38.
- GOHAU Gabriel, 1997, "Naissance de la méthode "actualiste" en géologie", In GOHAU Gabriel, (dir.), 1997, *De la géologie à son histoire*, CTHS, 139-149.
- GOHAU Gabriel, 1999, Article "Actualisme ou uniformitarisme", In LECOURT Dominique, (dir.), 1999, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, PUF.
- GOIX Hervé, 1995, "Vous avez dit "cristal" ? Je pense "verre" ", *ASTER*, 20, 105-137.
- GOULD Stephen Jay, 1991, *La vie est belle*, Paris, Seuil.
- HOOYKAAS R., 1970, *Continuité et discontinuité en géologie et biologie*, Paris, Seuil.
- LEVI-STRAUSS Claude, 1962, *La pensée sauvage*, Paris, Plon.
- MARTINAND Jean-Louis, 1992, "Présentation", *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*, INRP, Paris, 7-22.
- NICOLAS Adolphe, 1990, *Les montagnes sous la mer*, Orléans, B.R.G.M.
- ORANGE Christian, 1997, *Problèmes et modélisation en biologie*, Paris, PUF.
- ORANGE Christian, 2000, *Idées et raisons*, Mémoire de recherche pour l'H.D.R., Université de Nantes.
- ORANGE Christian, 2002, "Apprentissages scientifiques et problématisation", *Les Sciences de l'éducation - Pour l'ère nouvelle*, 35, 1, 25-42.
- ORANGE RAVACHOL Denise, 2003, *Utilisations du temps et explications en Sciences de la Terre par les élèves de lycée: étude dans quelques problèmes géologiques*, Thèse de Doctorat, Université de Nantes.
- ORANGE Christian et ORANGE Denise, 2004, "Les conceptions des élèves et leur mode de raisonnement en sciences de la Terre", *Géochronique*, 90, 29-32.

Annexe

Au premier abord, on remarque une couche de peridotite située au dessus de la couche de gabbro. Mais on voit que la lithosphère océanique est composée de la couche supérieure à la couche inférieure de Basalte, puis de gabbro et enfin de peridotite. Il y a donc ici une anomalie que l'on peut expliquer par une déformation de cet espace.



On peut tout d'abord penser à une rotation de la moitié de l'ouest vers l'est, un basculement, comme sur le schéma précédent.



On peut imaginer que le gabbro situé à droite de la faille est couché à cause de la forme du milieu. *

* ce qui arrive à la faille.



Les acides et les bases : de la perception commune aux modèles scientifiques chez les élèves tunisiens

OUERTATANI Latifa, doctorante, AYADI TRABELSI Malika, Professeur, Institut Supérieur de l'Education et de la Formation Continue, Université de Tunis, Tunisie

DUMON Alain, Professeur, IUFM d'Aquitaine, DAEST, Université Bordeaux 2, France

SOUDANI Mohamed, Maître de conférences, IUFM de Lyon, LIRDHIST, Université Claude Bernard, Lyon 1, France

Introduction

La notion d'acidité fait partie du langage de tous les jours. A l'idée de mordre un citron, on éprouve une sensation d'acidité. Mais, la perception commune entend l'usage des sens de manière purement passive, alors que la perception scientifique englobe la première et implique une activité mentale de lecture et de représentation modélisante des phénomènes "perçus". Les élèves Tunisiens, du secondaire à l'université, vont devoir progressivement abandonner leurs perceptions communes et s'approprier différents modèles : le modèle d'Arrhenius en deuxième année de l'enseignement secondaire, le modèle de Bronsted en quatrième année, le modèle de Lewis en première année d'université. Pour Martinand (1992), les processus de modélisation sont des aller - retour entre deux registres différents : le référent empirique (ce dont parlent les concepts, modèles ou théories) constitué d'objets du réel et de phénomènes, mais aussi de pratiques sur ces objets et ces phénomènes, et ce qui relève des outils qui permettent de se construire une représentation des objets et des phénomènes sensibles, le registre des théories et des modèles. Dans ce travail, nous nous proposons d'analyser l'évolution des connaissances des élèves relatives aux acides et aux bases suite à l'enseignement reçu en deuxième année de l'enseignement secondaire : à quel(s) registre(s) se réfèrent les élèves ? sont-ils capables de circuler entre les deux registres ?

Position du problème

Résultats des travaux antérieurs et hypothèses de recherche

Plusieurs travaux en didactique de la chimie ont eu pour objet l'étude des conceptions des élèves et des étudiants à propos des concepts d'acide et de base. Dans le registre empirique, les travaux de Cissé (1988), Hand et Treagust (1988) et Ross et Munby (1991) ont mis en évidence que pour de nombreux élèves les acides sont caractérisés par leurs propriétés organoleptiques ou par leur force et leur danger. Hand et Treagust (1988) ont constaté que les élèves ont peu d'idées sur les bases. Cette constatation est confirmée par Ross et Munby (1991) et par l'étude de Cross et *al.* (1986) qui relèvent que les étudiants donnent facilement plusieurs exemples d'acide mais que seulement 43% arrivent à donner le nom de deux bases. Cette mauvaise perception du concept de base est interprétée par le fait que les élèves ont peu d'expériences personnelles de ce qu'est une base, terme peu employé dans le langage quotidien. Dans le registre des modèles, les études de Ross et Munby (1991), Garnett et *al.* (1995) et Oversby et Spear (1997) montrent que les élèves ont des difficultés avec la notion de pH. Nous faisons l'hypothèse que, en raison de l'omniprésence du concept d'acide et de l'absence de celui de base dans le langage courant, l'effet de l'enseignement se fera davantage sentir en ce qui concerne la notion d'acide et que son effet sur la connaissance de ces concepts sera de courte durée.

Méthodologie

Dans le but d'identifier les conceptions initiales des élèves entrant en seconde année, il a été demandé à 75 élèves de deux classes d'un même lycée de dire si un certain nombre de substances de la vie quotidienne étaient acides, en justifiant leur proposition. La liste des substances proposée résulte des réponses données par les élèves de deux échantillons tests à une interview et un questionnaire demandant à des élèves de citer de telles substances. Afin d'analyser l'évolution de leurs conceptions suite à l'enseignement reçu, un deuxième questionnaire a été administré, après enseignement du modèle d'Arrhenius, à ces 75 élèves ainsi qu'à 40 élèves de 3^{ème} année (section : sciences expérimentales). Les deux niveaux choisis doivent nous éclairer sur l'évolution des systèmes explicatifs. Le questionnaire est composé de questions ouvertes, à association de mots, à choix multiples. Les réponses apportées par les élèves sont regroupées en différentes catégories ad hoc suivant les questions et les pourcentages de réponses par catégories sont calculés (lorsque 2 nombres se suivent accompagnés de %, ils correspondent aux pourcentages respectifs d'élèves de deuxième et de troisième année).

Résultats et discussions

Caractérisation des acides et des bases

Avant enseignement, les justifications apportées par tous les élèves pour justifier le caractère acide (ou non) des substances de la vie courante font uniquement référence au registre des phénomènes :

- Référence au lien propriété/réactivité : une substance concentrée, qui est dangereuse, très réactive (forte), qui attaque la peau et les salétés est un acide (eau de javel, alcool, liquide de batterie : > 70%). Une substance qui n'est pas dangereuse, qui n'est pas concentrée et que l'on peut ingérer ne l'est pas (lait, sang, sucre, sel de cuisine : entre 70 et 95%)
- Référence aux propriétés organoleptiques : une substance piquante dans la bouche, qui est "amère", qui irrite les yeux est un acide (jus d'orange, vinaigre, vitamine C : > 65%).
- Référence à l'effervescence : une substance qui produit un dégagement gazeux est un acide (aspirine, coca cola : 65%).

On retrouve donc les conceptions déjà mises en évidence dans les recherches d'autres auteurs

Après enseignement, lorsqu'il est demandé aux élèves « Citez tous les mots qui vous viennent à l'esprit quand on vous dit "acide" ou "base" », on observe que :

- les élèves de deuxième et troisième année sont plus démunis face au concept de base qu'à celui d'acide : moins de mots cités (respectivement 120 et 75 pour acide ; 87 et 47 pour base), plus de non-réponse (6 et 8% pour acide ; 15 et 26% pour base) ;
- sous l'influence de l'enseignement, le modèle d'Arrhenius supplante l'aspect perceptif et les exemples de la vie quotidienne dans l'esprit des élèves. Certes, seuls quelques élèves de deuxième année répondent en donnant le modèle complet, mais de nombreux élèves des deux niveaux font figurer dans leur réponse des objets ou phénomènes du registre du modèle (ions en solution, pH, ionisation, fort/faible). On notera que les élèves de deuxième année retiennent de préférence les éléments de la définition (les ions en solution) caractérisant le caractère acide ou basique d'une solution alors que ceux de troisième année se réfèrent le plus souvent à la mesure de cette acidité : le pH ;
- les références appartenant au registre du modèle sont plus fréquentes dans les réponses des élèves au mot inducteur base (59 et 55%) qu'à celui d'acide (41 et 37%) et que, parallèlement, le registre empirique, en particulier les exemples de produits de laboratoire ou de la vie courante (42 et 44% pour acide, 19 et 31% pour base), est moins mobilisé.

Définition d'un acide ou d'une base

Afin de déterminer leur niveau d'intégration du registre du modèle, la question suivante a été posée :
« Une espèce chimique est dite acide (ou base) s'il s'agit d'un : accepteur d'ions hydrogène, donneur d'électrons, accepteur d'électrons, donneur d'ions hydrogène, accepteur d'ions hydroxyde, donneur d'ions hydroxyde »

- Concept d'acide

Pour environ 50% des élèves des deux classes, un acide est un donneur d'ions hydrogène. On peut y ajouter les 8 à 10% d'élèves qui ont choisi accepteur de OH^- , réponse qui peut être considérée comme acceptable dans le modèle d'Arrhenius puisque la réaction d'un acide sur une base est schématisée par l'équation : $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$. Cela veut dire que seulement 60% environ des élèves ont retenu la définition qui leur a été donnée. Les réponses accepteur de H^+ (plus fréquentes en deuxième qu'en troisième année : de l'ordre de 20%) et donneur de OH^- traduisent une méconnaissance du modèle. Quant à la réponse " accepteur d'électrons " (22% en deuxième année), alors que le modèle de Lewis n'a pas été objet d'enseignement, est-elle due au hasard ou peut-on l'expliquer par l'enseignement reçu relatif à la structure de la matière ? l'ion H^+ est déficitaire en électron, il en accepte un de l'ion OH^- lors de la formation de la molécule d'eau. Difficile de conclure !

- Concept de base

En ce qui concerne les bases, si les élèves de deuxième année ont bien retenu que c'est une espèce susceptible de donner des ions OH^- (60%) ou d'accepter des ions H^+ (12%) : cf. explication ci dessus), ils ne sont plus que (26 + 11%) à donner une réponse acceptable en troisième année. Cela confirme que le concept de base est bien moins maîtrisé que celui d'acide et que l'acquisition des connaissances n'est que transitoire : lorsque les concepts ne sont plus objet d'enseignement (les acides carboxyliques sont introduits en troisième année, les bases ne sont pas revues) certains élèves ont tendance à les oublier. La réponse " donneur d'électrons " est très faible pour les deux classes : les ions OH^- n'auraient donc pas le même statut que les ions H^+ ?

Lien registre empirique/registre du modèle

La question destinée à évaluer cette mise en relation est la suivante : "Comment peut-on augmenter (baisser) l'acidité (la basicité) d'une solution ? "

On constate que le taux de réponses des élèves de troisième année est nettement inférieur à celui des élèves de deuxième année. On peut en conclure que pour environ 41% de ces élèves les notions d'acidité et de basicité sont loin d'être acquises. Elles deviennent floues lorsqu'elles ne sont plus objet d'enseignement.

Les réponses possibles à cette question nécessitent de mettre en relation le registre du modèle et le registre empirique. Aucune des réponses des élèves des deux classes ne fait explicitement apparaître cette relation. Les élèves donnent une explication dans un seul registre.

Dans le registre des modèles le lien est établi entre la quantité d'ions H^+ (ou OH^-) et l'acidité (ou la basicité), dans un seul cas avec la concentration, et de façon plus importante pour augmenter l'acidité (33 et 31%) (la basicité ; 37 et 41%) que pour la diminuer (21 et 25% pour l'acidité ; 22 et 30% pour la basicité). La réduction de l'acidité (la basicité) par réaction avec l'ion antagoniste du modèle, n'apparaît que pour un nombre limité d'élèves des deux classes (6 et 15%). Quelques réponses, en faibles pourcentages, établissent un lien entre l'acidité (la basicité) et le pH.

Le registre empirique est pris plus fortement en compte par les élèves de deuxième année que par ceux de troisième année, ils ont certainement un meilleur souvenir des expériences réalisées en classe. Pour augmenter l'acidité (la basicité) c'est l'ajout d'une solution acide (31 et 7%) (basique ; 37 et 29%) qui est envisagé en premier dans ce registre. Mais quelles doivent être les caractéristiques des solutions ajoutées pour que ce soit le cas ? Pour deux élèves de deuxième année cette solution doit être " riche en ions H^+ " et trois élèves de troisième année précisent que l'acide (ou la base) doit être fort(e), sans faire référence à leur concentration par rapport à la

concentration initiale. On peut en conclure que pour la grande majorité des élèves ayant donné cette catégorie de réponse la relation entre l'acidité et la concentration en ions H^+ est loin d'être correctement établie. Pour diminuer l'acidité (la basicité), c'est l'ajout d'eau (très peu d'élèves utilisent le terme de dilution) qui est choisi (respectivement 44 et 15% pour l'acidité et 60 et 15% pour la basicité). On peut raisonnablement faire l'hypothèse que les élèves ayant donné cette catégorie de réponse ont établi une relation implicite entre l'acidité (la basicité) et la concentration. La diminution de l'acidité (la basicité) par réaction avec une substance antagoniste est ici aussi envisagée par un faible nombre d'élèves. Il semble que dans l'esprit des élèves le concept d'acide soit indépendant de celui de base.

Conclusion

Au début de la classe de deuxième année, les élèves font uniquement référence aux perceptions communes pour justifier le caractère acide d'une solution. Après enseignement, on constate que les connaissances des élèves ont subi une mutation, le modèle d'Arrhenius supprime l'aspect perceptif. L'évolution des connaissances suite à l'enseignement du modèle d'Arrhenius fait apparaître que si environ 2/3 des élèves des deux années retiennent la définition d'un acide qui en découle, ils ne sont plus qu'un tiers en troisième année à retenir celle d'une base. En ce qui concerne les objets du modèle qui ont leur préférence, ce sont les ions en solution pour les élèves de deuxième année et le pH pour ceux de troisième année. Mais ces connaissances ne sont que déclaratives ! Les élèves ont du mal à établir le lien entre le registre des modèles et celui des phénomènes et le pH ne semble pas être lié de façon solide avec le degré d'acidité d'une solution. Enfin on peut conclure que :

- Le concept de base est moins maîtrisé que celui d'acide ;
- L'acquisition des connaissances semble transitoire pour certains élèves.
- Les élèves se contentent de raisonner dans un seul registre.

Bibliographie

CISSE Zeini, 1998, *Connaissances scolaires et compétences professionnelles : le cas des acides et des bases en agriculture*, Diplôme d'Etudes Approfondies de didactique des disciplines scientifiques, Université Claude Bernard Lyon 1.

CROS Danièle, MAURIN Maurice, AMOUROUX Roger, CHASTRETTE Maurice, LEBER Jacques and FAYOL Michel, 1986, "Conceptions of first year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases", *European Journal of Science Education*, vol.8, n°3, pp.305-313.

GARNETT Patrick, GARNETT Pamela et HACKLING Mark, 1995, "Students' alternative conceptions in chemistry: a review of research and implications for teaching and learning", *Studies in Science Education*, n°25, pp. 69-95.

HAND Brian and TREAGUST David, 1988, "Application of a conceptual conflict teaching strategy to enhance student learning of acids and bases", *Research in Science Education*, n°18, pp. 53-63.

MARTINAND Jean-Louis, 1992, *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*, INRP/LIREST, Paris.

OVERSBY John and SPEAR Margaret, September 1997, "Progression in understandings of pH at secondary school : a study of a whole school", in proceeding of the *4th European Conference on Research In Chemical Education*, Education Division, University of York, United Kingdom, pp.9-12.

ROSS Bertram and MUNBY Hugh, 1991, "Concept mapping and misconceptions: a study of high-school students understanding of acids and bases", *International Journal of Science Education*, vol.13, n°1, pp.11-23.

Influence de la nature du texte d'un film sur son utilisation par un apprenant

PEKDAĞ Bülent, Doctorant, UMR ICAR (CNRS, ENS LSH Lyon, ENS Lyon, INRP, université Lyon 2), groupe COAST, Lyon, France

LE MARÉCHAL Jean-François, Maître de conférence, UMR ICAR (CNRS, ENS LSH Lyon, ENS Lyon, INRP, université Lyon 2), groupe COAST, Lyon, France

Contexte de la recherche

L'élaboration et l'utilisation des films scientifiques ont été peu étudiées du point de vue didactique bien que leur apparition dans l'enseignement ait été rapportée depuis plus de 50 ans (Depover, Giardina et Marton, 1998). L'importance de montrer des films de chimie à des élèves peut être facilement comprise : coût et difficultés de réaliser certaines expériences en présence des élèves, faible visibilité, etc., mais on est en droit de se poser la question de l'utilisation cognitive de ce qui est donné à voir et à entendre, et de l'articulation entre ces deux modes de communication (Mayer, 2003).

Plusieurs auteurs ont mentionné que les films facilitent les apprentissages parce qu'ils possèdent une fonction psychologique de motivation et un pouvoir de conviction important en permettant de visualiser des phénomènes imperceptibles. Les films améliorent également la mémorisation et la compréhension en permettant de voir en même temps ce qui est expliqué et le phénomène qui nécessite l'explication (Duchastel, Fleury et Provost, 1988 ; Peraya, 1993 ; Quintana-Robles, 1997). Martins (1990) a signalé que, grâce à l'utilisation du film, on peut provoquer l'activation de l'attention de l'apprenant, la facilitation de sa compréhension conceptuelle, sa sensibilisation au domaine étudié et son implication plus intense. Robles (1997) considère qu'il semble intéressant d'utiliser le film comme outil dans le processus d'enseignement-apprentissage, vue la capacité de mobilisation perceptive, affective et motivationnelle reconnue au langage audiovisuel. Il pense que les films peuvent être employés en fonction de la matière à enseigner, mais aussi en tenant compte des caractéristiques du support utilisé par rapport aux objectifs pédagogiques fixés. Le film est considéré par Astolfi (1989) comme une aide pédagogique, dans la mesure où il se réfère à un apprentissage conceptuel particulier. Pour Jacquinet (1977), un film à "*intention didactique*" a une structure signifiante propre qui repose sur (i) la relation entre le message filmique et le monde qu'il représente, (ii) un discours centré sur le destinataire, (iii) la codification de l'agencement des images et (iv) l'articulation des rapports entre la bande image et la bande son. Elle considère que le film favorise chez l'élève une auto-construction du savoir en jeu. Aumont et Marie (1988) pensent qu'il n'existe pas de méthode universelle pour analyser des films et que l'analyse de films est interminable.

Du côté de l'innovation, l'utilisation de vidéo de chimie a été rapportée dans différentes conditions. Goedhart et al. (1998) ont constaté une meilleure perception de la relation entre la théorie et la pratique dans le cas de l'apprentissage de la distillation. Laroche, Wulfsberg et Young (2003) ont remplacé certaines expériences de chimie par leur vidéo pour réaliser des activités de groupes.

Nous avons choisi de nous pencher sur la question de l'enseignement des acides et des bases au niveau des classes scientifiques du lycée. Nous avons déjà montré comment il était possible d'élaborer un hypermédia permettant d'articuler une banque de films de chimie (Pekdağ et Le Maréchal, 2003a). Nous présentons ici des résultats de l'influence du texte d'un film sur l'utilisation par un apprenant des connaissances mises en jeu.

Cadre théorique

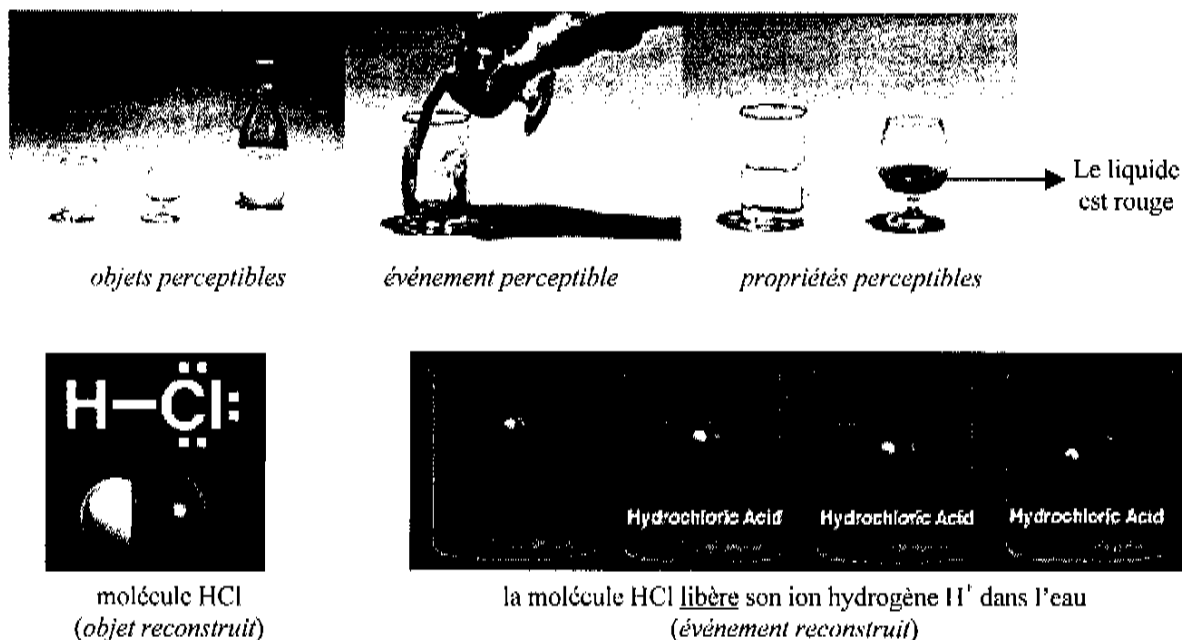
Nous faisons l'hypothèse que le fonctionnement cognitif d'un apprenant regardant un film est influencé par la façon dont les connaissances sont représentées dans le film (registres sémiotiques) et par leur nature. Ces deux paramètres sont précisés ci-dessous.

Représentations en chimie

Les représentations symboliques jouent un rôle fondamental en chimie comme l'a mentionné Kozma et al. (2000, p.106) : *"les chimistes utilisent les représentations pour comprendre et manipuler les molécules parce que les molécules et leurs propriétés ne sont pas disponibles à la perception directe"*. Nous allons prendre en compte cette dimension que nous utiliserons ici, pour l'analyse des films, avec un point de vue proche de Duval (1995). Ce dernier a montré l'importance de considérer divers registres sémiotiques tels que : *le langage naturel, les représentations symboliques, les représentations iconiques, les tableaux*. Dans notre travail, ces différents registres ont été utilisés pour représenter les connaissances mises en jeu dans les films.

Catégorisation des connaissances

Une approche constructiviste largement partagée sur l'apprentissage d'un concept en physique ou en chimie formule l'hypothèse que les élèves apprennent lors d'une activité de modélisation, c'est-à-dire s'ils mettent en relation différents types de connaissances (Tiberghien, 1994). En chimie, il est approprié de distinguer les objets, les événements et les propriétés du monde perceptible séparément de ceux du monde reconstruit, constitué par exemple d'objets, tels que les atomes et les molécules, mis en jeu dans des événements tels que les réactions chimiques... (Pekdağ et Le Maréchal, 2003b). Les images ci-dessous l'illustrent sur des exemples.



Cette dernière animation montre que la molécule HCl a la faculté de libérer un ion H^+ en solution aqueuse : c'est une propriété de l'objet reconstruit HCl.

Nous considérons qu'une des principales difficultés des élèves en chimie se situe dans l'articulation entre les connaissances perceptibles et reconstruites (Pekdağ et Le Maréchal, 2001). Lors de l'élaboration de nos films, nous avons cherché à établir des relations entre ces catégories de connaissances.

Question de recherche

La nature perceptible ou reconstruite des informations présentes dans le commentaire d'un film de chimie influence-t-elle l'utilisation par des élèves des connaissances qu'il contient ?

En effet de nombreux auteurs ont décrit l'intérêt de l'utilisation des films pour la mémorisation (Duchastel, Fleury et Provost, 1988 ; Peraya, 1993 ; Quintana-Robles, 1997). Nous souhaitons préciser, en répondant à cette question de recherche, la relation entre le texte et l'image du film d'une part et le caractère perceptible ou reconstruit des connaissances mises en jeu d'autre part.

Méthodologie

Méthode de prise de données

Des élèves¹ de Première scientifique (16-17 ans) ont été mis par binôme devant un hypermédia pour regarder de courts films (1 à 3 min) de chimie qu'ils avaient à choisir au sein d'une banque en contenant 34. Le choix des films a été laissé aux élèves en accord avec le fait que le rythme d'observation du film doit être contrôlé par ceux qui observent (Astolfi, 1989). Une série de questions² les incitaient à regarder certains films pour en retirer des informations nécessaires à leurs réponses. Les binômes d'élèves ont été filmés et leurs productions écrites ont été ramassées. À partir des enregistrements vidéos, leurs dialogues ont été transcrits et leurs actions sur l'ordinateur ont été identifiées. Ces productions ont été exploitées pour comprendre la façon dont les élèves utilisent les informations scientifiques contenues dans les films.

Les films avaient été élaborés en deux temps : (i) création des images, (ii) incorporation d'un texte. Dans plusieurs cas, deux textes ont été rédigés pour le même film, l'un mettant en jeu un maximum de connaissances reconstruites (films R), l'autre un maximum de connaissances perceptibles (films P). Il en a résulté la production de deux hypermédiats, contenant chacun 34 films, 8 communs, et 26 P ou R. Trois binômes d'élèves ont utilisé l'hypermédia R et trois autres le P.

Méthode d'analyse

Les connaissances mises en jeu dans chaque film (texte et image) ont été représentées par des graphes (**Fig.1 à 4**) obtenus à l'aide d'un tableur : les petits ronds représentent celles qui proviennent du texte et le trait continu celles qui proviennent de l'image. Leur utilisation par les élèves est indiquée par un noircissement du rond ou un épaississement du trait. Ces graphes ordonnent les connaissances mises en jeu dans un film regardé par les élèves de gauche à droite suivant l'évolution temporel du film et de haut en bas avec une ligne pour les connaissances théoriques utilisées dans le texte du film (ligne T/ct : ex. couple acide/base), une pour les connaissances reconstruites (ligne T/cr : ex. molécule), une pour les connaissances perceptibles (ligne T/cp : ex. solution bleue), une pour les connaissances sémiotiques (ligne T/cs : ex. équation chimique) et une pour l'image du film (ligne I). Par raison de clarté, la correspondance entre les informations d'un tel graphe et la liste des connaissances mises en jeu est reportée dans un tableau (non fourni ici).

Un tel graphe a été réalisé pour chaque utilisation d'un film par un binôme. Il met en évidence la nature (théorique, perceptible, etc.) des connaissances reprises par les élèves dans un film et la simultanéité de l'utilisation des connaissances issues du texte et de l'image. Il permet de comparer les différentes utilisations des films, qualitativement pour l'image et quantitativement pour le texte.

¹ Tous les prénoms utilisés ici sont des pseudonymes.

² Voir des exemples de questions dans la partie résultats

Résultats

Peu de films ont été vus dans leur version P et leur version R à cause de la liberté de choix laissée aux élèves. Cela a cependant permis de dégager quelques idées spécifiques à ces films pour lesquelles notre généralisation relève d'hypothèses de travail plus que de résultats. En revanche, les informations récoltées sur l'ensemble des productions des 12 élèves ont été regroupées et ont quelques valeurs générales puisque 10 des 26 films pour lesquelles deux versions existent ont été regardés au moins une fois (et souvent beaucoup plus).

Résultats qualitatifs

Le film *Effet de l'addition d'un acide sur le pH* regardé dans sa version P ou R suivant les binômes, montre l'addition d'acide chlorhydrique, dans un ballon, à une solution d'hydrogénocarbonate de sodium en présence de bleu de bromothymol. Il se produit un changement de couleur progressif et un dégagement de dioxyde de carbone. Ce gaz est entraîné dans un bécher contenant une solution d'hydroxyde de sodium dont on suit l'évolution du pH. Il s'agit donc d'une expérience ancrée sur la chimie de laboratoire dont l'analyse des connaissances est représentée **Fig.1**.

Pour répondre à la question « combien de réactions chimiques permettent d'expliquer ce qui se passe dans le ballon de gauche ? », les élèves utilisent des informations verbales et visuelles du film qui ont été représentées **Fig.1 à 4**.

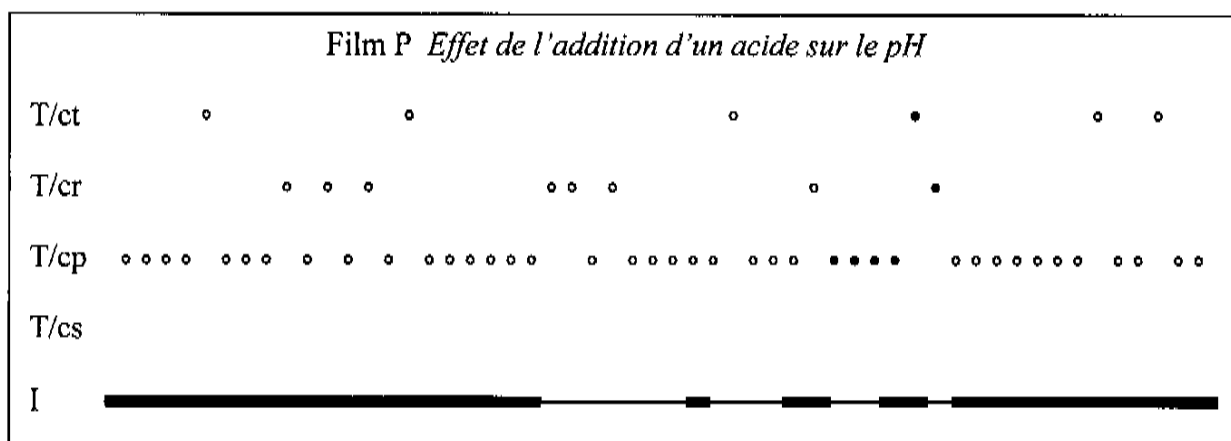


Fig.1 – Représentation des connaissances mises en jeu dans le film (version P) et de celles utilisées par Annie et Margot

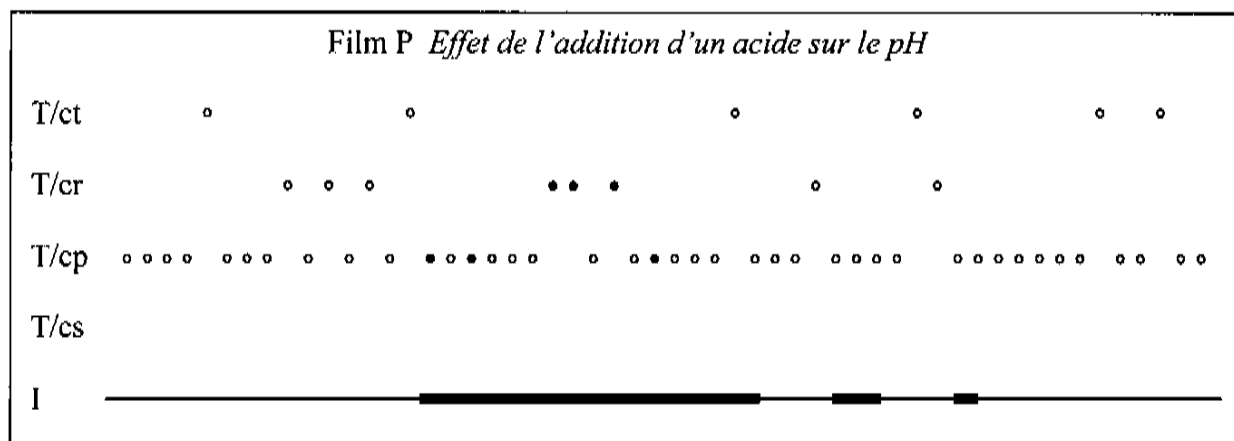


Fig.2 – Représentation des connaissances mises en jeu dans le film (version P) et de celles utilisées par Marie et Barthélemy

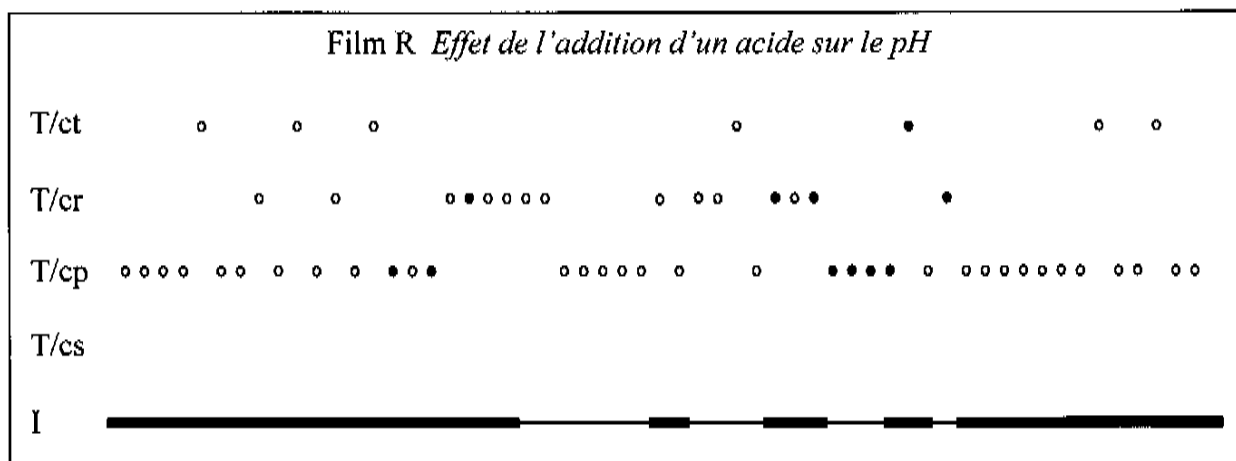


Fig.3 – Représentation des connaissances mises en jeu dans le film (version R) et de celles utilisées par Elise et Florence

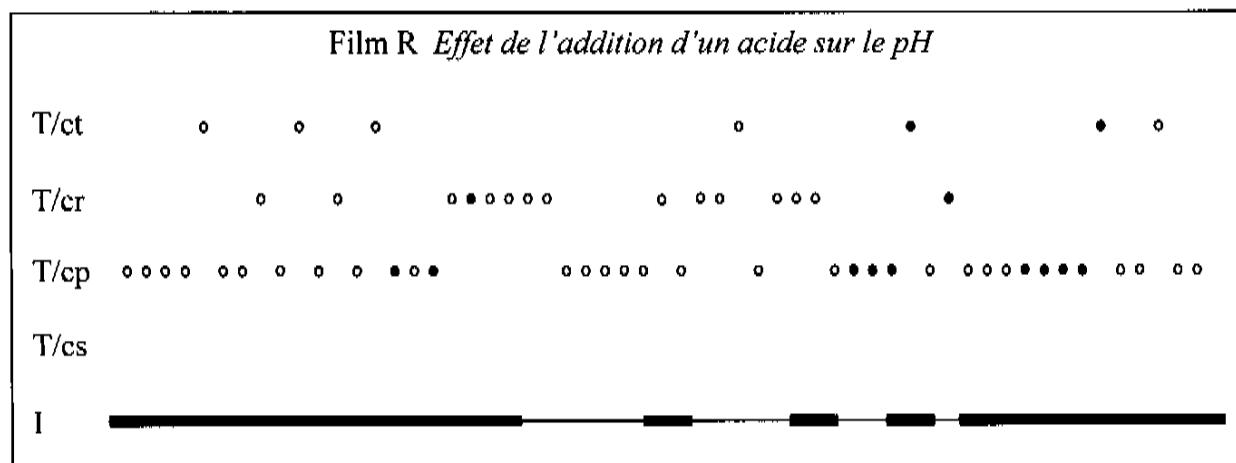


Fig.4 – Représentation des connaissances mises en jeu dans le film (version R) et de celles utilisées par Pascal et Ahlem

La comparaison entre les Fig.1 et 3 illustre la différence entre un film P et un film R, indépendamment de son utilisation. Dans ce dernier, la ligne T/cr des connaissances reconstruites est un peu plus dense que dans sa version P et, en contrepartie, la ligne T/cp des connaissances perceptibles l'est un peu moins.

On constate (Fig.1 et 2) que les élèves utilisent de façon différente le texte et l'image dans le cas de la version P de ce film. En revanche, ils utilisent (Fig. 3 et 4) de façon semblable le texte et l'image dans le cas de sa version R. Cela peut être interprété comme une plus grande liberté prise par les élèves quand les connaissances relèvent d'informations perceptibles, alors que l'on peut penser que, dès que la théorie est mise en jeu, ils préfèrent s'en tenir à ce que le film explique.

Nous avons trouvé des résultats différents pour le film *Acide corrosif* pour lequel nous avons également recueilli de nombreuses informations. On y voit le caractère corrosif de l'acide sulfurique illustré par l'attaque d'une feuille de papier. Le même type d'analyse montre que l'utilisation des images a quelques points communs pour les films P d'une part, et R d'autre part. En revanche, les informations du texte P ne sont pas utilisées, ou presque, et celles du texte R le sont pratiquement de la même façon. Parmi les différents paramètres permettant d'expliquer cette différence, il y a le film lui-même et la question posée aux élèves à son sujet. Ce film ne montre qu'une seule réaction chimique (et non plusieurs comme pour le film *Effet de l'addition d'un acide sur le pH*) qui met en jeu un objet de la vie quotidienne (le papier). L'implication dans la tâche du film était également différente puisqu'il était posé ici la question

« que veut dire "corrosif" pour vous ? », terme appartenant également au langage de la vie quotidienne.

Résultats quantitatifs

Nous avons aussi cherché à quantifier l'influence de l'utilisation de films P et R sur les connaissances utilisées par les élèves pour répondre à des questions. Par exemple, pour répondre à la question « On ajoute de l'acide chlorhydrique à la solution obtenue. Expliquer pourquoi elle possède alors une odeur de vinaigre ? », un binôme a utilisé deux films R dont les textes et les images sont donnés tableau 1, en regard de leur réponse. On constate que certaines informations perceptibles (on ajoute à une solution) et reconstruites (le pH de la solution diminue³) des films ont été réutilisées. Pour un cas particulier comme cet exemple, il ne semble pas possible de dire qu'après avoir vu un film R, l'élève utilise ou non des informations de même nature. En revanche, l'étude d'un grand nombre de réponses⁴, appuyées sur de nombreux films P et R (**Fig. 5**), montre que les films P, plus descriptifs, entraînent un discours de même nature. Parallèlement, les textes d'accompagnement des films R, qui utilisent plus le vocabulaire de la chimie (molécule, ion, réaction chimique, etc.), influencent également le spectateur qui, à son tour, utilise les notions évoquées pendant le film. Ces informations montrent la relation entre une phase d'enseignement (voir un film) et ce que l'élève est capable d'utiliser, et qui traduit l'apprentissage. Présenter des informations reconstruites à des élèves, grâce à un film, apparaît donc, à la lumière de nos résultats, comme un moyen de produire une construction de connaissances chez l'élève.

De plus, la répartition des connaissances (**Fig.5**) montre que l'image est proportionnellement plus utilisée dans les films P que dans leur version R. Cela est en relation avec une partie des résultats qualitatifs précédemment exposés. Par exemple, la **Fig.2** montre que moins de connaissances relatives aux images d'un film P sont utilisées que dans la **Fig.3** (film R). Cependant, rapportées à la totalité des connaissances empruntées au film, l'image a un poids plus lourd dans la réutilisation des connaissances dans le cas d'un film P.

Discussion et conclusion

Ce dernier résultat est important pour la création et l'utilisation des films scientifiques dont la production est souvent contrainte par la réalisation des images à cause de contingences matérielles. En revanche, une plus grande liberté apparaît pour l'écriture du texte d'accompagnement. Celui-ci peut décrire ce qui est vu, mettant en mot les images : « la solution bleue devient jaune », ou en décrire une reconstruction : « l'indicateur coloré change de forme ». Par ailleurs, on ne peut pas toujours utiliser les deux styles parce que le rythme des images fixe la longueur du texte d'accompagnement, imposant souvent de faire un choix. Il se peut aussi que le public pour lequel le film a été créé ne soit pas en mesure de s'intéresser indifféremment à un style ou à l'autre.

Nos résultats montrent que suivant le caractère perceptible ou reconstruit du texte d'accompagnement, les films scientifiques n'ont pas le même impact sur l'usage qui est fait des images par les spectateurs comme en atteste la nature des connaissances qui sont réutilisées dans des conditions très voisines. Le texte d'un film plutôt reconstruit, plus difficile à comprendre par les termes mis en jeu, met le spectateur dans un contexte de réutilisation plus scientifique. Le coût cognitif qu'il investit pour comprendre le film est rentabilisé par une possibilité de réutiliser les connaissances reconstruites.

³ Cette information est reconstruite car il s'agit du pH de la solution qui se trouve dans le ballon, et qu'il n'y a pas de pH mètre pour l'indiquer, ce dernier mesurant l'acidité de la solution du bécher.

⁴ 10 films ont été visionnés au moins une fois par 12 élèves. Des films P ont été vu 22 fois et des films R 28 fois.

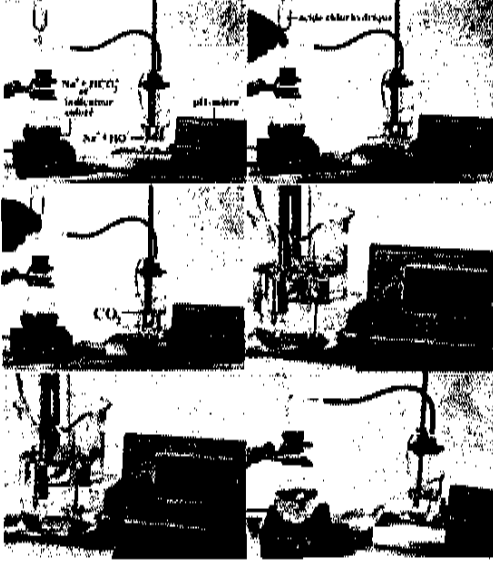
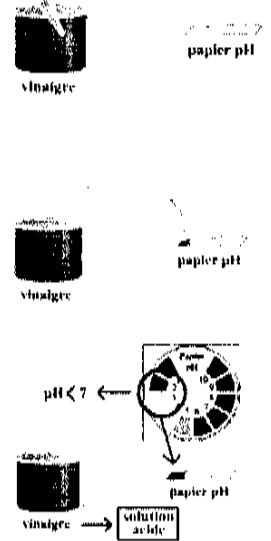
Elise et Florence		
Réponse écrite	Texte (R) et Image	Texte (R) et Image
$\text{HCl}_{(aq)} = \text{H}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$ pH 2 < vinaigre < pH 3 ⇒ acide Quand on ajoute à une solution basique un acide, le pH de la solution diminue. On suppose ici qu'on mette une importante quantité d'acide chlorhydrique. Ainsi, notre solution qui était basique va devenir acide. D'après le film sur le pH du vinaigre : le vinaigre est acide. C'est cette acidité qui va donner l'odeur du vinaigre à la solution.	... L'addition d'un acide a donc provoqué la diminution du pH de la solution contenue dans le bécher et celui de la solution du ballon. 	Pour montrer que le vinaigre est acide, on peut déterminer la concentration des ions H^+ présents dans le vinaigre ... Dans le cas du vinaigre, on trouve une valeur comprise entre pH 2 et pH 3 ... On peut donc dire que le vinaigre est une solution acide. 

Tableau 1 – Analyse de la réponse écrite des élèves Elise et Florence à partir des films regardés

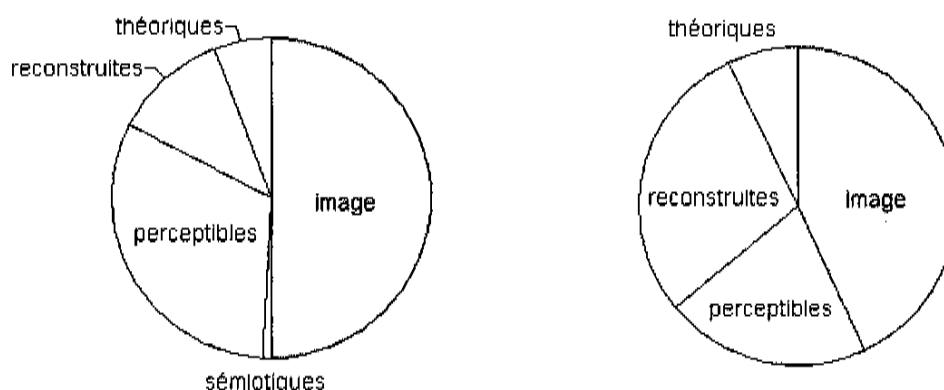


Fig.5 – Types de connaissances que les élèves ont repris dans les films P (à gauche) et R (à droite).
100% correspond à la réutilisation de 120 connaissances
dans le diagramme de gauche et de 181 dans le diagramme de droite

Bibliographie

- ASTOLFI Jean-Pierre, 1989, "Quel(s) sens pour aides didactiques ?", in André GIORDAN, Jean-Louis MARTINAND et Christian SOUCHON (éds.), *Les aides didactiques pour la culture et la formation scientifique et technique*, Actes des 11^{es} Journées Internationales sur l'Education Scientifique, Actes JES XI (Chamonix, 1989). Paris, UER de Didactique, Université Paris 7.
- AUMONT Jacques et MARIE Michel, 1988, *L'analyse des films*, Paris, Nathan

- DEPOVER Christian, GIARDINA Max et MARTON Philippe, 1998, *Les environnements d'apprentissage multimédia : analyse et conception*. Paris, L'Harmattan.
- DUCHASTEL Philippe, FLEURY Maurice et PROVOST Guy, 1988, "Rôles cognitifs de l'image dans l'apprentissage scolaire", *Bulletin de Psychologie*, tome 41, n°386, pp.667-671.
- DUVAL Raymond, 1995, *Sémiosis et pensée humaine: registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*, Bern, Peter Lang.
- GOEDHART Martin, van KEULEN Hanno, MULDER Theo, VERDONK Adri et de VOS Wobbe, 1998, "Teaching distillation knowledge: a video film bridging a gap between theory and practice", *Journal of Chemical Education*, vol.75, n°3, pp.378-381.
- JACQUINOT Geneviève, 1977, *Image et pédagogie. Analyse sémiologique du film à intention didactique*. Paris, PUF
- KOZMA Robert, CHIN Elaine, RUSSELL Joel et MARX Nancy, 2000, "The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning", *The Journal of the Learning Sciences*, vol.9, n° 2, pp.105-143.
- LAROCHE Lyubov Hoffman, WULFSBERG Gary et YOUNG Barbara, 2003, "Discovery videos: a safe, tested, time-efficient way to incorporate discovery-laboratory experiments into the classroom", *Journal of Chemical Education*, vol.80, n°8, pp.962-966.
- MARTINS DA SILVA ROSADO Eliana, 1990, *Communication médiatisée et processus d'évolution des représentations. Etude de cas : la représentation de l'informatique*, Thèse de Doctorat, Université Lumière Lyon 2.
- MAYER Richard, 2003, "The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media", *Learning and Instruction*, vol.13, n°2, pp.125-139.
- PEKDAĞ Bülent et LE MARÉCHAL Jean-François, 2001, "Apprentissage comparé de la notion de réaction chimique en TP ou à l'aide d'une vidéo : rôle des observations faites par les élèves", 2^{èmes} Rencontres Scientifiques de l'ARDIST, *Actualité de la recherche en didactique des sciences expérimentales et des techniques* (Carry-le-Rouet, 17-20 octobre 2001), SKHOLÉ, pp.129-141.
- PEKDAĞ Bülent et LE MARÉCHAL Jean-François, 2003a, "Hyperfilm : un outil de recherche en didactique de la chimie", in Cyrille DESMOULINS, Pascal MARQUET et Denis BOUHINEAU (éds.), *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, Actes de la conférence EIAH 2003 (Strasbourg, 15-17 avril 2003), ATIEF, INRP, pp. 547-550.
- PEKDAĞ Bülent et LE MARÉCHAL Jean-François, 2003b, "Influence of the relations between picture and text of chemical education films on conceptual change", in Dušan KRNEL (ed.), *Proceedings of the Sixth ESERA Summerschool* (Radovljica, Slovenia, 25-31 août 2002), Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of Education, pp.204-211.
- PERAYA Daniel, 1993, "L'audiovisuel à l'école: voyage à travers les usages", *Français 2000*, Bulletin de la Société belge des professeurs de français, pp.138-139.
- QUINTANA-ROBLES Miriam, 1997, *Etude didactique de films comme aide pour l'enseignement de la physique. Cas de l'expansion des gaz*, Thèse de doctorat Université Claude Bernard Lyon I.
- ROBLES Alfredo, 1997, *La vidéo comme support didactique en physique*, Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon I.
- TIBERGHIEEN Andrée, 1994, "Modeling as a basis for analyzing teaching – learning situations", *Learning and Instruction*, vol.4, n°1, pp.71-87.

L'élaboration du savoir en physique est-il un objet d'enseignement maltraité ? Analyse des relations entre rapport au savoir et pratiques déclarées chez des professeurs stagiaires en lycée

PELISSIER Lionel, formateur, GRiDiFE, IUFM de Midi-Pyrénées, LEMME, Université Paul Sabatier, Toulouse, France

VENTURINI Patrice, enseignant-chercheur, LEMME, Université Paul Sabatier, Toulouse, France

TERRISSE André, enseignant-chercheur, GRiDiFE, IUFM de Midi-Pyrénées, LEMME, Université Paul Sabatier, Toulouse, France

Introduction

Cette communication porte sur l'enseignement en classe de physique de seconde de la manière dont le savoir scientifique est construit. Elle introduit, comme on pourra le voir dans la problématique, la nécessité d'examiner les relations entre la manière dont des professeurs stagiaires disent enseigner cet objet de savoir et la manière dont ils le connaissent. Pour comprendre et interpréter nos observations, nous nous sommes appuyés sur la théorie de l'anthropologie du didactique de Chevallard (1992, 2002), à travers l'utilisation des concepts de rapport personnel et rapport institutionnel à un objet qui permettent de rendre compte de la manière dont un sujet connaît un objet de savoir et l'enseigne dans le cadre d'une institution. Après un bref rappel de ce cadre théorique, nous précisons ensuite la méthodologie qui nous a permis à la fois de caractériser le rapport personnel à l'objet de savoir et de cerner les pratiques déclarées des professeurs stagiaires à ce sujet ; ces éléments seront décrits ensuite puis interprétés.

Problématique et question de recherche

L'élaboration du savoir est un objet d'enseignement de la physique au lycée

Les programmes d'enseignement de la physique au lycée, les documents d'accompagnements et autres textes de référence affichent des recommandations où l'épistémologie occupe une place jusque-là inédite (B.O. hors série n°6 du 12 août 1999, B.O. hors série n°2 du 30 août 2001). La direction donnée aujourd'hui à l'enseignement de la physique au lycée est associée à la volonté de transmettre aux élèves une idée de la manière dont les connaissances scientifiques sont élaborées par les chercheurs à l'occasion de l'enseignement d'objets disciplinaires traditionnels. Le texte cadre fixant les objectifs indique qu'il est nécessaire "*de faire comprendre aux élèves la démarche intellectuelle, l'évolution des idées, la construction progressive du corpus de connaissances scientifiques*"¹.

¹ Pour plus d'informations à ce sujet, nous renvoyons le lecteur aux ressources officielles consultables sur les sites <http://www.eduscol.education.fr/D0017/default.htm> et http://www.cndp.fr/doc_administrative/programmes/accueil.htm

Des professeurs stagiaires sans connaissances en matière d'épistémologie

Les questions relatives à l'épistémologie de la physique ne sont généralement pas ou peu abordées dans les études secondaires et universitaires qu'ont suivies les professeurs stagiaires qui sont en formation à l'IUFM de Midi-Pyrénées. La plupart d'entre eux ont obtenu une licence de sciences physiques à l'Université Paul Sabatier de Toulouse. Les travaux de Venturini et Albe (2002a) à propos des étudiants de cette université mettent en évidence qu'ils donnent peu de sens à la discipline qu'ils apprennent. Aussi les orientations épistémologiques que le programme de physique de seconde fixe butent légitimement sur une certaine incompréhension de la part des enseignants stagiaires en formation qui témoignent de la difficulté de leur mise en œuvre. De plus, des travaux ont montré que les représentations des élèves et des enseignants sur la science tiennent d'une épistémologie peu élaborée, composite et incohérente, avec une tendance majoritairement positiviste, réaliste et objective (Roletto, 1998, Berthou-Gueydan et Favre, 1995, Robardet et Guillaud, 1997, Désautels, 1987)

Question de recherche

Nous nous sommes interrogés sur la manière dont ces professeurs stagiaires traitent les questions épistémologiques de la physique avec leurs élèves, en l'absence (a priori) de savoir de référence en la matière. Autrement dit, existe-t-il des relations entre la manière dont un enseignant stagiaire connaît l'objet de savoir "élaboration du savoir scientifique", et la manière dont il enseigne cet objet aux élèves de seconde ?

Cadre théorique

La théorie anthropologique du didactique définit un objet comme étant "*toute entité matérielle et immatérielle, qui existe au moins pour un individu*". L'élaboration du savoir en physique est au départ un objet pour les épistémologues, en ce sens qu'il constitue un "*produit intentionnel de l'activité humaine*". Mais il est aussi un objet de savoir que les professeurs stagiaires doivent enseigner à leurs élèves de seconde. Le rapport personnel d'un individu à un objet est défini par "*le système de toutes les interactions que l'individu peut avoir avec cet objet – que le sujet le manipule, l'utilise, en parle, en rêve, etc.*" (Chevallard, 2002). Aussi, le rapport personnel d'un professeur stagiaire à l'objet de savoir "élaboration du savoir en physique" est pris au sens de la manière, quelle qu'elle soit, qu'à le professeur de connaître l'objet en question, même si, comme nous le verrons dans les aspects méthodologiques, nous ne nous intéressons qu'à l'aspect *intellectuel* de cette manière de connaître. L'identification chez les enseignants stagiaires du rapport personnel à l'objet "élaboration du savoir en physique" nécessite d'utiliser des références en matière d'épistémologie de la physique. Pour des raisons de place, nous nous limitons ici à renvoyer à la bibliographie utilisée (Hempel, 2002, Chalmers, 1987, Koyré, 1985, Feyerabend, 1988, Jarroson, 1992, Roletto, 1995). Dans la théorie anthropologique du didactique, l'"*institution*" est un "*dispositif social total*", qui peut s'apparenter à un groupe d'amis ou de collègues, à la famille aussi bien qu'à l'"*école*", à la "*classe*", ou à "*l'état amoureux*", "*qui permet et impose aux personnes la mise en jeu de manières de faire et de penser propres*" (op. cit.). L'institution peut avoir un rapport à un objet au même titre qu'un individu. Il existe différentes positions au sein d'une même institution, occupée par des individus, sujets de cette institution. Ces derniers sont alors soumis aux rapports de l'institution à un objet donné, qui diffèrent selon la position qu'elle assigne à tel ou tel individu. Un bon sujet, du point de vue de l'institution, est un sujet qui occupe une position particulière et pour lequel le rapport personnel à l'objet est jugé conforme au rapport à cet objet que l'institution attend

d'un sujet qui occupe cette position. Aussi un individu est-il assujetti (au sens de " *soumis* " et " *soutenu par* " (op.cit.)) à un grand nombre d'institutions. Ces assujettissements contribuent à créer ou à modifier le rapport personnel de l'individu à des objets auxquels l'institution a un rapport. Mais " *conformité n'est pas identité* " (Chevallard, 1992) : toute personne est en fait un mauvais sujet de l'institution, dans la mesure où le rapport institutionnel " *n'est le rapport personnel d'aucune personne* ". En définitive, " *le rapport personnel d'un individu est un émergent complexe d'assujettissements institutionnels passés et présents* " (op. cit.).

Méthodologie

Le dispositif méthodologique que nous avons mis en place pour cette étude s'articule en deux temps :

1- Nous avons soumis un questionnaire ouvert à 37 professeurs stagiaires de physique en formation à l'IUFM de Midi-Pyrénées durant l'année 2002-2003, afin d'identifier la manière dont ils connaissent " l'élaboration du savoir en physique ". Ce questionnaire est inspiré des savoirs de référence en matière d'épistémologie de la physique, ainsi que des travaux de Roletto (1995, 1998). Nous avons choisi de cibler les questions sur l'élaboration du savoir en physique qui constitue notre objet de recherche. Elles font référence à un certain nombre de concepts épistémologiques fondamentaux : (a) les critères de scientificité des connaissances, (b) la place des hypothèses, (c) l'observation, (d) l'expérimentation, (e) la loi, (f) la théorie, (g) le rôle du modèle, (h) leur formation, (i) les modalités d'évolution des connaissances et (j) les critères d'objectivité. Les réponses ont été analysées à l'aide d'une grille qui permet de rapprocher chaque réponse d'un modèle épistémologique de référence dans lequel les concepts précédents servent de variables. Elle a été construite à partir :

- des savoirs de référence en matière d'épistémologie de la physique ;
- du sens donné par Roletto (1995) aux réponses qu'il a obtenues et les catégories qu'il a dégagées ;
- d'une analyse a priori de notre corpus de réponses.

Les grilles d'analyse que nous avons élaborées sont constituées de trois modèles qui nous permettent d'associer au moins une modalité différente à chaque variable épistémologique utilisée, et d'interpréter tous les types de réponses exploitables de notre corpus. Le modèle 1 est l'inductivisme strict inspiré de la démarche utilisée par les empiristes. Le modèle 2, qualifié d'inductivisme sophistiqué renvoie aux courants positiviste et néopositiviste. Enfin, le modèle 3 tient de l'épistémologie contemporaine. Cette première partie a pour but de sélectionner des enseignants qui présentent des rapports personnels différents. Notre souci de dégager des sujets typés repose sur la nécessité d'identifier chez les enseignants stagiaires des relations entre leur rapport personnel à l'objet de savoir et leur manière d'enseigner, ce qui semble d'autant plus simple que l'enseignant présente des idées claires et cohérentes à propos de l'objet en question, quelles qu'elles soient. De plus, compte tenu du caractère composite des représentations sur la science chez les enseignants mis en évidence par Roletto (1998), il est apparu nécessaire de déterminer a priori un critère de cohérence interne du rapport personnel pour notre étude : nous avons examiné pour chaque sujet la correspondance entre le modèle épistémologique identifié pour la variable relative à la formation du savoir (variable h) et celui identifié pour chacune des variables qui interviennent explicitement dans les différentes modalités de la variable h, à savoir les variables b, c, d, e et f.

2- Au cours d'un entretien semi-dirigé, nous avons vérifié auprès des enseignants sélectionnés et qui enseignent en seconde, la pertinence des analyses que nous avons effectuées à partir des réponses au questionnaire.

- Pour cela, nous leur avons rappelé les principales idées identifiées dans leurs réponses en sollicitant la confirmation (ou non) de nos analyses que nous avons aussi complétées au cours des échanges ;
- Dans un deuxième temps, nous les avons interrogés, en présence de leurs documents de cours, sur leurs pratiques d'enseignement. L'objectif est d'examiner les idées présentées aux élèves sur l'élaboration du savoir en physique, dans ce que les enseignants déclarent leur transmettre lors de l'enseignement de savoirs classiques. Les propos des enseignants sur leurs pratiques ont été analysés à l'aide de la même grille que les réponses au questionnaire ;
- Une troisième partie de l'entretien a consisté à mettre le sujet interrogé en situation de comparer ses propres réponses au questionnaire et sa manière d'enseigner l'objet de savoir en question, de manière à le pousser à formuler des éléments d'analyse réflexive sur le type de relation entre sa manière de connaître et sa manière d'enseigner.

Résultats

Cette partie présente successivement les résultats obtenus et les interprétations associées pour ce qui concerne l'identification de la manière de connaître l'élaboration du savoir en physique pour l'ensemble des sujets de l'étude, et la manière dont quelques uns d'entre eux disent enseigner cet objet de savoir. Nous essayerons ensuite de mettre en relation ces deux aspects pour les sujets sélectionnés seulement.

Des rapports personnels composites

L'analyse des réponses à l'aide des grilles permet de constater qu'en ce qui concerne la composante "intellectuelle" du rapport personnel, les résultats sont semblables à ceux déjà obtenus par des études précédentes (Robardet & Guillaud 1997, Roletto 1998, Désautels 1987). Les processus d'élaboration du savoir en physique, pour la plupart de ces enseignants, sont composites, résultant d'un mélange sans grande cohérence apparente d'idées appartenant à différentes philosophies de la science assemblées sur un fond de savoir commun (cf. tableau 1).

Tableau 1 : modèles épistémologiques identifiés dans les réponses au questionnaire pour 3 sujets quelconques et pour chacune des variables.

Variable : Modèle épistémologique pour le sujet :	a) scientificité	b) hypothèse	c) observation	d) expérimentation	e) loi	f) théorie	g) modèle	h) formation	i) évolution des connaissances	j) objectivité
Sujet 1	2-3	ne	1	2	2	ne	3	2-3	3	3
Sujet 2	1	3	1	2	3	2	ne	3	2	2-3
Sujet 3	1	ne	1-2	1	3	ne	3	ne	2	3

-Les cases vides signifient que les réponses données par le sujet ne contiennent pas d'indicateur de modalité de la variable considérée.

- " ne " signifie " non exploitable " : la formulation de la réponse par le sujet est imprécise et équivoque, si bien que catégoriser cette réponse n'est possible qu'en extrapolant les propos du sujet.

-deux modèles apparaissent souvent pour une seule variable lorsque le caractère incomplet de la réponse permet de l'associer à deux d'entre eux.

Il semble ne pas y avoir eu d'évolution par rapport à ce qu'écrivait Roletto (1998, p.27) sur la base de travaux réalisés en 1995 : *“ ceci permet donc de mettre en évidence un manque profond de culture en matière de réflexion sur l'élaboration du savoir scientifique. [Les sujets] ont mené leurs études au sein d'institutions dont l'objectif est de pousser les élèves à apprendre des connaissances toutes faites, d'exposer des résultats acquis, des connaissances vérifiées, prouvées, indiscutables, de [donner] aux élèves des certitudes, en présentant les connaissances comme des évidences empiriques, et en évitant, autant que possible, de donner l'impression qu'on y parvient par des détours, des contradictions et des négociations ”*. Ceci semble aussi cohérent avec les travaux de Venturini et Albe (2002a), dans la mesure où ce déficit de culture sur les fondements de la discipline peut être un élément permettant de comprendre le peu de sens qu'accordent les étudiants aux savoirs, et qui les conduit à une mauvaise appropriation de ces savoirs. Venturini & Albe (2002b) ont essayé de comprendre les difficultés et la manière de travailler des étudiants de DEUG au vu de leur rapport à la physique dans l'approche anthropologique du didactique, et ont montré que ce dernier est constitué d'une forte composante de conformité stricte aux rapports des institutions *“ enseignement de la physique dans le secondaire ”* et *“ enseignement de la physique à l'université ”* à la physique, institutions qui sont les seuls lieux d'“ existence ” effective de la Physique pour ces étudiants. La plupart des enseignants de physique auxquels nous nous intéressons viennent de la même université que les étudiants précédents. La mise en conformité par ces étudiants de leur rapport personnel aux différents rapports institutionnels auxquels ils ont été assujettis dans leur passé, ne leur ont pas permis de construire un rapport personnel cohérent.

Le choix des sujets pour l'étude des pratiques déclarées

Des trente-sept sujets initiaux, nous en avons sélectionné quatre (notés A, B, C, D) aux rapports personnels (notés RP) marqués par une plus grande cohérence interne que le reste des sujets dans les réponses renvoyant à celle d'un des modèles de la grille (cf. tableau 2). Selon le critère de cohérence interne choisi, le sujet D présente un rapport personnel assez cohérent, et proche du modèle tenant de l'épistémologie contemporaine. Le rapport personnel du sujet B présente en revanche une proximité plus grande avec le modèle inspiré de l'inductivisme strict et celui du sujet A présente des caractéristiques communes aux deux modèles de référence tenant de l'inductivisme. Le sujet C présente le rapport personnel le moins cohérent au vu du critère choisi.

Des pratiques d'enseignement globalement inductivistes

Si les rapports personnels à l'élaboration du savoir sont variés chez ces quatre enseignants stagiaires, il ressort que les idées véhiculées sur l'“ élaboration du savoir en physique ” à travers les pratiques d'enseignement, autrement dit les “ rapports à l'objet enseigné ” (notés RE) sont sensiblement identiques d'un enseignant à l'autre (lignes grisées du tableau 2). Nous n'avons identifié à travers les pratiques déclarées de ces enseignants que six des neuf variables, mais celles-ci renvoient aux modèles relatifs à l'inductivisme strict et/ou à l'inductivisme sophistiqué. Les pratiques déclarées de ces quatre professeurs stagiaires sont fortement marquées par un souci de conformité à ce qu'ils identifient comme une forme institutionnalisée de l'enseignement de la physique, que l'on peut nommer “ enseignement de la physique en seconde ”, dans laquelle l'enseignement de l'objet “ élaboration du savoir ” ne soulève pas de réflexion particulière. Selon eux, la mise en œuvre des programmes d'enseignement obéit à des exigences au premier rang desquelles figure la transmission de contenus et à des contingences telles que la gestion de la classe et la progression temporelle dans le programme à enseigner. Les justifications qu'ils donnent pour expliquer ce constat

sont relatives à des contraintes propres à l'enseignement de la physique au lycée et du statut particulier de "stagiaire" dans cette institution dans laquelle ils doivent enseigner la physique.

Tableau 2 : Rapport personnel (RP) et rapport enseigné (RE) à l'élaboration du savoir en physique : identification des modèles épistémologiques pour chaque variable.

Variable :	a) scientificité	b) hypothèse	c) observation	d) expérimentation	e) loi	f) théorie	g) modèle	h) formation	i) évolution des connaissances	j) objectivité
Modèle épistémologique pour le sujet :										
RP (A)	3	2	1	1-2	1	2-3	3	1-2	1	ne
RE (A)		2	1	1	1-2		1	1		1
RP (B)	3	2	2-3	2	2-3	2	3	2	2	ne
RE (B)		3		1	1		1			
RP (C)		2	1	2	2-3	1	2-3	2	1-2	1
RE (C)		2		2	2		2			
RP (D)	1-3	2-3	3	1-3	3	3	3	3	3	3
RE (D)		2	2	1	2		2	1		

Des relations diverses entre rapport personnel et manière d'enseigner

Conformité

Pour les sujets A et C, nous observons que le rapport personnel et le rapport à l'objet enseigné sont similaires. La mise en conformité des pratiques de ces enseignants stagiaires à l'institution "enseignement de la physique en seconde" est d'autant plus observable qu'ils estiment que l'institution dans laquelle ils doivent enseigner la physique a un rapport à l'objet "élaboration du savoir en physique" identique à leur rapport personnel. Il n'y a pas de mise en conformité "active" du rapport à l'objet en position d'enseignant au rapport institutionnel dans la mesure où elle s'est vraisemblablement produite lorsque le sujet était en position d'élève, et la position d'enseignant qu'ils occupent depuis peu n'a pour ainsi dire pas modifié leur rapport personnel.

Distinction

Il existe chez le sujet B une différence entre la manière de connaître l'élaboration du savoir en physique et la manière de l'enseigner. La part de rapport personnel que le sujet B avait montrée à travers le questionnaire à l'IUFM est occultée, sinon oubliée, lorsqu'il est en position d'enseignant. Le rapport personnel identifié à travers le questionnaire et la manière d'enseigner l'objet de savoir en question sont deux aspects hermétiquement cloisonnés, et cette différence ne questionne pas l'enseignant.

Conflit

Le sujet D, qui présente un rapport personnel fortement cohérent et proche de l'épistémologie contemporaine, explicite une mise en conformité active, consciente et nécessaire de sa manière d'enseigner au rapport institutionnel "enseignement de la physique en seconde", même s'il considère que le rapport de cette institution à l'objet en question est fondamentalement différent de son rapport personnel. "Les assujettissements auxquels [cet enseignant] se trouve soumis dans l'institution de formation tendent à lui imposer des rapports qui, à court terme, entrent en conflit avec ses propres rapports personnels" (Chevallard, 2002). Dans ce cas, l'institution de formation identifiée est "l'enseignement de

la physique en seconde". Il exprime ainsi à travers l'entretien le désir de parvenir à enseigner l'objet "élaboration du savoir en physique" selon son rapport personnel à l'objet, et la tension entre ce dernier et le rapport institutionnel provoque chez lui des sentiments de regrets et de résignation.

Discussion

Les résultats et les interprétations que nous en faisons doivent être modérés par ce qui nous apparaît comme une limitation de la méthodologie, et celle-ci se situe essentiellement à deux niveaux :

- l'identification du rapport personnel à l'objet "élaboration du savoir en physique" : l'entretien sur les pratiques déclarées nous a permis d'accéder à la composante du rapport personnel des sujets en conformité avec l'institution "enseignement de la physique au lycée" où ils occupent une position d'enseignant. Mais les professeurs stagiaires ont aussi l'ambition d'être de bons sujets de l'institution IUFM à laquelle il appartiennent. Cette institution dans laquelle on parle d'enseignement de la physique et où se déroule la recherche, n'a pas un rapport à l'élaboration du savoir en physique explicite pour les stagiaires, mais ils peuvent mettre en conformité leur rapport personnel à ce qu'ils imaginent du rapport institutionnel, c'est à dire aux exigences qu'ils perçoivent comme étant celles que l'institution attend d'eux ;
- l'identification dans les pratiques déclarées d'un modèle épistémologique de référence : il nous faut au cours de l'entretien repérer à travers les propos des enseignants les activités effectivement mises en œuvre et ce qu'elles donnent à voir aux élèves en matière d'élaboration du savoir en physique, la plupart du temps de manière implicite. L'identification d'un modèle de référence est alors entachée d'une marge d'interprétation par le chercheur qu'il nous reste à objectiver.

Conclusion

Dans le cadre de la théorie anthropologique du didactique, nous avons essayé d'identifier chez des enseignants stagiaires en formation la nature des relations éventuelles entre leur rapport personnel à l'objet de savoir "élaboration du savoir en physique" et la manière dont ils enseignent cet objet de savoir à des élèves de seconde en analysant leurs propos sur leurs pratiques. La plupart des enseignants ont un rapport personnel à l'objet en question peu élaboré, et plutôt incohérent. Les situations dans lesquelles ils ont rencontré, appris et enseigné les savoirs de la physique ne leur ont pas permis de construire des connaissances relatives à l'élaboration des savoirs de leur discipline. Pour quatre de ces enseignants chez qui nous avons identifié un rapport personnel moins incohérent que chez les autres, nous avons observé différents types de relations entre ce rapport personnel à l'élaboration du savoir en physique et la manière de l'enseigner :

- Soit nous avons observé des similitudes mais les enseignants ont affirmé qu'il n'y a pas de relation et ne doit pas y en avoir. Les raisons invoquées sont que la manière dont sont élaborés les savoirs n'est pas essentiel dans l'enseignement, et qu'au vu de l'instabilité de leurs propres connaissances en la matière, ils préfèrent s'en tenir à enseigner les objets de savoir classiques car ils pensent que les programmes sont plus précis à ce sujet ;
- Soit nous avons observé une différence :

- dans un cas, la part de rapport personnel identifiée à travers le questionnaire est occultée lorsque le sujet est en position d'enseignant : ces deux aspects sont hermétiquement cloisonnés, et cela ne pose pas de problème à l'enseignant ;
- dans l'autre, la différence est assumée volontairement dans un réel souci de conformité au rapport institutionnel. Mais cet enseignant qui vit mal cette sorte de "schizophrénie didactique" exprime le souhait de trouver les moyens de transmettre à travers son enseignement de la physique ce qu'il connaît de l'épistémologie contemporaine.

Bibliographie

- BERTHOU-GUEYDAN Guillemette, FAVRE Daniel, 1995, " Les attitudes cognitives de la démarche scientifique sont-elles compatibles avec les représentations majoritaires actuelles de la science ? " in : André GIORDAN, Jean-Louis MARTINAND, Daniel RAICHVARG (dir.), *Que savons-nous des savoirs scientifiques et techniques ?* (Chamonix, 1995) pp. 317-321.
- CHALMERS Alan, 1987, *Qu'est-ce que la science ?* Paris, La Découverte.
- CHEVALLARD Yves, 1992, " Concepts fondamentaux de la didactique : perspective apportée par une approche anthropologique ", *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Grenoble, La Pensée Sauvage, vol. 1, n° 12, pp. 73-112.
- CHEVALLARD Yves, 2002, " Approche anthropologique du rapport au savoir et didactique des mathématiques ", in : Sylvette MAURY, Michel CAILLOT (dir.), *Rapport au savoir et didactiques*, (Paris, 17-18 juin 2002), Paris, Faber, pp. 81-104.
- DESAUTELS Jacques, 1987, *Epistémologie et didactique des sciences*, Ottawa, Service des publications, conseil des sciences du Canada.
- FEYERABEND Paul, 1988, *Contre la méthode*, Paris, Seuil, coll. Points Sciences.
- HEMPEL Carl, 2002, *Eléments épistémologie*, Paris, Armand Colin (2^{ème} éd.), coll. Coursus.
- JARROSSON Bruno, 1992, *Invitation à la philosophie des sciences*, Paris, Seuil, coll. Points Sciences.
- KOYRE Alexandre, 1985, *Etudes d'histoire de la pensée scientifique*, Paris, Gallimard, coll. Tel.
- ROBARDET Guy, GUILLAUD Jean-Claude, 1997, *Eléments de didactique des sciences*, Paris, PUF.
- ROLETTTO Ezio, 1995, *La nature du savoir scientifique chez les enseignants*, Thèse, Université de Montpellier.
- ROLETTTO Ezio, 1998, " La science et les connaissances scientifiques ", *Aster*, Paris, INRP, n° 26, p. 11-30.
- VENTURINI Patrice, ALBE Virginie, 2002a, " Interprétation des similitudes et différences dans la maîtrise conceptuelle d'étudiants en électromagnétisme à partir de leur(s) rapport(s) au(x) savoir(s) ", *Aster*, Paris, INRP, n° 35.
- VENTURINI Patrice, ALBE Virginie, 2002b, " Rapports à la physique d'étudiants issus d'un DEUG Sciences de la matière " in : André TERRISSE (coord.), " Didactique des disciplines scientifiques et technologiques, Concepts et méthodes ", *Les dossiers des Sciences de l'Education*, Toulouse, Presses Universitaires du Mirail, n°8, p. 11-22.

Introduction du concept d'évolution humaine buissonnante dans les manuels scolaires de sciences de la vie et de la Terre de terminale scientifique

QUESSADA Marie Pierre, IUFM Montpellier et LIRDEF (Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique Education et Formation - Didactique et Socialisation,) Montpellier
CLÉMENT Pierre, LIRDHIST (Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique et en Histoire des Sciences et des Techniques), Villeurbanne

Introduction

Aujourd'hui en France, l'évolution humaine est enseignée dans le secondaire en Sciences de la Vie et de la Terre (SVT), en quatrième au Collège et, au Lycée, en première Littéraire, en première Economique et Sociale et en terminale Scientifique. Ce thème présente de façon exacerbée des éléments caractéristiques de la discipline SVT. C'est un thème où des découvertes majeures se sont succédées ces dernières années, chacune d'elles bouleversant les interprétations précédentes. Il relève de plusieurs champs disciplinaires tels que la paléontologie, la biologie moléculaire, l'anthropologie, etc. Comportant une dimension affective importante, il est très médiatisé : il s'intéresse à la lancinante question de nos origines. Citons à titre d'exemple de cette extraordinaire rapidité de la médiatisation, la dernière découverte paléontologique, *Homo floresiensis*, publiée dans Nature le 28 Octobre 2004 (Mirazon Lahr et Foley, 2004) et apparaissant dans un article du journal « Le Monde » dès le 1^{er} Novembre 2004. En 2001, le nouveau programme de Terminale Scientifique¹ comprend un thème de trois semaines sur la parenté entre êtres vivants actuels et fossiles, centré principalement sur la lignée humaine. Un des objectifs principal est de démontrer le caractère buissonnant de la lignée humaine. L'évolution humaine des précédents programmes² datant de 1994 n'était pas décrite comme buissonnante. Le terme buissonnant fait son apparition dans les textes officiels, en 2000, dans la dernière phrase des accompagnements des nouveaux programmes des classes de première L et ES³ : « *Cela invite à réfléchir sur le caractère buissonnant de la lignée humaine et sur sa réduction à une seule espèce aujourd'hui* ». Nous nous sommes intéressés à l'introduction de ce nouveau concept à travers l'étude de manuels scolaires de Terminale Scientifique (éditions 1994 et 2002).

Cadre théorique

La transposition didactique

Notre travail s'inscrit dans le contexte théorique de la transposition didactique (Verret, 1975 ; Chevallard, 1985, 1992). Le texte du savoir à enseigner (programmes et instructions officielles) présente les notions et les compétences à acquérir, les conditions et les contraintes

1 - 30 Août 2001 – BO Hors série n°5.

2 - 9 Juin 1994 - BO spécial n°6.

3 - 31 Août 200 – B.O. Hors série n°7.

dans lesquelles se développe l'apprentissage. L'étude des programmes permet d'analyser les choix du système éducatif, en termes de connaissances mais aussi de valeurs à un moment donné (Clément, 1998). L'étude de manuels scolaires va nous apporter des informations sur la façon dont les auteurs interprètent le programme et par là même sur leurs conceptions, qui ne sont pas sans lien avec celles de la société civile en général et des enseignants de la discipline en particulier. Le manuel est un stade important de la transposition didactique, entre le savoir à enseigner et le savoir enseigné. C'est une source essentielle d'informations pour les élèves.

Les particularités de la transposition didactique d'un concept fortement médiatisé et encore en débat dans la communauté scientifique ont été étudiées dans l'exemple de la tectonique des plaques (Roubaud et Dupin, 2003). Mathy (1997) dans son analyse des relations entre science et idéologie dans les manuels de SVT de l'enseignement secondaire belge et français, consacre tout un chapitre aux théories de l'Evolution mais n'analyse pas les parties des manuels consacrées à l'origine de l'espèce humaine. Or c'est précisément ce thème que nous avons décidé d'étudier, car il exacerbe les interactions possibles entre connaissances scientifiques et systèmes de valeurs (croyances, idéologies). Ce thème est actuellement très peu ou non enseigné dans plusieurs pays : par exemple au Liban (Harfouch & Clément 2001), dans certains états des USA (Lecourt, 1992), ou encore Grèce (Lakka et Vassilopoulou, 2004).

Approche épistémologique du concept d'évolution buissonnante

Une approche étymologique (A.Rey 1998) indique que, dès les premiers emplois connus du terme buisson, ce mot « désigne un bouquet d'arbrisseaux sauvages et rameux ». A contrario, la lignée « désigne seulement la descendance d'une personne », ce qui est classiquement représenté par un « arbre » généalogique. Une approche épistémologique suggère que les enjeux du remplacement du terme lignée par celui de buisson ne sont pas que langagiers. Tout d'abord, le sens commun de lignée, et d'arbre généalogique, s'oppose au sens scientifique de « lignée évolutive » et « d'arbre phylogénétique », ce qui risque d'introduire deux obstacles épistémologiques, qui sous-tendent les commentaires qui suivent. D'une part une confusion entre le temps historique récent d'une généalogie et le temps géologique de l'évolution ; d'autre part une confusion entre les liens directs de parenté entre individus dans une généalogie, et les liens indirects et hypothétiques entre espèces différentes dans une phylogenèse. La succession des espèces durant les temps géologiques se schématise par une représentation où figure la répartition des espèces fossiles en fonction de l'échelle stratigraphique du temps géologique. La présence de chaque espèce est indiquée par un trait vertical d'autant plus long que cette espèce a été retrouvée sous forme de fossiles durant une période géologique plus importante. Il s'agit de faits. La métaphore la plus courante indique que chaque espèce fossile correspondrait à une feuille d'arbre dont les branches, ramifications, troncs, n'ont pas laissé de traces. Ce type de schéma ne représente que ces « feuilles », sans lien entre elles. Etablir ces liens, sous forme toujours hypothétique, est l'objectif de la phylogénie. Ces liens résultent d'une part de la comparaison entre les espèces (au niveau des organes, des molécules, etc), d'autre part d'hypothèses sur les mécanismes évolutifs, telles que le principe de parcimonie pour les cladogrammes (Tassy 1986, Mayr 1996). Les comparaisons entre espèces (actuelles ou fossiles) permettent ainsi d'établir « des arbres phylogénétiques » qui les relient en fonction de leurs plus ou moins grandes ressemblances. « Un noeud (point de rencontre entre une branche mère et deux branches fille) n'exprime pas une spéciation mais une parenté fondée sur le partage de caractères uniques . En d'autres termes, le cladogramme dit « qui partage quoi avec qui » et donc « qui est plus proche parent de qui » et non pas « qui descend de qui » » (Lecointre, 1995). Ces deux modes de schématisation sont donc bien distincts, l'un représentant la présence d'espèces et la durée supposée de leur existence, l'autre des liens possibles, hypothétiques, entre ces espèces, sans datation de ces liens . Ils peuvent être superposés sur un schéma mixte

qui tente de représenter des liens entre les espèces fossiles disposées en fonction de l'échelle des temps géologiques.

Une première différence entre « arbre » et « buisson » peut ainsi être proposée.

- En se situant à une origine de la vie supposée unique, les parentés entre toutes les espèces vivantes (actuelles comme fossiles) sont souvent conçues sous la forme d'un « **arbre phylogénétique** ». Cette construction intellectuelle suppose que cet arbre traverse les temps géologiques, donne des branches qui meurent (les espèces et groupes aujourd'hui disparus) et d'autres qui sont actuellement présentes sur terre.
- En se situant dans une tranche de temps précise (récente et actuelle, ou lors d'une période géologique précisément datée), nous sommes confrontés à une coupe horizontale de l'arbre précédent, qui a alors l'**aspect buissonnant** de plusieurs arbrisseaux juxtaposés (et concurrents) dans un espace précis.

Arbres, branches, ramifications, buissons, sont donc autant de métaphores possibles pour désigner des liens hypothétiques entre espèces, alors que le terme « lignée » évoque plus une succession directe entre espèces. Ainsi, tous ces termes cachent des implicites qu'il convient d'identifier

Premier implicite : gradualisme ou équilibres ponctués ?

S.J. Gould (1979) a proposé l'idée d'une évolution buissonnante, en développant clairement « *le conflit entre « échelles » et « buissons »* ». La métaphore de l'échelle, couramment employée pour l'évolution de l'homme, « *renvoie à la conception populaire selon laquelle l'évolution serait une suite ininterrompue d'ancêtres et de descendants* ». Ainsi se succèderaient de façon linéaire différentes espèces d'Homininés, certains étant déjà connus et d'autres correspondant à des « *chaînon manquant* ». Cette métaphore de l'échelle est aujourd'hui tombée en désuétude, mais a été relayée par celle de « *lignée* ».

Derrière ces métaphores, ce sont deux visions théoriques divergentes qui se manifestent :

L'échelle ou la lignée correspondent au modèle de l'évolution dite anagénétique, ou gradualisme, avec modification lente et progressive d'une espèce qui en donne une nouvelle. De plus, cette représentation est souvent finalisée (par exemple la lignée qui aboutit à *Homo sapiens*).

Le buisson correspond au modèle des équilibres ponctués (Elredge & Gould 1972, Devillers 1996). Selon ce modèle, il est improbable de trouver des fossiles correspondant au moment de la formation de l'espèce qui est relativement rapide au sein d'une petite population. Les fossiles ne correspondent donc qu'à des espèces stabilisées et apparemment discontinues.

Le premier modèle s'accorde avec le regroupement de nombreux fossiles au sein de la même espèce ou du même genre. Le second modèle, qui correspond à la tendance actuelle, consiste à distinguer un grand nombre d'espèces et de genres qui coexistent. Le nombre d'espèces fossiles décrites a fortement augmenté de 1964 à 2003, ce qui a aussi contribué à la nouvelle schématisation d'une évolution buissonnante de l'espèce humaine (Langlois 2004). L'introduction de la notion d'évolution buissonnante est donc associée à une remise en cause du modèle évolutif gradualiste. Ce premier modèle est lié à une conception simplificatrice, finaliste et anthropocentrée de l'évolution alors que le modèle en buisson est associé à une conception contingente de l'évolution humaine.

Second implicite : lignées (arbres, buissons) ou réseaux ?

La notion d'évolution en mosaïque (introduite par De Beer 1954 : voir Delsol 1996) attire l'attention sur le fait que les organes et les structures d'une lignée n'évoluent pas à la même vitesse : ils évoluent indépendamment les uns des autres.

La notion d'évolution en réseau va plus loin (Bonhomme 1996). Elle s'oppose à la phylogénie dichotomique en branches d'arbre, et propose la possibilité de processus évolutifs « par échanges génétiques secondaires entre taxons ». Ce qui peut venir soit de croisements entre populations géographiquement éloignées, soit de modifications des génomes par d'autres moyens que la reproduction sexuée (virus, transposons). Pour exemple, la théorie polycentriste sur l'apparition des hommes modernes admet des échanges génétiques répétés entre les populations d'*Homo erectus* de tout l'ancien monde, assurant une continuité génétique et une tendance évolutive commune vers *Homo sapiens* (Leakey, 1997).

Question de recherche

Comment le concept d'évolution buissonnante est-il introduit dans les manuels scolaires correspondant au nouveau programme (2002) de Terminales S?

Renouvelle-t-il la notion de « lignée » humaine, seule présente dans le programme de 1994, ou se surajoute-t-il à cette notion ? De façon plus précise, cette métaphore du buisson permet-elle d'éviter désormais l'obstacle épistémologique d'une évolution humaine graduelle, linéaire et finaliste ?

Quels sont les implicites du vocabulaire utilisé pour caractériser l'évolution humaine (lignée, buisson, mosaïque, réseau, etc.) en termes de processus évolutifs (par exemple gradualisme ou théorie des équilibres ponctués ; finalisme ou non) ?

Méthodologie

Deux éditeurs ont été choisis, Bordas, leader incontesté des manuels de SVT (Coisne, 2004) et Nathan. Les chapitres étudiés en 1994 sont les derniers chapitres du manuel intitulé dans les deux éditions « *La lignée humaine* » (Bordas, pp.369-391 et Nathan, pp.356-371). En 2004, le manuel Nathan présente encore un chapitre intitulé « *La lignée humaine* » (pp.39-61) alors que le manuel Bordas y consacre deux chapitres, « *La place de l'Homme dans le règne animal* » (pp.37-51) et « *Le caractère buissonnant de la lignée humaine* » (pp.55-73). Nous effectuerons l'analyse comparée de ces chapitres des manuels scolaires de SVT édités en 2002 et en 1994. Le texte et les titres seront analysés avec la méthode des termes pivots (Harris 1952, Jacobi 1987). Les termes pivots choisis sont « lignée » et « buisson » (ou buissonnante). Nous noterons aussi ce qui évoque une évolution en mosaïque ou en réseau. Par ailleurs, nous analyserons les schémas représentant l'évolution humaine. Nous les avons catégorisés en trois types :

Le premier type présente la répartition des espèces fossiles dans le temps, sans lien entre elles. C'est ce que nous avons appelé schéma stratigraphique.

Le second schéma dit phylogénétique représente les relations de parenté entre espèces. Cette représentation en cladogramme est obtenue par comparaison anatomique ou moléculaire des espèces étudiées. Elle ne mentionne pas la date d'apparition des espèces.

Le troisième type de schéma dit mixte associe les approches stratigraphiques et phylogénétiques.

Nous avons retenu comme indicateurs d'une conception linéaire : (i) l'existence de segments de droite reliant directement des espèces par un trait plein ou pointillé ; ou (ii) une juxtaposition des espèces en une suite continue.

Les indicateurs d'une conception buissonnante sont : (i) la présence de nombreuses espèces contemporaines dont l'origine n'est pas représentée dans le schéma ; (ii) l'absence de linéarité dans la disposition des espèces.

Résultats et discussion

Analyse comparée du texte des chapitres sur l'évolution humaine de manuels scolaires de SVT édités en 2002 et 1994.

En 1994, le terme lignée est très présent dans les programmes et dans les manuels. Bien qu'il ne soit pas défini, il est largement utilisé à propos des Hommes, mais aussi à propos des Chimpanzés et des Australopithèques. Le qualificatif de buissonnant n'apparaît ni dans les programmes ni dans les manuels. L'idée de lignée est associée à celle d'une « *acquisition progressive des caractéristiques morphologiques et culturelles* » ce qui traduit une conception d'une évolution graduelle et linéaire.

	Occurrences directes du mot Lignée	Occurrences directes du mot buissonnante
Programme 1994	2	0
Nathan 1994	12	0
Bordas 1994	20	0
Programme 2002	10	1
Nathan 2002	20	5
Bordas 2002	32	4

En 2002, les termes « *buissonnante* » et « *lignée* » figurent dans les programmes dans un rapport de 1/10 ; il est fait référence à la lignée de l'Homme et à celle du Chimpanzé. Dans le manuel Nathan, le rapport est de 1/4, toutes les occurrences de lignée se rapportent à l'espèce humaine. Dans le Bordas le rapport est de 1/8, les occurrences de lignée se rapportent à l'Homme mais aussi au Chimpanzé et aux grands singes. Les instructions officielles sont suivies de très près par les éditions Bordas qui par exemple font figurer le terme buissonnant en titre du deuxième chapitre portant sur l'évolution de l'Homme.

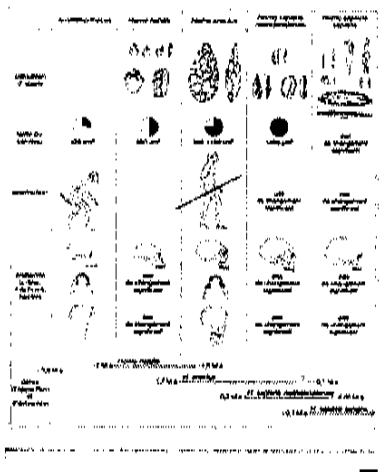
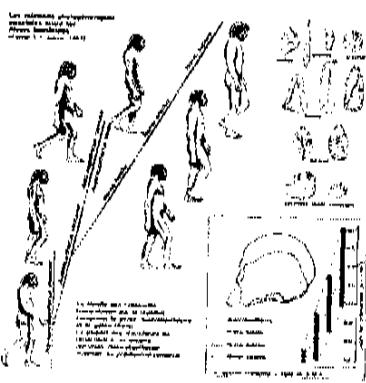
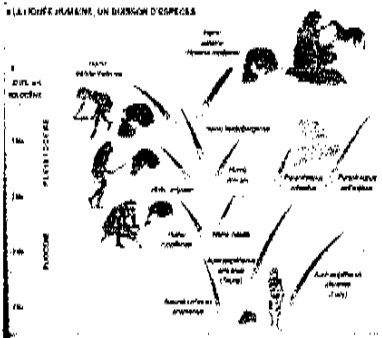
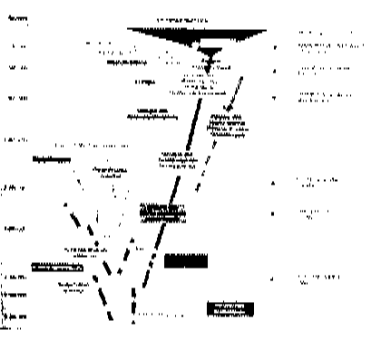
Les deux manuels proposent des définitions voisines de la **lignée humaine**. Les deux sont clairement finalisées. Pour Nathan, c'est « *l'histoire évolutive des hominins qui aboutit à l'Homme* ». Pour Bordas, c'est « *toute l'histoire évolutive des hominins qui à partir du plus récent ancêtre commun à l'homme et au chimpanzé conduit à l'homme moderne* ».

L'évolution buissonnante est définie par Nathan comme une évolution non linéaire montrant la coexistence d'un grand nombre d'espèces individualisées à partir d'un ancêtre commun. Le manuel Bordas ne précise pas de définition mais cite Yves Coppens « *L'évolution a été buissonnante. Je dis souvent qu'elle s'est produite par bouquets.* »

Par ailleurs le concept d'**évolution en mosaïque**, qui ne figure pas au programme, est utilisé par les deux éditeurs. Même initiative aussi pour exposer une controverse scientifique qui concerne l'émergence de l'homme moderne. Dans les programmes, l'origine de l'homme

moderne est envisagée selon la seule hypothèse monocentriste. Le document d'accompagnement des programmes précise cependant l'existence de la seconde hypothèse: « *Limite (ne sont pas exigibles) - La discussion sur l'origine polycentrique ou monocentrique de l'Homme moderne.* ». Nathan propose trois arbres évolutifs correspondant à trois hypothèses sur l'origine de l'Homme moderne et Bordas deux. Dans les deux cas, on voit apparaître une **représentation en réseau**, alternative aux conceptions linéaire ou buissonnante de l'évolution.

Analyse comparée des schémas représentant l'évolution humaine dans les manuels scolaires de SVT édités en 2002 et 1994.

	schéma stratigraphique	schéma phylogénétique	schéma mixte
Evolution linéaire	Nathan 1994-pp.369 	Nathan 1994-pp.367 Bordas 1994-pp.385 Bordas 2002-pp.39	Bordas 1994-pp.386 Bordas 1994-pp.391  Nathan 2002-pp.43 Nathan 2002-pp.61
Evolution buissonnante	Nathan 2002-pp.51 Bordas 2002-pp.61 Bordas 2002-pp.73 		Nathan 2002-pp.43 Nathan 2002-pp.61 

En 1994, aucun schéma n'évoque l'idée de buisson. En 2002, le concept d'évolution buissonnante est représenté dans les manuels, par des schémas stratigraphiques chez Bordas, alors que Nathan privilégie des schémas mixtes (stratigraphique et phylogénétique). En 1994, les programmes citent 2 genres et 3 espèces, les schémas des manuels scolaires citent 2 genres et de 4 à 8 espèces pour Bordas ou de 4 à 7 espèces pour Nathan. Dans les programmes de 2001, 2 genres et 5 espèces sont cités ; dans les schémas des manuels correspondant, figurent de 3 à 5 genres et de 5 à 13 espèces différentes pour l'édition Bordas, de 4 à 12 genres et de 13 à 17 pour l'édition Nathan.

Il apparaît donc un changement important dans les nouveaux manuels de Terminale S. Les données proposées et les schémas sont plus complexes, ce qui correspond aux récentes découvertes qui ont amené à la définition de quatre nouveaux genres et d'une demi-douzaine d'espèces en moins de dix ans (Clarke, 2001 ; Picq, 2002, Langlois, 2004). Si les différents modèles de l'évolution biologique ne sont pas réellement étudiés, il y est fait largement référence de manière directe ou indirectement par la représentation schématique (évolution linéaire, en mosaïque, en réseau, en buisson). Le texte explicatif, relatif au concept d'évolution buissonnante est très succinct, l'image du foisonnement d'espèces est l'argument prépondérant, il semble qu'il soit considéré comme suffisant à l'intégration du concept. Aucun lien n'est fait entre ce nouveau concept et le modèle des équilibres ponctués.

Si les éditeurs suivent le programme en introduisant le terme « buissonnant », le terme lignée reste largement dominant dans les programmes comme dans les manuels. L'introduction du concept d'évolution buissonnante n'a donc pas détrôné la notion de lignée / échelle. En témoignent certains schémas de synthèse où, à un aspect apparemment buissonnant se superpose une lignée humaine reliant linéairement les formes fossiles connues (Nathan, 2002, p.61).

Seule une clarification épistémologique des concepts de lignée et d'évolution buissonnante, et de leurs implicites, permettrait de dépasser ces contradictions qui risquent de semer le trouble dans la tête des enseignants et de leurs élèves. En présentant ce concept comme une évidence et non comme le résultat d'une approche théorique nouvelle, les manuels risquent de figer les conceptions des enseignants comme celles des élèves dans une discipline non stabilisée qui demandera, à n'en pas douter, à être revue et remaniée d'ici très peu de temps.

Conclusion

Les manuels suivent scrupuleusement les programmes en privilégiant la notion de lignée, et en introduisant en 2002 la notion d'évolution buissonnante plutôt comme une évidence que comme le résultat d'une orientation théorique nouvelle. Ils juxtaposent des notions parfois contradictoires sans vraiment les définir ni expliciter le cadre théorique, les modèles évolutifs qui s'y rattachent.

La rapidité de l'introduction dans le monde de l'enseignement d'un objet de savoir encore en débat comme celui de l'évolution biologique humaine nécessite une vigilance épistémologique

C'est en explicitant les spécificités et les limites de nos connaissances actuelles dans ce domaine que l'élève pourra ensuite intégrer les données nouvelles qui ne manqueront pas de renouveler demain nos interprétations actuelles. Plutôt que d'avoir comme seul objectif d'enseigner des connaissances actualisées, il est préférable de sensibiliser les élèves à la dynamique de la construction des connaissances. C'est dans ce cadre épistémique que peut se faire un enseignement de l'évolution biologique humaine, dans une approche scientifique non dogmatique qui permette une remise en cause permanente de ce que l'on pense connaître.

Bibliographie

BONHOMME François, 1996, Evolution réticulée. In Patrick TORT (dir.), *Dictionnaire du Darwinisme et de l'Evolution*, Paris : PUF, p.1598-1599.

- CHEVALLARD Yves, 1985, *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*, Grenoble, La pensée sauvage.
- CHEVALLARD Yves, 1992, « les processus de la transposition didactique et leur théorisation », in : Gilbert ARSAC, Yves CHEVALLARD, Jean-Louis MARTINAND, Andrée TIBERGHIE (coord.), *La transposition didactique à l'épreuve*, Grenoble, La pensée sauvage, pp.135-180.
- CLARKE Ron J., 2001, De nouveaux genres de fossiles, *La Recherche*, n°345, pp.29-33.
- CLÉMENT Pierre, 1998, La Biologie et sa Didactique. Dix ans de recherches. *Aster*, 27, p.57-93
- COISNE Sophie, septembre 2004, « Que valent les manuels scolaires ? », *La Recherche*, n°378, pp.39-45.
- DELSOL Michel, 1996, Evolution en mosaïque, In Patrick TORT, *Dictionnaire du Darwinisme et de l'Evolution*, Paris : PUF, p.1583.
- DEVILLIERS Charles, 1996, Equilibres ponctués (modèle des). In Patrick TORT, *Dictionnaire du Darwinisme et de l'Evolution*, Paris : PUF, p.1378-1379.
- ELREDGE N. & GOULD Stephan Jay, 1972, Punctuated equilibria ; an alternative to phyletic gradualism. In T.J.M. SCHOPF, éd., *Methods in paleobiology*, San Francisco : Freeman, Cooper & Co.
- HARRIS Z.S., 1952 – Discourse analysis, *Language*, 28 (traduction française 1969, in *Langages*, 13)
- GOULD Stephen Jay., 1979, *Darwin et les grandes énigmes de la vie*, Seuil, Paris, p57-63.
- HARFOUCH Zakia & CLÉMENT Pierre, 2001, « Elaboration des Programmes au Liban : La transposition didactique externe en œuvre », in *La didactique de la Biologie : recherches, innovations, formations*, Alger, ANEP, pp.221-236.
- JACOBI Daniel, 1987, *Textes et images de la vulgarisation scientifique*. Berne : Peter Lang
- LAKKA Laocratia et VASSILOPOULOU Maria, 2004, "Greek students 'alternative conception about evolution", in *Vth Conference of ERIDOB (European Researchers In Didactic Of Biology)*, Patras, 21-25 Septembre, pp.52.
- LANGLOIS Cyril, 2004, L'évolution du rameau humain. Nouvelles découvertes, nouvelles données, nouvelles controverses...un aperçu, *Bulletin de l'A.P.B.G. (Association des Professeurs de Biologie et Géologie)*, n°2, pp.301-321.
- LEAKEY Richard, 1997, *L'origine de l'humanité*, Hachette Littérature, Paris.
- LECOURT Dominique, 1992, *L'Amérique entre la Bible et Darwin*, PUF, Paris.
- LECOINTRE Guillaume, 1995, La construction de phylogénies, *Bulletin de l' A.P.B.G. (Association des Professeurs de Biologie et Géologie)*, n°1, pp.109-136.
- MATHY Philippe, 1997, Donner du sens au cours de sciences. Des outils pour la formation éthique et épistémologique des enseignants, De Boeck Université, Bruxelles.
- MIRAZON LAHR Marta et FOLEY Robert, Octobre 2004, « Human evolution writ small », *Nature*, Nature Publishing Group, n°431, pp.1043-1044.
- PICQ Pascal, 2002, Une évolution buissonnante, *Pour la science*, n°300, p32-36.
- REY Alain (dir.), 1998 , *Le Robert : Dictionnaire historique de la langue française*. Paris : Dictionnaires Le Robert, 3 vol.
- ROUBAUD Jean-Louis et DUPIN Jean-Claude, 2003, « Étude du travail externe de la transposition didactique de la tectonique des plaques. Implications didactiques », in ALBE V., ORANGE C. et SIMONNEAUX L. (éd.), *Actes des 3èmes Rencontres Scientifiques de l'ARDIST, Recherches en Didactique des Sciences et des Techniques : Questions en débat* (Toulouse : ENFA, pp. 123-129.
- TASSY Pascal (sous la direction de), 1986 - *L'ordre et la diversité du vivant*. Paris : Fayard/la Fondation Diderot.
- VERRET Michel, 1975 , *Le temps des études*. Paris : Honoré Champion

Simulation en mécanique au lycée : conception et analyse d'activités sur modèle

RICHOUX Hélène, UMR ICAR (CNRS, ENS LSH Lyon, ENS Lyon, INRP, université Lyon 2)
BEAUFILS Daniel, DidaScO, IUFM de Versailles et Université Paris-Sud

Problématique et questions de recherche

Les recherches didactiques sur l'utilisation de la simulation, pour l'enseignement de la physique notamment, datent de l'apparition des micro-ordinateurs. Plus récemment, des travaux français ont porté sur la mise en place de séquences d'enseignement visant des apprentissages conceptuels et ont été menés dans différents domaines tels que les propriétés des gaz (Méheut, 1996), la mécanique newtonienne (Joubert *et al*, 2000), l'optique (Joubert & Rebmann, 1998 ; Buty, 2001), l'attention ayant aussi été portée sur l'importance des registres sémiotiques à propos de l'enseignement du son par exemple (Vince, 2000 ; Séjourné & Tiberghien, 2001). Les travaux dans ce domaine sont évidemment internationaux, allant d'études visant à comparer l'efficacité des activités expérimentales et du travail sur environnement de simulation (Sander *et al*, 2002) à l'élaboration et la validation d'environnements de modélisation (Komis *et al*, 1998, Vosniadou *et al*, 2001).

La simulation sur ordinateur est aujourd'hui proposée comme support de nouvelles activités dans le cadre de l'enseignement scientifique des classes de lycée (GEPS, 2002) : l'accent est mis d'une part sur la manipulation des modèles et d'autre part sur le jeu des représentations, tant graphiques que mentales. L'une des hypothèses attachée à ce type de support est que l'environnement étant celui d'une machine à traiter l'information, la simulation ne peut que reposer sur le fonctionnement d'un modèle et toute activité d'investigation se situe donc nécessairement dans le domaine "théorique" (ceci supposant bien que les élèves aient connaissance de la théorie ou du modèle sous-jacent). La première question de recherche que nous nous sommes posée peut alors s'énoncer, en termes d'intelligibilité qui, en particulier, se décline en cadre de rationalité (Malafosse, Lerouge & Dusseau, 2001 ; Beaufils & Ramage, 2004) : *comment les élèves mobilisent-ils leurs connaissances de physique dans le cas d'une activité sur simulation ? L'environnement de simulation a-t-il un effet spécifique sur l'attitude des élèves et les démarches qu'ils entreprennent ?*

Un second point plus spécifique concerne l'utilisation des représentations graphiques généralement disponibles sur les simulations. En effet, les activités sur simulations reposent sur les possibilités de modification des variables du modèle et/ou celle des représentations graphiques. En d'autres termes, c'est moins le modèle lui-même que ses représentations que l'élève manipule. Sur le plan didactique, ces représentations étant dans tous les cas des ensembles de signes qu'il s'agit de traiter, l'interrogation se place au niveau des registres sémiotiques (Beaufils, Beney & Ramage, 2004). De ce point de vue, notre seconde question de recherche peut s'énoncer : *comment exploitent-ils les possibilités de manipulation de la simulation (modification de paramètre, répétition, jeu sur le caractère dynamique) ? Quelle lecture les élèves font-ils des différentes représentations disponibles sur l'écran ?*

En amont, la première tâche était donc d'élaborer des séances qui reposaient bien sur l'investigation sur modèle et la manipulation de représentations (ce, avec des outils informatiques courants), s'intégrant dans une progression pédagogique conforme aux

programmes scolaires et, enfin, comportait des phases de prévision / confrontation par les élèves eux-mêmes portant sur des questions que la didactique a montré comme "sensibles" et pouvant déboucher sur des conflits cognitifs *a priori* favorables à la structuration des apprentissages. Dans la suite, nous présentons les lignes directrices d'élaboration des activités que nous avons expérimentées en nous appuyant sur deux exemples. Ensuite nous présentons la méthodologie pour l'une des séances puis nous donnons les premiers éléments tirés des observations correspondantes effectuées dans quelques classes de première et terminale scientifiques¹.

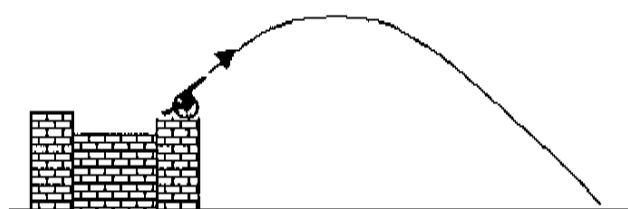
Principe d'élaboration des activités : éléments d'ingénierie didactique

Nous avons ici choisi de nous appuyer sur deux exemples afin d'illustrer les différences de statut de la simulation portant sur un même domaine (la mécanique newtonienne) et sur un même environnement informatique (logiciel *Interactive Physique*²).

La place du modèle

Pour toutes les séquences proposées le statut "d'activité sur modèle" est clairement annoncé et le modèle pris en compte et sa place dans la simulation sont explicités, à la fois dans la fiche d'activité (voir encadré ci-dessous) que dans le discours introductif de l'enseignant. Dans la séance que nous appellerons "*canon*" dans la suite, l'activité est présentée comme un travail sur la simulation d'un phénomène : le mouvement d'un boulet de canon. Ce choix de situation permettait *a priori* de placer clairement l'activité sur le plan de la modélisation : la référence est celle d'un phénomène suffisamment distant du cadre familier et l'investigation porte sur le comportement théorique.

Dans cette simulation, le boulet sort du canon à une altitude de 6 m et avec une vitesse initiale de 11 m.s⁻¹, orientée à 45° vers le haut. Le logiciel calcule la vitesse du centre d'inertie du boulet et son altitude en appliquant à chaque instant la seconde loi de Newton. La seule force prise en compte dans la simulation de la trajectoire est le poids du boulet.



Encadré 1

Dans l'autre séance, dénommée "*barrière*" dans la suite, la situation proposée est purement théorique : il s'agit d'étudier la possibilité de franchissement d'une zone où s'exerce une force constante dirigée en sens contraire du mouvement de l'objet incident. La situation est bien présentée comme telle : nulle évocation de situation réelle et le titre "franchir la barrière" ne peut être perçu que comme une formulation métaphorique³.

¹ L'ensemble des fiches-élèves, des commentaires pour le professeur et des simulations sont disponibles sur le site académique de Lyon.

² Logiciel RIP ; distribué par Biolab-Phylab. La version utilisée est IP2000.

³ Évidemment, le concept physique de barrière de potentiel n'est pas du niveau de la terminale

On vous propose de réfléchir sur une simulation simple : un objet de masse m se déplace dans un univers plan constitué de trois régions, selon le schéma ci-dessous : deux zones blanches, où aucune force n'agit sur l'objet, quelle que soit sa position, une zone colorée, de dimension limitée, où une unique force $\vec{F}$, constante et dirigée vers la gauche, agit constamment sur l'objet.



Encadré 2.

La place des activités de prévision / confrontation

Dans chacune des activités proposées figurent des questions de prévision et on attend donc, compte tenu de la nature et de la place de l'activité, que l'élève s'appuie sur ses connaissances "de physicien". Mais dans ce type de situations, notamment en mécanique, on sait que les raisonnements scientifiques sont "en compétition" avec des raisonnements "élémentaires" et le jeu des questions a été choisi en conséquence.

Les activités de prévision présentées ci-dessus sont alors suivies d'une phase de confrontation avec la simulation, confrontation pouvant n'être qu'une simple confirmation de l'exactitude de la réponse permettant de progresser dans l'activité, mais pouvant aussi être la source d'un conflit cognitif. S'il y a écart, alors on attend que les élèves résolvent (ou cherchent à résoudre) le "nouveau problème" : la résolution de ce conflit passe par la capacité des élèves à réinterpréter la situation avec les lois de la physique. Dans *canon*, par exemple, l'étude porte en seconde partie, sur la vitesse d'arrivée au sol en fonction de l'angle de tir:

Selon vous, lorsque l'on modifie l'angle de tir, la valeur de la vitesse de ces boulets lorsqu'ils arrivent au sol est-elle modifiée ? indiquez vos raisons.

En utilisant les fonctionnalités du logiciel IP confrontez votre prévision avec la simulation.

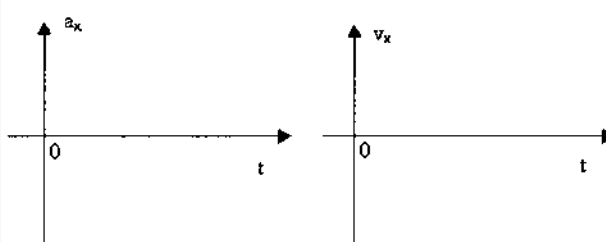
Vos observations sont-elles en accord avec vos prévisions ? Si tel n'est pas le cas, quelle erreur pensez-vous avoir faite ?

Encadré 3.

La place des registres sémiotiques

Dans chacune des activités, nous avons contrôlé le rôle et la place des différentes représentations graphiques. À côté de la représentation figurative du mouvement simulé, d'autres modes d'information sont disponibles : valeurs numériques du temps ou de la vitesse, graphique de l'énergie en fonction du temps ou de l'espace, etc. Suivant les cas, et en conformité avec notre conception des activités, les graphiques font l'objet d'une question de prévision, ou bien sont fournis comme support de la question. Dans tous les cas, ceux-ci apparaissent comme des registres de représentation à mettre en correspondance avec la phénoménologie simulée. L'encadré ci-dessous est relatif à la situation *barrière*.

À l'aide des lois et concepts de la physique que vous connaissez, interprétez les observations faites ci-dessus et précisez la nature du mouvement de l'objet. Représenter ci-dessous les graphiques $a_x(t)$ et $v_x(t)$. Justifiez succinctement le tracé.



Encadré 4.

Méthodologie de prise de données et d'analyse

L'expérimentation de l'activité sur *canon* a été réalisée dans un lycée de la banlieue parisienne avec un professeur non impliqué dans l'élaboration du sujet. La séance s'est inscrite dans la continuité pédagogique pour les élèves (professeur de la classe, salle habituelle, logique de la progression respectée etc.) lors d'une séance de travaux pratiques (2 h) d'une classe de première scientifique. Cette activité a été choisie par l'enseignant pour sa classe considérée comme de niveau "très moyen". La séance a été organisée en fin d'apprentissage de la partie "*travail mécanique et énergie*"; on se plaçait bien ainsi dans une situation où l'activité était intelligible pour les élèves et reposait sur la manipulation d'un modèle connu.

La prise de données a reposé sur le recueil des traces écrites de l'ensemble des élèves et sur les enregistrements vidéo de deux binômes d'élèves volontaires, enregistrements permettant de suivre, durant toute la séance, à la fois les activités des élèves devant leur bureau et de repérer sur l'écran de l'ordinateur les différentes représentations sur lesquelles ils travaillent. Nous avons ainsi recueilli deux vidéos d'environ 110 minutes et 15 productions écrites.

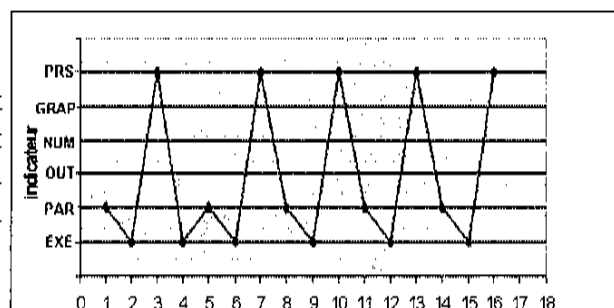
Les situations sont guidées par un jeu de questions rédigées sur la fiche qui leur est distribuée : à chaque paragraphe correspond alors un type de tâche (analyse *a priori* du mouvement du boulet - confrontation à la simulation - interprétation des résultats de la simulation ...). Afin de repérer de manière systématique les extraits de vidéos, et d'étudier notamment la place des activités sur simulation dans la démarche des élèves, nous avons réalisé un découpage en épisodes, chaque épisode recouvrant alors la durée de la réalisation d'une tâche par les élèves observés et constituant donc une unité de sens. Dans le tableau ci-dessous la date du début (d) est relevée quand le binôme D-J commence l'activité et se termine lorsque le binôme commence une nouvelle tâche. Ainsi, relativement à l'extrait ci-dessus (encadré 3) :

Épisode	Repère fiche	Temps	Thème
4	2.1.	(d) 39 :15	A partir de la simulation, représenter les trajectoires pour différents angles de tir
5	2.2.	(d) 45 :03	Vitesse d'arrivée sur le sol
6	2.2.	(d) 55 :15	Confrontation à la simulation
7	2.2.	(d) 57 :56 (f) 1 :07 :10	Analyse de l'erreur

Tableau 1 : exemple de découpage en épisodes (activité *canon* – binôme D-J)

Afin d'étudier les interactions des élèves avec la simulation et préciser les registres sémiotiques sur lesquels ils s'appuient nous avons défini les indicateurs suivants : - exécution de la simulation (EXE), - modification d'un paramètre (PAR), - mise en œuvre d'un outil logiciel (pas à pas, déplacer le curseur, ...) (OUT), - registre sémiotique pris en compte sur l'écran (sur un compteur (NUM), un graphe (GRA), des "objets et phénomènes simulés" (PRS)).

Ainsi par exemple, dans l'épisode 5, pendant la durée (1 min 46 s) où les élèves reprennent seuls la simulation et font divers essais, la représentation ci-contre montre la répétition d'un jeu d'action quasi identique PAR-EXE-PRS.



Les premiers résultats

L'importance du travail d'élaboration collectif et surtout les contraintes d'avancement des programmes scolaires limitent le nombre de réalisations dans les classes. Par ailleurs, le dépouillement des données recueillies nécessite à la fois des moyens techniques et un temps importants. Nous présentons ici les résultats issus d'une première analyse des données mais qui font d'ores et déjà apparaître des éléments de réponse significatifs.

La mobilisation des connaissances

Bien que fondée sur une simulation et la mise en fonctionnement explicite d'un modèle, et ce à l'issue d'une progression sur les notions de travail et d'énergie, les conceptions et raisonnements "élémentaires" auxquels on pouvait s'attendre sont apparus et, ce, parfois massivement. Ainsi dans le cas de la question sur la vitesse d'impact des boulets de canon, les élèves écrivent, après discussion et accord au sein du binôme :

"oui (la vitesse lors de l'impact sera différente) puisque le boulet parcourt une distance différente selon l'angle de tir" ou "oui, plus l'angle de tir est petit, plus la vitesse du boulet avant l'impact sur le sol sera grande, car par exemple avec un angle de -30° (tir vers le bas), il y a deux forces qui s'exercent sur le boulet : la vitesse initiale plus le poids".

La discussion au sein du binôme D-J montre le développement de l'argumentation qui amène D à prévoir une même vitesse d'impact pour le boulet sur le sol quelque soit l'angle de tir (où l'on peut noter l'imbrication des références à la vie quotidienne et aux modèles de physique).

D : quand tu tires vers le bas, t'as le poids et la force du canon et quand tu tires vers le haut t'as plus que le travail du poids,

J : et donc ? et donc pour toi ça serait plus ?

D : non, non, c'est la même vitesse à la fin,

J : mais tu dis que quand ça tire vers en bas il y a deux forces

D : oui mais même, quand tu tires vers en haut ça va plus haut, ça peut prendre plus de vitesse

J : Oui donc il y aura moins de vitesse que quand tu tires vers en bas

D : Mais non quand tu tires vers en bas, il y a les deux forces donc ça compense. En plus il y a la force du canon.

Venant alors que l'analyse énergétique a été reprise par le professeur avec tous les élèves à l'issue de la première partie, on pouvait s'attendre ici qu'ils la mettent en œuvre dans cette seconde partie. Or seuls 6 binômes ont repris un raisonnement énergétique et fait une prévision correcte. Tous les autres soit reviennent à un raisonnement s'appuyant sur des considérations cinématiques ou dynamiques soit font un raisonnement énergétique tronqué :

« lors du cas b et c (tir horizontal et tir vers le bas) il n'y a pas de partie où le travail est résistant donc la vitesse sera plus importante lorsque le boulet touchera le sol ».

Nous avons pu constater ce type de recours/retour aux raisonnements spontanés dans les autres situations expérimentées. Ainsi, l'effet de "concrétisation du modèle" associé à la simulation sur ordinateur n'a pas eu lieu ici pour la majorité des élèves.

La confrontation : le statut de la simulation

L'observation globale de l'activité des élèves lors des séances a permis de constater que, d'une part, ceux-ci n'éprouvaient pas de difficultés au niveau de la manipulation "bureautique" et, d'autre part, qu'ils attribuaient une valeur irréfutable à la "réponse" du logiciel.

Lors des confrontations, les élèves ayant fait une prévision peuvent alors sélectionner sur l'écran les éléments pertinents pour la confrontation et repérer ainsi les points d'accord ou les différences entre leurs prévisions et la simulation. Ainsi lors de la confrontation les élèves du

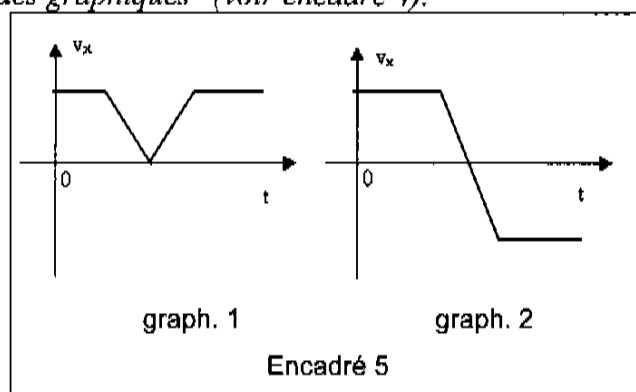
binôme M-P, après un premier essai, reproduisent les séquences PAR – EXE – OUT – NUM pour trois valeurs différentes de l'angle de lancement (45° , 0° et -30°). En avançant pas à pas M et P positionnent le curseur sur le point de la trajectoire le plus proche du "sol", lisent la valeur affichée sur le compteur de vitesse et notent ensuite "*valeurs de V légèrement différentes*" mais prennent en compte dans leurs échanges une valeur identique des vitesses. Elles jugent seules que leurs prévisions (*plus l'angle de tir est vers le bas, plus v augmente*) est en désaccord avec la simulation et mettent en doute leur raisonnement.

Le travail d'analyse des vidéos qui est en cours fait toutefois apparaître des difficultés : si les élèves essaient bien de résoudre le "conflit cognitif" engendré par l'écart entre leur prévision et la simulation, pour autant les enregistrements montrent que sans la médiation de l'enseignant cette ré-interprétation de la situation avec les lois de la physique par les élèves seuls n'est pas toujours réalisée. Comme pour des activités similaires, la vigilance de l'enseignant est ici aussi indispensable.

La lecture des graphiques

Le jeu sur les représentations dynamiques, parfois inhabituelles (pour le professeur comme pour l'élève), leur mise en relation avec la phénoménologie a clairement sollicité leur curiosité et contribué à une réelle implication dans l'activité. Nous n'évoquerons ici que le cas de la situation *barrière* qui nous a permis d'observer un changement de cadre de rationalité tout à fait intéressant à propos de "*prévision des graphiques*" (voir encadré 4).

Les élèves relancent alors la simulation pour observer le phénomène. Une première discussion a lieu sur la question de la vitesse négative, deux représentations étant en "compétition" entre les deux élèves (voir encadré 5). Les arguments portent d'abord sur l'effet de la force constante qui freine, annule la vitesse, puis redonne de l'énergie. Ils se mettent alors d'accord sur le deuxième graphique.



Mais lorsqu'ils passent à la question de la représentation de l'accélération, l'accélération n'est plus vue comme la conséquence de la force constante via la deuxième loi de Newton, mais comme la dérivée de la courbe $v(t)$ adoptée. La discussion revient ensuite "en physique" mais à propos de l'allure de la vitesse qui ne paraît pas "physique" à l'un des élèves (c'est ensuite l'obtention des graphes par la simulation, qui lui fait admettre qu'il peut en être ainsi).

À titre de conclusion

Dans notre travail sur l'utilisation de la simulation pour l'apprentissage de la physique, nous nous sommes intéressés essentiellement à deux questions : l'une porte sur la façon dont les élèves mobilisent leurs connaissances de physique dans le cas d'une activité sur simulation ; l'autre sur l'exploitation par les élèves des différentes représentations disponibles sur l'écran. Ainsi que nous l'indiquions précédemment, les résultats présentés ici sont issus d'une première analyse des données. Mais ils font d'ores et déjà apparaître des éléments de réponse significatifs.

On peut tout d'abord faire une remarque sur la comparaison parfois faite avec les situations expérimentales : nos expérimentations montrent que des investigations sur modèles sont non seulement possibles mais sont sources de véritables questions de physique pour les élèves. L'observation montre qu'ils agissent sur l'environnement simulé dans une démarche d'observation et d'investigation, exploitant spontanément les possibilités de modification des paramètres, de rejouer pas à pas pour analyser un passage, pour rechercher un résultat numérique, etc. La présence simultanée de deux ou plusieurs représentations (registres) en interaction dynamique (la modification de l'un est visible dans l'autre) a permis un jeu de questionnement original dans lequel les élèves sont entrés sans difficultés particulières.

Ensuite, il est frappant de voir que, bien que la simulation repose explicitement sur du formel, ceci n'empêche pas les élèves de se placer dans un cadre de rationalité "familier", de mobiliser alors des connaissances "spontanées" et mettre en œuvre des raisonnements non conformes à la physique qu'ils ont apprise. La différence que nous avons constatée entre les situations que nous avons expérimentées confirme l'importance qu'il faut accorder aux types de représentations et au mode de présentation de la simulation. Ainsi dans *canon*, la seule évocation d'une situation "réaliste" a suffi à faire basculer les élèves dans un cadre de rationalité familier.

Notons enfin que ce type d'activités implique un niveau élevé de compétence chez l'élève : on attend en effet qu'il se place dans une démarche ne reposant pas simplement sur des connaissances livresques qu'il s'agit d'appliquer à l'invite d'une consigne, mais sur sa capacité à mettre en œuvre ses connaissances de physique.

Ce travail d'expérimentation ouvre d'ores et déjà sur une formation d'enseignants. La réflexion sur la place du modèle, les démarches, les changements de registres sémiotiques, etc., est alors induite par les sujets proposés. Les vidéos sont également d'excellents supports : elles montrent à la fois une part du travail privé de l'élève et le rôle de médiateur de l'enseignant.

Bibliographie

BEAUFILS Daniel et RAMAGE Marie-Joëlle, septembre 2004, Simulation informatique et enseignement de la physique : regards didactiques, *Bulletin de l'union des physiciens*, n°866, pp.1081-1090.

BEAUFILS Daniel, RAMAGE Marie-Joëlle et BENEY Michel, octobre 2004,. Objets graphiques manipulables et enseignement de la physique : analyse d'appliquettes, in Actes du colloque TICE2004, 384-390. (<http://www.utc.fr/tice2004>)

BUTY Christian, octobre 2001, Utilisation d'un modèle informatique en classe réelle, in *Actes du colloque de l'ARDIST*, Carry le Rouet, pp.81-89.

GEPS, 2002,. De la simulation... dans/pour l'enseignement de la physique. In *Accompagnement des programmes, Physique, Terminale scientifique*, Paris: SCEREN, pp.63-68. [Fichier, <http://perso.wanadoo.fr/groupeexperts/physique/TG2.doc>]

JOUBERT René, REBMANN Gérard et DESMOND Philippe, 2000, Integration of computer simulation programs in teaching sequences of Newtonian mechanics for freshmen at university. In R. Pinto & S. Surinach (Éds), *Actes International Conference, Physics Teacher Education beyond 2000-PHYTEB*. Barcelone, UAB, Cd Production.

JOUBERT René et REBMANN Gérard, 1998,. L'atelier schéma de l'optique géométrique: un micro-monde et son environnement d'apprentissage, in : *Actes des 8e Journées Nationales Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques, Paris, UdP-INRP*, pp. 183-186.

- KOMIS Vassilis., DIMITRACOPOULOU Angélique et POLITIS Panagiotis. 1998, Contribution à la conception et au développement d'un environnement informatique de modélisation. In J.-F. Rouet & B. De La Passardière (Éds), *Quatrième colloque Hypermédias et Apprentissage*. Paris, EPI-INRP, pp. 263-267.
- MALAFOSSE Didier, LEROUGE Alain et DUSSEAU Jean-Michel, avril 2001, Étude en interdidactique des mathématiques et de la physique de l'acquisition de la loi d'Ohm au collège : changement de cadre de rationalité. *Didaskalia*, n° 18, pp. 61-98.
- MÉHEUT Martine, 1996, Enseignement d'un modèle particulaire cinétique du gaz au collège, questionnement et simulation. *Didaskalia*, n°8, pp. 7-32.
- SANDER Florian, SCHECKER Horst et NIEDDERER Hans , 2002, Computer tools in the Lab – their effect on linking theory and experiment. In Dimitris Psillos et Hans Niedderer (Éds), *Teaching and learning in the science laboratory*. Dordrecht, Kluwer, pp. 219-230.
- SÉJOURNÉ Arnault et TIBERGHIEU Andrée, 2001, Conception d'un hypermédia en physique et étude des activités des élèves du point de vue de l'apprentissage, in : Erica de Vries, Jean-Philippe Pernin & Jean-Pierre Peyrin (Éd) *Actes du 5e Colloque Hypermédias et apprentissages*. Paris, INRP et IHSA, pp. 103-118.
- VINCE Jacques, 2000, *Approches phénoménologique et linguistique des connaissances des élèves de Seconde sur le son. Contribution à l'élaboration et l'analyse d'un enseignement et au développement d'un logiciel de simulation*. Thèse, Université Lyon 2.
- VOSNIADOU Stella, IOANNIDES Christos, DIMITRAKOPOULOU Angélique et PAPADEMETRIOU Efi , August-October 2001, Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, vol. 11, n° 4-5, pp. 381-419.

La cohérence de la lumière et les interférences : histoire des idées et difficultés des étudiants

ROMDHANE Intissar, doctorante, Université Denis Diderot Paris 7, Paris, France.

MAURINES Laurence, professeur, Université de Paris-Sud XI, Orsay, France.

Introduction

Le travail que nous présentons ici fait partie d'une recherche en cours portant sur les difficultés soulevées par l'étude des interférences lumineuses au niveau de l'enseignement supérieur. Elle vise à contribuer à une réflexion sur les objectifs pédagogiques à poursuivre et sur les méthodes à utiliser pour les atteindre. Nous avons commencé notre recherche en nous intéressant à la façon dont les étudiants expliquent des situations d'interférences à deux ondes, aux facteurs auxquels ils relient la figure observée sur un écran et à leur connaissance des conditions d'obtention de cette figure. Comme le premier bilan (Romdhane et Maurines, 2003) a montré que les étudiants ne maîtrisaient pas ces conditions d'obtention (ils connaissent la condition sur la petitesse de la source mais ne savent pas distinguer des sources cohérentes de sources incohérentes ; ils tendent à confondre les critères de cohérence temporelle et spatiale, et à associer le terme de cohérence à source ponctuelle ; ils tendent à confondre interférences et battements et à penser que deux ondes de fréquences différentes peuvent interférer), nous avons voulu explorer plus avant la question de la cohérence. Ce thème ainsi que celui des interférences lumineuses a été peu exploré par la didactique. En effet, peu de recherches concernent l'optique ondulatoire. Il existe des travaux sur la diffraction par une ouverture, les interférences données par les fentes d'Young, la formation des images en éclairage cohérent en présence de diffraction ou d'interférence, la cohérence spatiale (Ambrose, 1999 ; Colin, 1999 ; Maurines, 2000, 2001). Par ailleurs, en ce qui concerne les autres types d'ondes, seuls quelques travaux traitent de la superposition des signaux se propageant sur une corde (Wittmann et al., 1999) ou de concepts relevant de modèles ondulatoires tels que la phase, la surface d'onde et le principe de Huygens (Maurines, 2003). Nous allons tout d'abord présenter les questions auxquelles cet article apporte des éléments de réponse et la méthodologie que nous suivons. Nous donnerons ensuite quelques uns des résultats obtenus.

Questions explorées

Pour que notre travail puisse contribuer à améliorer l'enseignement des interférences aussi bien en Tunisie qu'en France, nous avons été amenées à nous intéresser à la façon dont les interférences lumineuses sont enseignées dans ces deux pays. Les questions que nous explorons ont été déterminées par une étude des programmes d'enseignement tunisien et français ainsi que par une analyse a priori des difficultés des étudiants, analyse en partie inspirée des résultats des recherches précédemment mentionnées et de ceux de notre premier bilan. Nous examinons également les manuels utilisés par les étudiants afin de voir si certaines pratiques enseignantes ne pourraient pas être à l'origine de difficultés. Comme de nombreuses recherches en didactique (Toussaint et Gréa, 1996) montrent que les étudiants

aujourd'hui rencontrent des difficultés analogues à celles surmontées par les scientifiques autrefois, nous nous sommes intéressés à l'histoire des interférences lumineuses afin de dégager quelques hypothèses sur les difficultés susceptibles d'être rencontrées par les étudiants et d'examiner la façon dont les scientifiques ont introduit les concepts nécessaires à l'étude des interférences. Pour cela, nous nous sommes appuyées sur des documents de différentes natures, à savoir des textes scientifiques originaux (Young, 1802 ; Verdet, 1869 ; De Senarmont et al., 1866) et des travaux sur l'histoire de la lumière (Kipnis, 1991 ; Worrall, 1975). Commençons par rappeler quelques notions nécessaires à la compréhension du phénomène d'interférences lumineuses. Nous parlons d'interférences lorsqu'il existe des franges alternativement sombres et brillantes dans la zone commune à deux faisceaux lumineux. Seul un modèle ondulatoire de la lumière fondé sur le principe de superposition des amplitudes peut expliquer ce phénomène : l'amplitude de l'onde résultante est égale à la somme des amplitudes des ondes prises séparément. Par amplitude, il faut entendre amplitude complexe, c'est-à-dire par exemple dans le cas d'une onde plane, l'amplitude initiale de l'onde (au niveau de la source) multipliée par le déphasage dû à la propagation de l'onde depuis la source. Les interférences lumineuses n'existent que dans certaines conditions pour lesquelles les ondes sont dites cohérentes : elles doivent être *synchrones* (avoir la même fréquence) et être *obtenues à partir d'une source unique*. Cette source doit être de plus de *petite dimension*. Pour interpréter les deux premières conditions dans une description classique, on assimile un atome à un oscillateur amorti et on modélise la lumière émise comme une succession de trains d'onde émis aléatoirement. Deux sources identiques et indépendantes, quasi-monochromatiques, donneront lieu à des interférences si la durée des trains d'onde est supérieure au temps de réponse du récepteur. Sinon, il est nécessaire d'utiliser un dispositif permettant de créer deux sources secondaires à partir d'une source primaire de sorte qu'elles soient éclairées par les mêmes trains d'onde incidents et présentent alors un déphasage constant au cours du temps (cela se produit quand la différence des durées de propagation de la source primaire aux sources secondaires est petite devant la durée des trains d'onde). Plus la durée des trains d'onde est grande, plus la largeur du spectre en fréquence est petite, plus la cohérence temporelle est grande. Pour interpréter la troisième condition, on considère qu'une source primaire de lumière est constituée d'un grand nombre d'atomes émettant de manière indépendante et que la figure d'interférences donnée par deux sources secondaires est égale à la superposition des figures d'interférences données par chaque atome. Une source primaire étendue donnera des interférences si le décalage des figures d'interférences dû à la différence des durées de propagation entre les différents points de la source et le point d'observation est petit devant l'interfrange. Plus la dimension de la source est petite, plus la différence des durées de propagation depuis les deux points les plus éloignés de la source à un point donné de l'espace est petite, plus la cohérence spatiale est grande. Pour caractériser les cohérences temporelle et spatiale, on peut également introduire la longueur et la largeur de cohérence, c'est-à-dire la longueur occupée par un train d'onde selon une direction de propagation et la largeur transversale à la direction de propagation pour laquelle la durée de propagation depuis la source est constante.

L'analyse historique et les résultats de l'étude exploratoire nous ont conduites à affiner notre analyse du domaine conceptuel et des difficultés susceptibles d'être rencontrées par les étudiants et à élargir notre domaine d'investigation. La nouvelle enquête que nous avons entreprise cherche à apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- quelles grandeurs caractéristiques des trains d'onde émis par deux sources (durée, amplitude, déphasage...) les étudiants associent-ils à la cohérence temporelle ?
- les étudiants connaissent-ils les différentes grandeurs caractérisant la cohérence temporelle (durée d'un train d'onde, largeur du spectre en fréquence) et la cohérence spatiale (largeur de la source, largeur de cohérence) ? Les différencient-ils ou les confondent-ils ?

- les étudiants font-ils un lien entre les deux grandeurs caractérisant la cohérence temporelle ? Font-ils un lien entre les deux grandeurs caractérisant la cohérence spatiale ?
- utilisent-ils le modèle du train d'onde pour interpréter des situations de cohérence partielle ?
- rencontrent-ils des difficultés similaires à celles rencontrées par les scientifiques autrefois ?

Méthodologie

Nous avons construit trois nouveaux questionnaires. Au total, 249 étudiants ayant reçu un enseignement universitaire sur l'optique ondulatoire ont été interrogés. Pour la moitié d'entre eux, l'enseignement était de niveau CAPES, pour les autres de niveau Licence et classes préparatoires côté français, et niveau maîtrise côté tunisien. Nous avons regroupé les résultats obtenus, ceux-ci ne faisant pas apparaître de différence significative. Notons que l'enseignement suivi par les différentes populations était très voisin.

Détour par l'histoire

Young a le premier contribué à expliquer les interférences lumineuses. Si sa compréhension du phénomène a été limitée, cela n'a pas été le cas de Fresnel.

Explications des interférences lumineuses

données par Young

Young s'est tout d'abord intéressé aux franges colorées données par les lames minces, éclairées par la lumière blanche. Il a tenu compte des réfractions et réflexions partielles aux interfaces et utilisé le principe de superposition des vibrations en introduisant la notion de phase : « *la lumière homogène, à certaines distances égales, prises dans la direction de son mouvement, possède des qualités opposées capables de se neutraliser ou de se détruire tour à tour, et d'éteindre la lumière, quand il arrive qu'elles s'unissent ; ces qualités se succèdent alternativement sur des surfaces sphériques successives et concentriques à des distances qui sont constantes pour la même lumière traversant le même milieu* » (*Philosophical transaction*, 1802). Puis il a effectué une série d'expériences dont celle qui porte son nom. En perçant deux trous dans une plaque opaque et en l'éclairant, il a observé une série de franges alternativement sombres et brillantes alors que la théorie corpusculaire prévoyait l'observation, sur un écran situé derrière la plaque, de deux taches ou d'une simple tache lumineuse plus brillante à l'endroit où les deux faisceaux se superposaient. Young a donné une interprétation erronée de ce phénomène d'interférences en considérant que la lumière incidente se superposait à la lumière réfléchi ou réfractée par les bords des trous. Au cours de ses travaux, Young a introduit la notion de "*longueur d'ondulations*" – appelée aujourd'hui "*longueur d'onde*", ainsi que la relation reliant l'interfrange (distance séparant les franges) à la distance séparant les fentes et celle les séparant de l'écran d'observation $i = \frac{\lambda D}{a}$.

données par Fresnel

A partir de 1814 et sans connaître les derniers travaux de Young, Fresnel a également fait appel aux notions de phase et de longueur d'onde, et a expliqué les phénomènes de diffraction et d'interférences donnés par le dispositif d'Young. Il a considéré que des points de l'onde sphérique lumineuse, émise par une source ponctuelle et non arrêtée par l'écran, sont issus des rayons diffractés et a appliqué le principe des "*intersections de ces ondulations*" – nous

dirions "vibrations" – se propageant suivant les rayons diffractés. En un point de rencontre de deux rayons diffractés, nous pouvons évaluer la différence des longueurs parcourues par la lumière, sur chacun de ces rayons, depuis leurs origines respectives prises sur la surface d'onde. En effet, suivant que cette différence est égale à un nombre pair ou impair de demi-longueurs d'onde, les effets des deux rayons se sont cumulés ou se sont annulés. Indiquons aussi que pour s'affranchir du phénomène de diffraction, il a introduit un nouveau dispositif interférentiel connu sous le nom de miroirs de Fresnel. Par ailleurs, il a retrouvé par le calcul l'aspect hyperbolique des figures d'interférences en donnant aux vibrations lumineuses une forme sinusoïdale (Kipnis, 1991).

Conditions d'obtention des interférences lumineuses

données par Young

Entre 1801 et 1807, Young a donné plusieurs versions des conditions d'obtention des interférences lumineuses pour finalement en donner d'incomplètes. Il a commencé par travailler avec les lames minces et a utilisé une source étendue (la flamme d'une bougie). Pour expliquer cette situation, il a fait l'approximation que la flamme est ponctuelle (Worrall, 1975). Par ailleurs, il a considéré que la lumière blanche est constituée de plusieurs lumières monochromatiques et que la disparition des franges colorées résulte de la superposition des figures d'interférences obtenues pour chaque lumière monochromatique. En ce qui concerne l'expérience des fentes, il a juste précisé que pour la réussir, il faut une source primaire de très petite dimension et une distance source-trous très grande. Il n'a pas donné d'informations supplémentaires si bien que d'autres n'ont pas pu la réaliser et n'a proposé aucune explication. Il a conclu que deux ondes cohérentes doivent avoir la même fréquence, une origine commune et un faible angle entre les deux ondes (tout en omettant le fait que la différence de marche doit être faible et que la source lumineuse doit être de petite dimension).

données par Fresnel

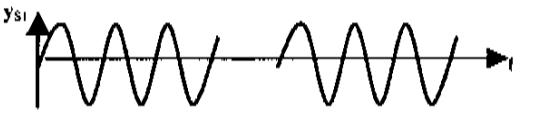
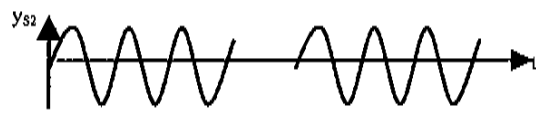
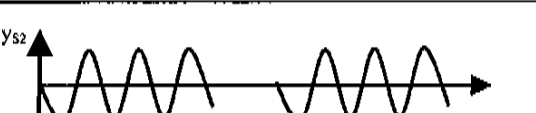
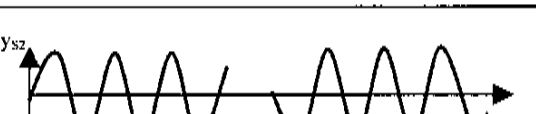
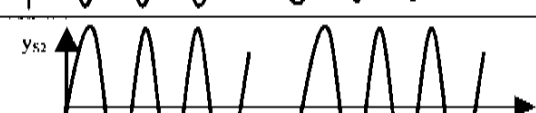
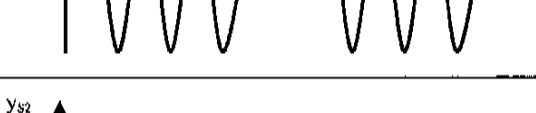
Entre 1815 et 1822, Fresnel a énoncé et interprété toutes les conditions d'obtention des interférences. Il a expliqué la condition sur l'origine commune en introduisant un nouveau concept, celui du train d'onde : *« il faut considérer chaque particule comme exécutant toujours, pendant quelques instants, une série nombreuse d'oscillations semblables avant de s'arrêter, ou de changer de nature de vibration, c'est-à-dire, supposer une certaine persistance de mouvement dans les centres d'ébranlement. (...) Il est naturel de supposer aussi qu'il faut une certaine succession de ces petits chocs pour ébranler la rétine, et qu'une seule pulsation lumineuse ne produirait pas la vision. Nous supposons donc sur chaque rayon lumineux une succession nombreuse et même indéfinie d'ondulations semblables »* (De Senarmont et al., 1866, p. 201). Il a également considéré que les émissions de deux sources indépendantes ne sont pas corrélées : *« la même chose n'a plus lieu lorsque les ondulations qui se rencontrent proviennent de deux sources différentes ; car s'il n'y a aucune dépendance entre les deux vibrations, l'instant du départ d'un système d'onde ne sera pas lié à l'instant du départ des ondes voisines, puisque la cause quelconque qui les engendre n'opère pas des changements simultanés dans les deux points lumineux ; dès lors les lignes d'accord et de discordance varieront de place continuellement, et l'œil n'aura plus que la sensation d'une lumière uniforme »* (ibid.). Comme Young, il a considéré la lumière blanche comme une superposition de lumières monochromatiques mais il n'a pas fait le lien entre la décomposition spectrale et le modèle du train d'onde. Contrairement à Young, il a pris en compte la dimension de la source et considéré que chaque point de la source donne sa propre figure d'interférence. Il a expliqué comment la dimension de la source influe sur la visibilité des franges en distinguant les dispositifs à division du front d'onde et d'amplitude.

Résultats

Les étudiants et le modèle du train d'onde

Commençons tout d'abord par indiquer les conditions de cohérence des trains d'ondes issus de deux sources différentes. La condition nécessaire et suffisante est que le déphasage entre les trains d'ondes se propageant au cours du temps soit constant. De plus, les trains d'ondes doivent avoir la même fréquence. Notons que l'amplitude des trains d'onde n'influence pas leur cohérence temporelle. Nous avons proposé aux étudiants ($N=116$) plusieurs formes de trains d'ondes émis par deux sources ponctuelles et leur avons demandé de dire si les sources sont cohérentes ou non et d'expliquer pourquoi. Les situations et les résultats sont donnés dans le Tableau 1. Alors qu'à la première situation présentant des trains d'ondes en phase avec ceux de la situation de référence, la quasi-totalité des étudiants (97%) répond correctement, à savoir que les deux trains d'ondes sont cohérents temporellement, ils ne sont plus que 72% à le faire dans le cas où les trains d'ondes sont en opposition de phase (deuxième situation). A la troisième situation mettant en jeu deux trains d'ondes se propageant avec un déphasage variable au cours du temps, un petit nombre d'étudiants (14%) répond de manière incorrecte en disant qu'il existe une cohérence temporelle entre ces deux trains d'ondes. Sur les 10 justifications fournies, les étudiants font référence à des termes spatiaux alors qu'il fallait utiliser des termes temporels : « *même longueur d'onde* ». Tout de même, la plupart des étudiants (85%) répondent correctement.

Tableau 1 : y_{s2} est-il cohérent avec y_{s1} ?

Situation de référence		Oui	Non	Non Réponse
Situation 1		97%	0%	3%
Situation 2		72%	24%	4%
Situation 3		14%	85%	1%
Situation 4		83%	13%	4%
Situation 5		28%	67%	5%

A la quatrième situation où l'amplitude des trains d'ondes est plus grande que dans la situation de référence, une majorité d'étudiants (83%) répond correctement. Sur les 33 justifications données, seulement 11 étudiants mentionnent explicitement que l'amplitude

n'influence pas la cohérence temporelle. Cependant quatre étudiants utilisent des termes spatiaux à savoir que « *les deux trains d'ondes ont une même longueur d'onde* ». Quinze étudiants (13%) répondent d'une manière incorrecte en disant que ces deux trains d'ondes ne sont pas cohérents temporellement puisque « *l'amplitude a augmenté* ». Une sixième situation non représentée dans le Tableau 1 où les trains d'ondes sont amortis (l'amplitude décroît au cours du temps), a été également proposée aux étudiants. Elle a obtenu le nombre de non-réponses (9%) le plus élevé et le même nombre d'étudiants qui font dépendre la cohérence des trains d'ondes de leur amplitude. Les autres répondent correctement (78%), mais le nombre de justifications est moindre. En effet, sur seulement 17 justifications, 2 étudiants indiquent que l'amplitude n'influence pas la cohérence temporelle. A la cinquième situation où la période des trains d'onde est de moitié celle de référence la plupart des étudiants (67%) répond de manière correcte à savoir, que la cohérence temporelle n'est pas réalisée dans ce dernier cas, puisque la période du deuxième train d'onde est différente du premier. Il y a cependant un nombre important de réponses erronées (28%).

Si le questionnaire précédent montre que les étudiants connaissent le modèle des trains d'onde, un autre questionnaire montre que cette connaissance n'est pas opératoire. En effet, si la majorité des étudiants (82%, N=65) répond qu'il y a une translation des franges quand une lame de verre est placée devant l'un des deux trous d'Young, très peu signalent la disparition des franges et encore moins justifient ce phénomène par le modèle du train d'onde.

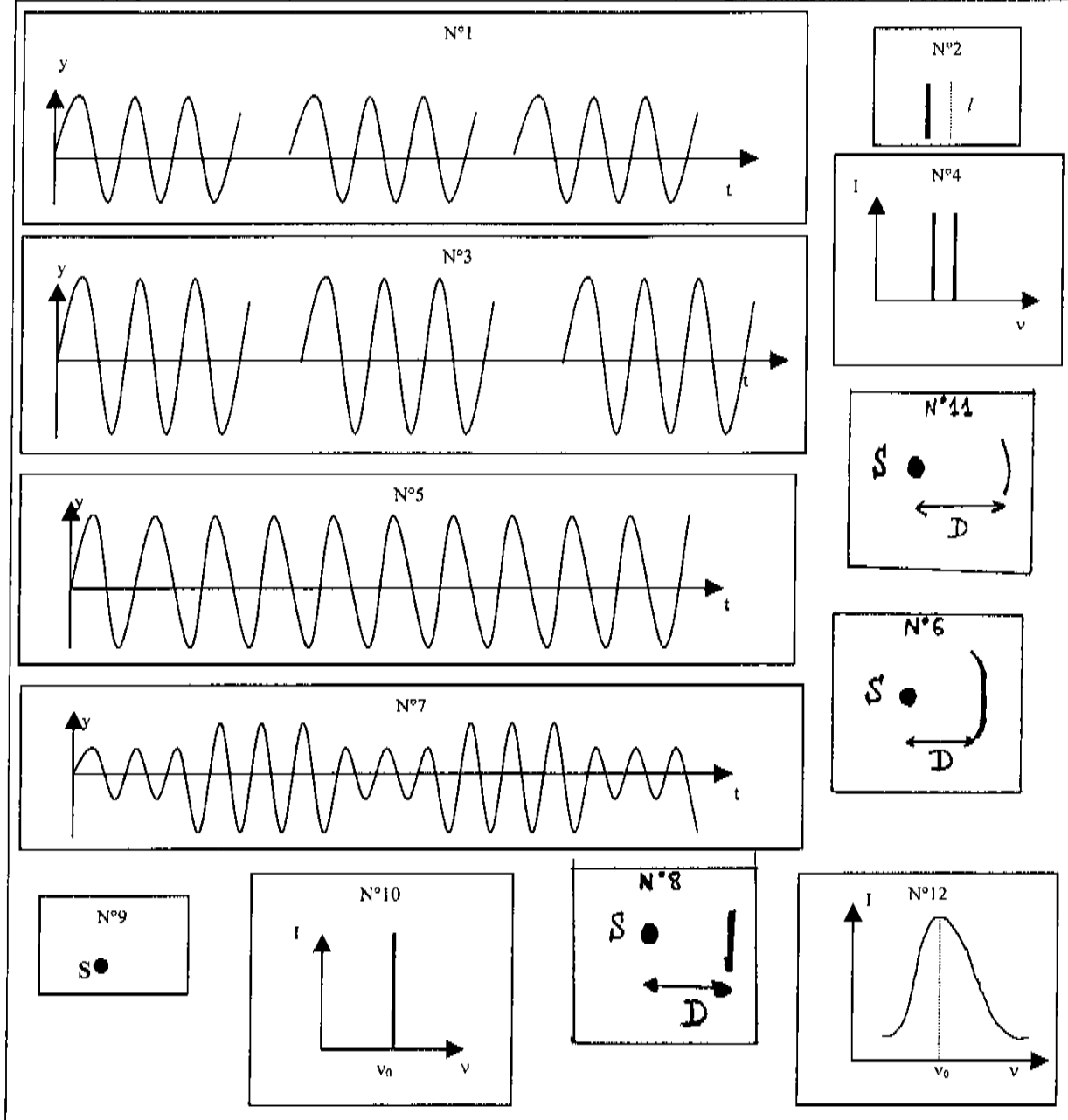
Les étudiants et les grandeurs caractéristiques des cohérences temporelle et spatiale

Nous avons élaboré un questionnaire portant sur plusieurs fiches (Tableau 2) donnant des schémas permettant de caractériser la cohérence temporelle ou spatiale de différentes sources lumineuses. Les fiches concernant la cohérence temporelle présentaient des trains d'ondes ou des ondes de formes différentes ou des spectres de telles ondes ; les fiches concernant la cohérence spatiale présentaient des sources de différentes dimensions (ponctuelle ou non) ou différentes largeurs de cohérence (sphérique ou plane). Dans un premier temps, nous avons demandé aux étudiants (N=83) de déterminer les fiches caractéristiques de la cohérence temporelle et de la cohérence spatiale. Dans un deuxième temps, nous leur avons demandé de les classer par ordre de cohérence croissant. Les fiches illustrant la cohérence temporelle sont classées comme suit : "1=3<5<7" et "12<4<10" et celles de la cohérence spatiale : "2<9" et "6=8<11". En ce qui concerne la cohérence temporelle, 80% des étudiants choisissent des fiches correctes. 51% d'entre eux ne citent qu'un critère (trains d'ondes 33%, spectres 18%). 31% ont compris qu'il existe un lien entre les différentes représentations données en donnant les deux critères. Il y a tout de même quinze étudiants (18%) qui ne distinguent pas les critères spatiaux des critères temporels.

En ce qui concerne la cohérence spatiale, 35% des étudiants ont recours à des critères temporels : tout se passe comme si les étudiants ne comprenaient pas que l'élongation de l'onde émise au cours du temps est une caractéristique temporelle et non spatiale. Pour les 49% qui ont correctement répondu, la moitié environ se focalise sur un seul critère (largeur de cohérence 11%, dimension de la source 16%), les autres sur deux critères (23%). Seulement 22% des étudiants qui ont donné des fiches correctes pour la cohérence temporelle (n=66) donnent un ordre exact : 8% sur les trains d'ondes, 11% sur les spectres, 4 étudiants sur les deux. Les autres étudiants n'ont pas classé (46%) ou bien ont donné un ordre faux (23%). En ce qui concerne la cohérence spatiale, 9 étudiants seulement donnent un ordre correct en privilégiant le critère dimension de la source ; 13 étudiants donnent un ordre faux et 20 n'arrivent pas à le faire.

Tableau 2

Données : l'élongation de l'onde émise par la source au cours du temps $y(t)$ (fiches n°1,3,5,7), le spectre de l'onde $I(\nu)$ (fiches n°4,10,12), la dimension de la source (fiches n°2,9), largeur de cohérence (fiches n°6,8,11).



Conclusion

Les résultats précédents montrent une maîtrise limitée du modèle du train d'onde :

- la majorité des étudiants sait que deux sources sont cohérentes temporellement si les trains d'onde émis présentent un déphasage constant au cours du temps. Cependant, ils tendent à associer « cohérent » à « en phase ». Seule une minorité caractérise la cohérence temporelle par deux critères (la moitié d'entre eux ne raisonnent que sur la durée du train d'onde) et réussit à classer les sources dans un ordre croissant de cohérence temporelle. Par ailleurs, le modèle du train d'onde n'est pas utilisé pour interpréter des situations de cohérence partielle.

De plus, nous retrouvons des erreurs connues : l'existence d'un lien entre la phase et l'amplitude d'une onde, et la confusion entre les descriptions temporelle et spatiale d'une onde (Maurines 2001, 2003).

- comme dans les situations expérimentales présentées dans le premier bilan, les étudiants confondent les critères de cohérences spatiale et temporelle. Cependant, contrairement à ces situations où la dimension de la source était le critère retenu et où « cohérent » semblait correspondre à « ponctuel », les étudiants associent ici la cohérence spatiale à la description temporelle d'une onde. Signalons par ailleurs que très peu d'étudiants classent les sources dans un ordre croissant de cohérence spatiale et caractérisent cette cohérence par deux critères.

L'histoire des interférences lumineuses montre que l'énoncé des conditions d'obtention des interférences n'a pas été immédiat. Young en a proposé plusieurs versions mais en a finalement donné une incomplète. Fresnel les a toutes énoncées et interprétées. Celui-ci a introduit le modèle du train d'onde pour rendre compte des conditions de cohérence temporelle liées à la source unique. Il n'a pas fait le lien avec la décomposition spectrale de la lumière blanche. Il a considéré que la source étendue est un ensemble de points émettant indépendamment les uns des autres. L'étude précédente demande encore à être affinée, cependant il semble que les étudiants aient les mêmes difficultés que les scientifiques autrefois à énoncer et interpréter les conditions d'obtention des interférences.

Bibliographie

- AMBROSE Bradley S et SCHAFER Peter S et STEINBERG Richard N et MCDERMOTT Lillian C, 1999, "An investigation of student understanding of single-slit diffraction and double slit-interference", *American Journal of Physics*, United States of America, American Institute of Physics, vol 67, n°2, pp. 146-155.
- COLIN Philippe, 1999, *Deux modèles dans une situation de physique : le cas de l'optique ; difficultés des étudiants, points de vue des enseignants et proposition pour structurer des séquences d'enseignement*, Thèse, Université Paris 7.
- DE SENARMONT Henri et VERDET Émile et FRESNEL Lénor, 1866, *Œuvres Complètes d'Augustin Fresnel*, Paris, Imprimerie Impériale.
- KIPNIS Nahum, 1991, *History of the principle of interference of light*, Berlin, Birkhäuser Verlag.
- MAURINES Laurence, 2000, "Les étudiants, la diffraction de Fraunhofer et la formation des images en éclairage cohérent", *Didaskalia*, Lyon, INRP, n°17, pp. 55-99.
- MAURINES Laurence, 2001, *Le raisonnement géométrique en termes d'objet dans la physique des ondes*, Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université Paris Sud.
- MAURINES Laurence, 2003, "Analyse des difficultés des étudiants à propos des concepts de phase et de surface d'onde, du principe de Huygens", *Didaskalia*, Lyon, INRP, n°22, pp. 9-39.
- ROMDHANE Intissar et MAURINES Laurence, 2003, "Les étudiants et les interférences lumineuses : résultats d'une enquête exploratoire", in : actes du colloque 3èmes Rencontres Scientifiques de l'A.R.D.I.S.T., *Recherches en Didactique des Sciences et des Techniques : Questions en débat*, (Toulouse), pp. 165-172.
- TOUSSAINT Jacques et GRÉA Jean, 1996, "Construire des concepts et mettre en oeuvre des raisonnements, ce que peut apporter un regard sur l'histoire des sciences", in : Jacques TOUSSAINT (coord.), *Didactique appliquée de la physique-chimie*, Paris, Nathan, pp. 86-118.
- VERDET Émile, 1869, *Leçons d'optique physique*, vol 1, Paris, Imprimerie Impériale.
- WITTMANN Michael C et STEINBERG Richard N et REDISH Edward F, 1999, "Making sense of how students make sense of mechanical waves", *The Physics Teacher*, n°37, pp. 15-21.
- WORRALL John, 1975, *The 19th Century revolution in optics : a case study in the interaction between philosophy of science and history and sociology of science*, Thèse, Université de London.
- YOUNG Thomas, 1802, "The Bakerian Lecture. On the theory of light and colours", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, London, Royal Society of London, vol 1, n°42, pp. 12-49

Représentations graphiques de la structure de la Terre par des élèves de l'école élémentaire : obstacles et perspectives

ROUBAUD Jean-Louis, association Quartz, IUFM de Nice, France

Introduction

Nous avons constaté lors d'une recherche antérieure (ROUBAUD 2001), les difficultés que peuvent avoir des sujets, même adultes, pour représenter séismes, volcans et surtout structure de la Terre. Dans un même temps, les progrès de la PAO aidant, les manuels présentent des illustrations certes de plus en plus attractives, mais dont il n'est pas certain qu'elles soient comprises par les élèves. Cette communication expose les travaux préliminaires à la mise en place d'un dispositif, bâti à partir de l'imagerie 3D, visant à améliorer l'apprentissage des dimensions spatiales des objets géologiques. Dans un premier temps nous nous sommes intéressés à l'espace d'un point de vue théorique, puis à la relation entre construction de l'espace et développement du sujet. La compréhension « spontanée » par les élèves des techniques utilisées pour représenter l'espace (perspectives...) fait l'objet de discussions. Nous exposerons ici les résultats d'une analyse des représentations graphiques d'élèves du cycle 3 sur la structure de la terre qui nous conduiront à questionner le niveau de conceptualisation des élèves de cet âge et leur capacité à appréhender les figures présentées dans les manuels.

Cadre Théorique

Les différents types d'espace

Une analyse des textes de divers auteurs permet de grossièrement distinguer (pour l'étude qui nous intéresse) deux types d'espace : un espace non formalisé dans lequel le sujet évolue, qui peut être appréhendé par le biais des sens : espace représentatif de Poincaré, espace physique de Laborde ; un espace construit théoriquement : géométrie de Poincaré, théorique de Laborde, modélisations de Berthelot et Salin. Brousseau (1983 in Berthelot et Salin) et Galvez (1985 in Berthelot et Salin) décrivent trois types d'espace qui vont nous servir de référence : Le **micro-espace** ou espace des interactions liées à la manipulation des petits objets est l'espace immédiat du sujet, sous le contrôle du toucher et de la vue. Le **méso-espace** est : « ... une partie de l'espace accessible par une vision globale, obtenue à partir de perceptions successives mais de durées minimales ». Dans le **macro-espace** : la vision globale est impossible, seule la conceptualisation permet de construire une représentation de l'espace considéré. Les trois espaces ainsi définis servent de base à l'étude de l'interaction entre le sujet et l'espace dans lequel il se déplace. Le sujet a une action effective dans chacun de ces espaces, mais les différences d'échelle induisent des niveaux de conceptualisation différents. La difficulté des représentations graphiques de la structure de la Terre, réside dans le fait que l'objet représenté est de l'ordre du macro-espace et sa représentation du micro-espace.

Caractéristiques spatiales de la structure de la terre

La terre est habituellement représentée, d'un point de vue graphique, par la figure géométrique qu'est la sphère. Si nous considérons maintenant sa structure, d'un point de vue purement spatial, nous introduisons par rapport aux concepts de géographie une troisième dimension. Les seules données spatiales que nous ayons de l'intérieur de la terre (agencement des différentes structures les unes par rapport aux autres) nous sont données par des mesures, les mêmes qui vont nous éclairer aussi sur les propriétés physiques et chimiques de ces espaces. Si intrinsèquement l'objet Terre appartient au monde physique, l'être humain doit pour en rendre compte conceptualiser dans un espace représentatif qu'il se crée pour lui-même. Pour l'individu, la globalité spatiale de la Terre appartient à un espace conceptuel modélisé.

Évolution des rapports des individus à l'espace

Nous n'entrerons pas dans le détail des travaux relatifs à ce sujet. Nous signalerons seulement sur la base des travaux de Pêcheux (Pêcheux 1990) deux approches : l'approche neurophysiologique et l'approche piagétienne. Dans l'approche neurophysiologique, la représentation de l'espace serait liée à la maturation du système nerveux. Cependant, les difficultés rencontrées par les adultes montrent que si la maturation est nécessaire, elle n'est pas suffisante. Dans l'approche piagétienne une hiérarchie des géométries est mise en relation avec une hiérarchie des stades de développement. Il apparaît en fait dans cet ouvrage que du point de vue des psychologues, la question de la relation entre la constructions de l'espace et l'évolution du sujet n'est pas tranchée. Il existe certes les stades définis par Piaget, mais se pose alors la question de l'apprentissage, question en fait centrale, que nous retrouverons plus loin.

La représentation graphique

L'évolution des rapports des sujets à l'espace ne permet d'expliquer qu'en partie les difficultés qu'ils rencontrent pour appréhender l'espace. Si les représentations graphiques permettent une meilleure appréhension de l'espace, des difficultés liées aux techniques (au sens large) de représentation de l'espace se font jour. Vérillon et Rabardel soulignent que ces difficultés peuvent être de deux ordres : d'origine interne ou externe au sujet (Vérillon, Rabardel, 1993). L'utilisation des représentations graphiques dans l'expression d'un espace et de ses propriétés n'est donc pas « un allant de soi » et doit faire l'objet d'une éducation préalable. Cependant Baldy souligne que : « *L'organisation spatiale de l'espace graphique est basée sur un ensemble de conventions culturellement admises.* » (Baldy & Coll., 1993). Le sujet met, le plus souvent, sur la représentation graphique **ses propres codes** et l'information transmise peut alors être différente de celle prévue initialement.

Questions de recherche

Nous avons deux niveaux de questionnement. Le premier afférent à une problématique pratique concerne la capacité des élèves à décoder les schémas de la structure de la Terre qui leurs sont présentés dans les manuels. Cette problématique n'est pas nouvelle, M. Kastenbaum entre autres, analysait les schémas (non spécifiquement géologiques) des manuels scolaires (Kastenbaum, 1979). Le deuxième, théorique, s'inscrit dans le champ des questions posées dans une contribution de psychologues et de didacticiens à l'étude de la construction des savoirs spatiaux (Bessot & Vérillon coord., 1993). La construction de ces savoirs est-elle culturelle et implicite comme le défendent certains auteurs ou au contraire

nécessite-t-elle, comme le soutiennent d'autres, un apprentissage formalisé ? Nous ne répondrons pas à ces questions dans cette communication, notre réflexion se situant bien en amont pour l'instant. Nous envisagerons seulement des pistes à partir des représentations graphiques montrées par les élèves. Les sciences de la Terre recèlent de ces objets qui ne peuvent, partiellement ou dans leur totalité, être appréhendés par le biais des sens : volcans, séismes, structure de la Terre... et nécessitent des représentations graphiques.

Résultats

L'étude porte sur 201 élèves de cycle 3 auxquels nous avons posé la question suivante : « Imagine que l'on coupe la terre la Terre en deux, que vois-tu à l'intérieur. Tu peux faire un dessin. ». Les productions ne sont pas ici analysées en termes de conceptions. Nous nous sommes intéressés à la manière dont la Terre est représentée indépendamment des savoirs mis en jeu par les élèves. Notre propos est de faire un « état des lieux » sur la façon de représenter la structure de la Terre chez des élèves qui doivent rencontrer cet objet dans leur enseignement. Nous regarderons ultérieurement si l'on peut relever une évolution en fonction de l'année du cycle.

Nous avons distingué quatre types de productions graphiques. Le type 1 (fig. 1 et 2) présente une « coupure », les hémisphères sont distingués, mais ne montrent que leurs surfaces, l'intérieur n'est pas visible. Le plan de coupe est perpendiculaire au plan de la feuille et peut être vertical ou horizontal. Le type 2 (fig. 3) montre l'intérieur de la terre structuré en couches concentriques (nous n'avons pas tenu compte de la conformité scientifique) comme dans la plupart des manuels. Un type hybride que nous avons baptisé 1+2 montre deux couches concentriques, la plus interne représentant le noyau et la plus externe montrant : montagnes, océans, volcans... C'est-à-dire la surface du globe. Enfin le type 3 (fig. 4), concernant très peu d'élèves, présente une volonté de représentation en perspective telle qu'elle est présente dans certains manuels, et montre une maîtrise technique déjà conséquente. Certains assimilent la Terre et le sol et dessinent des racines, des vers de terre etc. Enfin 35 élèves n'ont pas fourni de réponses. Les résultats sont présentés dans le graphique suivant :

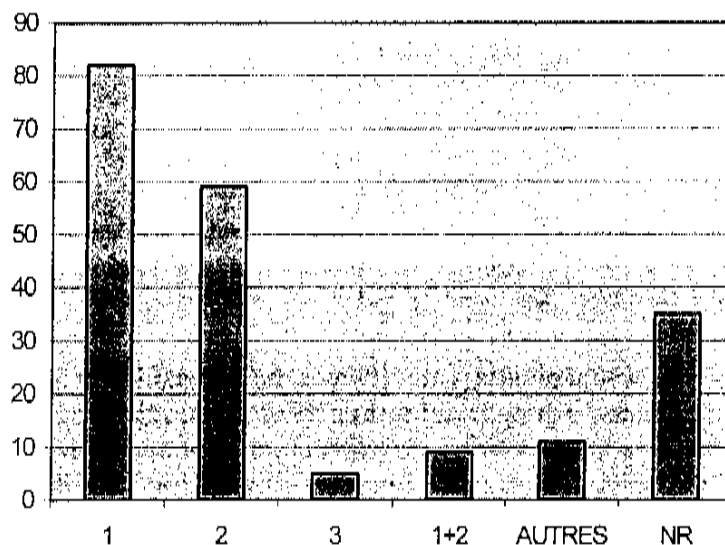




Fig. 1

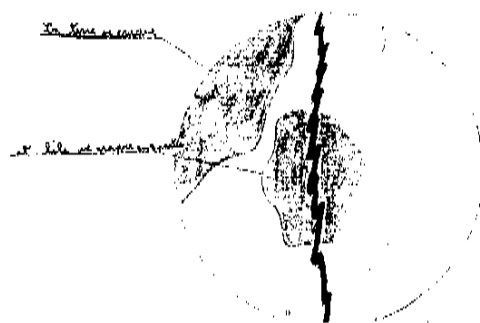


Fig. 2

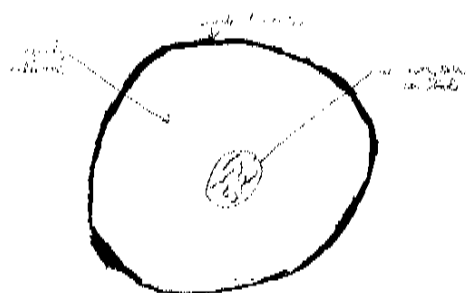


Fig. 3

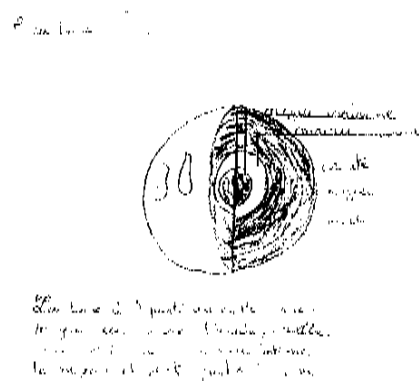


Fig. 4



⑤ Structure du globe terrestre
Fig. 5

Nous constatons donc que seul un tiers des élèves représentent l'intérieur de la Terre. Il semble qu'il y ait un obstacle « pour retourner vers soi » les hémisphères afin de voir l'intérieur. La question se pose alors de savoir si cette absence est le fait d'une incompréhension de la consigne, d'un défaut de conceptualisation - les élèves étant incapables de se représenter pour eux-même l'intérieur de la terre, ou de difficultés d'ordre technique dans la représentation graphique. Les manuels scolaires usent de représentations présentant la Terre en section et en 3D (fig. 5). Ces premiers résultats interrogent sur la compréhension que

peuvent en avoir les élèves en dehors de tout enseignement sur les codes qui régissent les schémas présentés.

Conclusion

Nous avons voulu ici poser les bases d'une réflexion pour la mise en place d'un dispositif didactique. La phase suivante de l'étude s'intéressera à la compréhension des schémas des manuels à la lumière des productions des élèves. Les données théoriques sur les modélisations de l'espace et la relation entre développement de l'individu et construction de l'espace éclairent les résultats, si nous ne pouvons conclure (peut-être eu égard à l'âge des élèves) sur la dimension implicite car culturelle de la compréhension des représentations graphiques, nous pensons que l'exécution de ce type de représentations demande un enseignement.

Perpectives

Deux phases sont envisagées pour la suite de l'étude. Une approche « papier crayon » où un objet (sphère, sphère tronquée...) est présenté à l'élève qui doit le représenter graphiquement, ceci pour tester les capacités ou incapacités techniques des élèves à mettre en œuvre une représentation graphique. Puis, l'ordre indiffère peu, des objets seront présentés aux élèves qui devront à partir d'un panel de représentations graphiques, associer celle(s) représentant l'objet, afin d'analyser les capacités de reconnaissance des propriétés morphologiques d'un objet « réel » transposées sur un plan. Dans ces deux cas, la différence essentielle cependant par rapport à la représentation de la Terre, est que l'objet et sa représentation appartiennent tous les deux au micro-espace. Ceci nous donnera des éléments pour répondre à la question, que nous considérons comme une hypothèse forte : les difficultés ne viendrait-elle pas du fait que l'objet et sa représentation n'appartiennent pas au même type d'espace théorique (macro-espace et micro-espace) nécessitant ainsi une conceptualisation ?

Nous réfléchissons pour une deuxième phase à l'utilisation des techniques de l'imagerie 3D pour répondre aux questions émergentes, en s'affranchissant notamment des contraintes liées aux techniques de représentations graphiques, ceci afin de cerner plus rapidement la conceptualisation de la structure de la Terre qu'ont les élèves du cycle 3 de l'école élémentaire.

Bibliographie

BALDY René, CHATILLON, Jean.-François et CADOPI Marielle, 1993, Dessin plan, dessin en perspective. Étude des effets de transfert chez des adultes débutants. In : A. Bessot., P. Vérillon (coord), *Espaces graphiques et graphismes d'espaces. Contribution de psychologues et de didacticiens à l'étude de la construction des savoirs spatiaux*. Grenoble, La Pensée Sauvage, pp 17-34.

BERTHELOT René et SALIN Marie-Hélène, 1992, *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire*. Thèse Université Bordeaux 1.

BESSOT Annie et VÉRILLON Pierre (coord.), 1993, *Espaces graphiques et graphismes d'espaces. Contribution de psychologues et de didacticiens à l'étude de la construction des savoirs spatiaux*. Grenoble, La Pensée Sauvage.

KASTENBAUM Michèle, 1979, « Les schémas des manuels scolaires : difficultés et diversités des prescriptions et des analyses », *Enfance*, n°2, pp. 159-167.

LABORDE Colette, 1988, « L'enseignement de la géométrie en tant que terrain d'exploration de phénomènes didactiques », *Recherches en didactiques des mathématiques*, 9/3 pp.37-364.

PECHEUX Marie-Germaine, 1990, *Le développement des rapports des enfants à l'espace*. Nathan Université.

ROUBAUD Jean-Louis, 2001, *Une approche de la Transposition Didactique : étude des conceptions d'étudiants de première année d'IUFM sur les grands phénomènes géologiques, objets à enseigner à l'école élémentaire*. Thèse Université Aix-Marseille 1. Université de Provence.

VÉRILLON Pierre et RABARDEL Pierre, 1993. De l'analyse des compétences à l'élaboration de contenus : contribution de la psychologie et de la sémiologie à la conception en ingénierie didactique. A. Bessot., P. Vérillon (coord.), *Espaces graphiques et graphismes d'espaces. Contribution de psychologues et de didacticiens à l'étude de la construction des savoirs spatiaux*. Grenoble, La Pensée Sauvage, pp. 145-181.

Les élèves en technologie : analyse de leurs propos sur ce curriculum

SADJI Habib, UMR STEF (ENS Cachan, INRP), France
LEBEAUME Joël, UMR STEF (ENS Cachan, INRP), France

Introduction

Les quatre années du collège sont organisées selon la compartimentation disciplinaire identifiable par la répartition de l'emploi du temps et par la spécialisation des enseignants voire des salles de classe. Au cours de leur scolarité, les élèves vivent ainsi des moments scolaires variés, qui se particularisent et se différencient d'une discipline à l'autre. Quelles sont les régularités et les variations que les élèves repèrent à propos de l'enseignement étiqueté « technologie » ? Quelle(s) cohérence(s) identifient-ils parmi l'ensemble des activités auxquelles ils participent ? Telle est la préoccupation majeure de la recherche en cours dont sont présentés la problématique, les choix méthodologiques et les premiers résultats.

Problématique

L'enseignement de la technologie au collège, comme tous les enseignements disciplinaires, est marqué par la régularité des rencontres généralement inscrites dans l'ordre hebdomadaire. Pendant quatre ans, chaque semaine et pour une durée d'environ une heure, les élèves « sont en » technologie. Ils participent alors aux activités mises en œuvre par les enseignants selon les grandes lignes des prescriptions, à savoir des activités centrées sur les usages de l'ordinateur et des activités de réalisation sur projet. Au cours de ces rencontres régulières, comment les élèves « sont-ils en » technologie ?

Deux grands ensembles de recherches sur les enseignements examinés du point de vue des élèves sont disponibles. Le premier est constitué par les travaux concernant spécifiquement l'éducation technologique. Ainsi, Chambon (1990) met en évidence les représentations sociales de l'éducation manuelle et technique élaborées par les élèves. Pour ce chercheur, cette discipline étant socialement construite, elle est aussi socialement perçue. Les représentations différentes des élèves des tâches rencontrées dans ce cadre, affectent leur engagement dans le type d'activités proposées. D'une façon assez proche et dans le cadre de l'étude internationale de la fondation PATT (Pupils' Attitudes Towards Technology) portant sur l'attitude des élèves face à la technologie (Raaijmakers, Wolters et Vries, 1987), certaines enquêtes tendent à montrer que la présence d'un enseignement technologique dans le programme scolaire, modifie positivement les attitudes des élèves vis-à-vis du monde technicisé qui les entoure (Dunlap, 1990). D'autres travaux de cette fondation ont montré, et d'une façon significative, que les garçons sont davantage intéressés par l'enseignement technologique que les filles. Ces postures, conclut l'étude, dépendent des représentations sociales de cet enseignement chez ces élèves et de leurs projets personnels ou professionnels (Wolters, 1989).

Le second ensemble de recherches est constitué par les nombreux travaux centrés sur « le rapport au savoir » dont les problématiques sociologiques, psychologiques, psychanalytiques et anthropologiques ont permis de préciser ces différents rapports « à l'école », « à soi », « aux autres », « au monde », « au savoir », « aux savoirs » (pour une synthèse voir Charlot, 2001). Certaines de ces recherches ont permis de distinguer notamment rapport identitaire et rapport épistémique et donc de caractériser le rapport de l'élève à des contenus précis et des pratiques d'enseignement déterminées. Bautier et Rochex (2000) et Evrard (1998) mettent ainsi en évidence que les spécificités de l'enseignement de la philosophie, des sciences économique et sociales ou de l'enseignement scientifique ont des effets sur les possibilités offertes aux élèves de se saisir de ce qui est appris à l'école pour faire sens de la vie et de leur vie. Pour les enseignements technologiques et professionnels, Jellab (2001) et Plantier (2003) considèrent que le sens donné par les élèves aux savoirs scolaires et professionnels, explique leur mobilisation sur certains contenus enseignés. Dans le même esprit, pour Venturini (2005), le rapport des élèves à l'enseignement des sciences physiques est conditionné à leur rapport aux savoirs scolaires.

Toutefois, ces recherches ne s'intéressent pas à la structure des disciplines, à leurs composants, à leurs principes fondateurs et constructifs. En ce sens et en privilégiant le point de vue épistémique, Lebeaume (2000) a exploré les caractéristiques que les élèves d'école élémentaire attribuaient aux moments scolaires étiquetés « découverte du monde » et « sciences et technologie ». Il a notamment mis au jour que ces matières scolaires n'étaient pas, pour les élèves, seulement des moments avec des tâches, des objets ou des contenus particuliers mais qu'ils étaient aussi des moments avec des règles de fonctionnement ou des rites d'organisation. Il concluait que selon les indices cités, les élèves semblaient évoquer des traits de surface ou des traits de structure de ce curriculum disciplinaire. Dans une recherche plus récente à propos des perceptions des élèves des itinéraires de découverte au collège, Lebeaume et Magneron (2004) proposent trois niveaux d'appréhension de ces dispositifs par les élèves : des traits de surface, des traits de composition et des traits de structure. La distinction suggérée serait fondée sur le rapport entre attributs extrinsèques, liés à l'organisation de l'enseignement et intrinsèques, liés aux contenus ; les traits de surface étant largement emprunts d'attributs extrinsèques à la différence des traits de structure renvoyant à la matrice du curriculum.

C'est dans cette perspective, que s'inscrit l'étude des collégiens qui « sont » régulièrement « en technologie ». Il s'agit de ce « rapport » particulier des élèves au curriculum disciplinaire qu'est la technologie. Par « rapport au curriculum disciplinaire » (Lebeaume, 2000), nous entendons la matrice que les élèves élaborent au cours de leurs expériences scolaires de la technologie enseignée et qui guide leur choix de postures de collégiens pour les apprentissages. Quelles sont les régularités et les variations que les élèves repèrent à propos de l'enseignement étiqueté « technologie » ? Quels sont les caractères qu'ils affectent à cet enseignement à partir de sa fréquentation régulière ? Quelle(s) structure(s) de ce curriculum disciplinaire élaborent-ils au cours de leur scolarité ? Quelle(s) cohérence(s) identifient-ils parmi l'ensemble des activités auxquelles ils participent ? Quels sont les principes fondateurs qu'ils repèrent ? Quels sont les principes organisateurs notamment liés à la progression de l'enseignement, qu'ils déterminent ? Quelle relation existe-t-il entre la structure du curriculum prescrit et celle du curriculum ainsi vécu ? Quelle(s) est (sont) la (les) matrice(s) épistémique(s) élaborée(s) par les élèves par rapport aux activités de Technologie au fil de leur scolarité au collège ? Quelle est la dynamique de cette élaboration ?

Compte tenu des spécificités de la technologie, nous supposons que les traits élaborés par les élèves sont liés aux composantes de la technicité (Combarnous, 1984) et à ses registres (Martinand, 1992) exigés ou visés par l'activité. Plus fondamentalement, il s'agit de repérer la

normativité de la technologie, c'est-à-dire son impact sur la manière d'agir et la façon de penser.

Cette recherche est ainsi susceptible d'éclairer le contrat que l'on pourrait qualifier de curriculaire car distinct du contrat pédagogique (Filloux, 1974) ou du contrat didactique (Brousseau, 1986). Dans ces deux approches psychopédagogique et didactique, en effet, l'analyse est centrée sur les relations entre les élèves, les enseignants et des savoirs formalisés dans des situations d'apprentissage données. Leurs problématiques répondent aux enjeux spécifiques d'intelligibilité de la relation entre les acteurs de la classe et entre les savoirs identifiés. Notre préoccupation se situe davantage sur le processus au fil des rencontres des élèves avec la discipline Technologie, donc sur une échelle de temps beaucoup plus grande, celle de la scolarité. Ce contrat, également implicite, n'est par ailleurs exploré que du seul point de vue des élèves.

Méthodologie

Contraintes et choix

L'ambition de repérer l'élaboration de cette matrice de la technologie rencontrée contraint un recueil de données par entretiens afin d'une part de pouvoir réagir par rapport aux réponses des élèves et d'autre part d'établir un rapport de confiance entre l'enquêteur et les élèves. L'ambition de la recherche centrée sur le processus implique de suivre un groupe d'élèves au cours de leur scolarité. Mais il est nécessaire de procéder à ce suivi à des périodes déterminées qui correspondent à des moments particuliers. Ainsi ont été retenus les moments suivants :

- en fin de 6^e, car nous avons considéré que les élèves avaient après un an de scolarité au collège, une expérience de la technologie ;
- à six moments du cycle central, soit à trois moments pour chacune des classes de 5^e et 4^e. Ces moments sont liés à la structure même de la technologie prescrite qui associe à un semestre une réalisation sur projet (désignée par scénario) et une unité d'enseignement de technologie de l'information. Ainsi les moments de repérage retenus sont le début de l'année, la fin du premier semestre et la fin du second semestre ;
- Aucun repérage n'est effectué en classe de troisième, car l'enjeu de l'orientation est tel que les intérêts des élèves vis-à-vis des disciplines se modifient (Chambon, 1990).

La diversité des activités de technologie proposées aux élèves et l'hétérogénéité des élèves face à cet enseignement constituent une contrainte pour notre recherche des cohérences d'ensemble. En effet, il est essentiel que les analyses de cette recherche descriptive ne traduisent pas seulement les états d'un échantillon d'élèves mais qu'elles puissent être situées par rapport à la population des collégiens. À cet égard, les « photographies » successives des états de ces évolutions doivent être situées par rapport à une « photographie » finale sur un échantillon plus conséquent.

L'échantillon est constitué de 20 élèves choisis en tenant compte des critères de parité, des résultats scolaires obtenus et des origines socioprofessionnelles. Cet échantillon ne prétend

pas être représentatif de la population scolaire, mais les variables grossières retenues sont susceptibles de rendre compte de la diversité des collégiens¹. Ces élèves sont :

- 10 élèves de niveau 6^e, issus du même collège : pour ces élèves, nous allons réaliser avec eux 3 entretiens périodiques : un entretien au début de l'année et un à chaque fin de semestre. Les premiers entretiens sont déjà réalisés. Ces élèves seront suivis tout au long de leur année de 5^e ;
- 10 élèves de niveau 5^e issus du même collège : ces élèves seront interrogés au début de l'année et à chaque fin de semestre. Les premiers entretiens ont également été réalisés. Ces élèves seront suivis durant leur année de 4^e.

Afin de contrôler l'effet éventuel du discours réflexif que peuvent développer les élèves par rapport à la récurrence des questions posées lors des entretiens, nous interrogeons 5 autres élèves de niveau 4^e issus du même collège. Ces élèves seront interrogés en fin d'année scolaire. De même, dans un souci de différencier les pratiques d'enseignement nous avons décidé d'interroger 5 autres élèves de niveau 5^e issus d'un autre collège. Ces élèves seront également suivis pendant leur année de quatrième.

Guide d'entretien

Le guide d'entretien n'aborde pas spécifiquement « la technologie » mais plusieurs disciplines du collège. Ce choix repris de l'enquête de Chambon (1990) et de l'étude de Plantier (2002) permet de ne pas faire discourir les élèves sur une seule discipline mais de situer la technologie par rapport aux enseignements du collège, dans le système curriculaire dans lequel la technologie existe. Dans le même esprit, les termes du guide d'entretien évitent « discipline ».

Le guide d'entretien auprès des élèves est composé de trois parties associées. L'introduction précise aux enfants l'intérêt de leurs réponses à ces entretiens motivés par le souci d'amélioration de l'enseignement à partir des connaissances des élèves. Dans la première partie, l'élève est amené à parler des cours qu'il a eus soit dans la journée, soit dans l'année. Selon les réponses, les questions conduisent à discriminer la Technologie des autres disciplines par un jeu de questions de type « qu'est-ce qui est pareil ? » et « qu'est-ce qui n'est pas pareil entre les cours que tu as eus aujourd'hui ». L'exemple suivant illustre cette partie :

Question : « Nous allons parler des cours au collège de M., est ce que tu peux me parler des cours que tu as au collège, par exemple cette année ? »

Réponse : « Bah, j'ai des cours...euh... j'ai des Maths, Technologie, Français, Sport, Education civique, Arts plastiques et Musique puis bah... puis voilà... »

Question : « D'accord, tu as parlé de Mathématiques, Français, Technologie et EPS, qu'est ce qui revient souvent... c'est-à-dire qu'est ce qui est pareil et qu'est ce qui n'est pas pareil ? »

Réponse : « Ce qui est pareil entre les cours c'est que... on apprend à être autonome dans la vie quoi...en fait, chaque prof pour un cours...chaque matière a un but à faire comprendre aux élèves... par exemple les Maths va servir si on veut faire quelque chose de scientifique puis Français c'est plus littéraire quoi... »

Dans la deuxième partie, nous souhaitons questionner l'élève sur ses expériences scolaires à travers des tâches qu'il a effectuées ou a vu effectuer, d'abord dans une autre discipline, puis

¹ Les résultats des travaux de Chambon montrent que la représentation de l'EMT par les parents ou par les élèves est liée aux projets socioprofessionnels de ces élèves, aux appartenances sociales et culturelles des uns et des autres et de la parité fille/garçon.

en technologie. Ces questions conduisent à préciser les relations que l'élève peut établir entre les tâches effectuées et ses orientations et ses significations (visées, références). Ces tâches varient selon les dispositifs relevés par l'élève : elles peuvent être associées à des engins, à des rôles, ou à des organisations particulières...l'exemple suivant illustre en partie les orientations de ces questions :

Question : « j'aimerais bien que tu reviennes sur ce que tu disais au début de ta réponse, tu parlais des " industries "...tu peux m'en dire davantage ? »

Réponse : « Les industries...dans une industrie, on a pour faire des méthodes de travail, on le fait nous-mêmes...enfin par exemple pour faire des lampes. On fait ce que fait...font les industries...par exemple...chacun a un rôle à faire...on fait des chaînes...etc... »

La troisième partie s'attache à caractériser la technologie d'une manière globale :

Question : « d'accord, maintenant on va prendre trois cours : l'anglais, les SVT et la technologie : si tu as un correspondant étranger, et tu veux lui parler du cours de Technologie en France, tu lui dis quoi ? »

Réponse : « bah...tout ce qui est informatique, tous les objets qu'on construit dans les industries enfin... ce qu'on fait dans les industries, on apprend à se servir d'un ordinateur enfin si on sait pas....on peut ...après on sait ce que c'est l'informatique...on sait à quoi ça sert dans la vie de tous les jours... »

Grille d'analyse des entretiens

L'analyse des entretiens consiste à repérer les indices utilisés par l'élève pour distinguer dans un premier temps les caractères intrinsèques des caractères extrinsèques des moments de technologie par rapport aux autres matières. Dans un second temps, davantage centrée sur la technologie, l'analyse permet d'identifier des indices utilisés pour caractériser des tâches rencontrées dans des moments de technologie. Elle repère ainsi, à partir de dispositifs rencontrés : engins, rôles, organisation spécifique... et/ou à partir des objets fabriqués, des orientations et/ou des significations (des visées, des références) données par l'élève. Enfin, pour rendre compte du processus, nous comparerons les indices utilisés par chacun des élèves au fil des entretiens. Il s'agira d'identifier les évolutions éventuelles des traits de surface, de composition ou de structure.

Tendances des premiers résultats

L'analyse des premiers entretiens réalisés avec des élèves de 6^e (10 entretiens) et de 5^e (10 entretiens) a permis d'une part d'explorer ce qui est construit à propos de la technologie, afin de repérer par la suite des évolutions éventuelles. D'autre part, nous avons déduit un certain nombre d'indices tels que l'évaluation, la relation des élèves à l'enseignant de technologie qui nous semblent pertinents à questionner dans la suite des explorations.

La découverte de la technologie

Dans cette première série, les commentaires des élèves montrent d'une manière générale que les moments de technologie sont des moments scolaires ordinaires, semblables aux autres. La présence d'équipements particuliers dans la salle, machines-outils et ordinateurs, permettent

l'étiquetage, mais les tâches effectuées sont, pour la majorité des élèves, semblables aux autres disciplines. Elles ont la seule particularité d'être, parfois, manuelles.

Les aspects personnel et social sont présents dans les discours d'une grande partie des élèves interrogés. Une nuance concernant les visées, existe toutefois selon les élèves. Pour certains élèves, ces moments d'activités sont des moments où ils apprennent à vivre ensemble socialement comme dans « la vraie vie ».

Gaëtan (fin de 5^e)

Question : « c'est-à-dire c'est quoi la technologie pour toi ? »

Réponse : « bah c'est un lieu de travail...c'est...bien...je dirai pas qu'on assume parce qu'il faut travailler quand même...euh...c'est des fois quand on a des problèmes avec des gens...avec qui on s'entend pas...grâce à la technologie on s'entend avec eux parce qu'on voit qu'ils font du bon travail...et aussi pour ceux qui ont des problèmes on peut les aider aussi... »

Pour d'autres, ce sont des moments de travail collectif, de collaboration à l'image de l'entreprise.

Clément (fin de 5^e)

Question : « Si tu veux bien je n'ai pas bien compris quand tu parles des machines ? »

Réponse : « Bah...on va travailler...par exemple en technologie on travaillera sur des vraies machines qu'on utilisera dans les chaînes de montage des industries par exemple...ça va être collectif...alors que dans les autres matières c'est chacun pour soi... »

Après plus d'un an de technologie

La deuxième série d'entretiens a été réalisée sur l'échantillon d'élèves de 5^e (qui sont cette année en 4^e) à partir de la grille d'entretien affinée et à partir des réponses données par ces élèves aux précédents entretiens. Ces élèves, il faut le préciser, ont tous changé de professeur de technologie, de salle de technologie et d'objets de réalisation.

Les élèves, dans leur majorité, caractérisent plus spontanément la technologie par des moments de fabrication d'objets, de " faire de l'informatique " ou de " faire de l'ordinateur " alors que dans les premiers entretiens c'était le nom du professeur, l'emploi du temps ou la présence de machines dans la salle qui permettaient cette distinction. Les élèves dans leur majorité repèrent des continuités dans les contenus, surtout dans les unités de technologie de l'information. Avec des termes voisins, ils parlent de contenus de plus en plus complexes nécessitant les connaissances construites dans des moments antérieurs. D'autres continuités repérées, moins explicitées dans les propos, concernent l'utilisation des outils et l'usage des machines du collège. La plupart de ces élèves mentionnent qu'ils intègrent dans leurs réalisations actuelles des moyens vus dans des classes précédentes. Ces derniers entretiens ont fait émerger une catégorie d'élèves (trois pour l'instant : Valentin, Stéphane, Gaëtan) qui dans les premiers entretiens, parlaient de références industrielles quand ils étaient interrogés sur les significations qu'ils donnaient à certaines de leur rencontres. Cependant ces significations sont devenues plus floues dans la deuxième série d'entretiens. Nous pensons qu'il peut s'agir de constructions partielles : ce sont des significations construites à l'occasion de rencontres particulières (ici en l'occurrence il s'agissait de montage et emballage de produits). Il semblerait que ces élèves ne parviennent pas à relier les activités aux références sociotechniques.

L'autonomie repérée dans la première série d'entretiens s'avère plus saisissante pour catégoriser les élèves. En effet, l'autonomie signifie pour un grand nombre d'élèves se libérer

du joug de l'enseignant et de la discipline au sens de règle. Ces élèves répondent dans un registre essentiellement affectif. Les moments de technologie sont pour eux des moments de détente et de liberté, révélant ainsi leur faible investissement cognitif et privilégiant des traits de surface liés aux caractères extrinsèques. Pour une majorité des interrogés, cette autonomie est favorable au travail collectif, à la collaboration. L'entraide et l'assistance aux plus faibles sont des valeurs qui se construisent dans ces moments. Deux élèves se distinguent du reste ; ils considèrent que l'autonomie est "cadrée" ou "structurée" par des buts à atteindre qui ne sont pas explicités par l'enseignant. Pour ces deux élèves, le projet dans sa réalisation exige implicitement une liberté de déplacements et de consultations de ressources. Le plus important pour eux est de bien réussir le projet. À la différence des élèves précédents, le projet semble être pour ces élèves, un trait de structure de la technologie.

D'une manière récurrente, les élèves signalent aussi que l'enseignant de technologie n'est pas comme les autres. Il est, pour la majorité, une personne proche des élèves qui répond aux problèmes particuliers de chacun. Pour une minorité, le professeur de technologie est une source de connaissances. Son avis, d'aide ou d'expert, est très important mais sa présence n'est pas toujours nécessaire pour la réalisation de la tâche. Pour ces élèves l'évaluation est perçue comme une manière de valider leur projet et non pas comme une sanction ; elle est comprise dans sa composante formative. Par rapport au curriculum prescrit nous avons tenté d'explorer des relations possibles entre les unités de technologie de l'information et des activités de réalisation sur projet. L'analyse des propos des élèves, ne révèle pour l'instant aucun lien explicité.

Une exploration en cours

Dans ce travail, nous tentons de rendre compte de ce qui est élaboré par les élèves à travers leurs rencontres des moments de Technologie pendant leur scolarité. Les premières analyses tendent à montrer des évolutions nuancées. Trois catégories d'élèves semblent émerger ; ceux qui mentionnent essentiellement des traits de surface ; ceux, moins nombreux qui perçoivent une unité dans la succession des moments de technologie à partir de quelques traits de structure identifiés ; ceux qui évoquent différents aspects affectés à certaines rencontres avec la technologie, mais sans perspective générale.

Les résultats obtenus jusqu'alors ne permettent pas de satisfaire entièrement nos questionnements. Les prochaines explorations seront nécessaires pour tenter d'y répondre.

Bibliographie

BAUTIER Elisabeth et ROCHEX Jean-Yves, 2001, " Rapports aux savoirs et travail d'écriture en Philosophie et Sciences Economiques et Sociales ", in : Bernard CHARLOT (dir.), *Les jeunes et le savoir. Perspectives internationales*, Paris, Anthropos, pp. 133-153.

BROUSSEAU Guy, 1986, " Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques ", *Recherches en didactique des mathématiques*, vol.7, n°2, Grenoble, La Pensée sauvage, pp. 33-115.

CHAMBON Michel, 1990, " La représentation des disciplines scolaires par les élèves : enjeux de valeurs, enjeux sociaux ". *Revue Française de Pédagogie*, 92, pp. 31-40.

CHARLOT Bernard (dir.), 2001, *Les jeunes et le savoir : Perspectives internationales*, Paris, Anthropos.

- COMBARNOUS Maurice, 1984, *Les techniques et la technicité*, Paris, Editions sociales.
- DUNLAP Duane D, 1990, *Comparing attitudes toward technology of third and fourth grade students in Virginia relative to their exposure to technology*, Unpublished Doctoral Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, disponible sur <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-02032004-161647/unrestricted/Dunlap.D.pdf>, dernière consultation le 7/05/2005.
- EVARD Thierry, 1998, *Relationships to knowledge in science classrooms*, Proceeding of the first conference of European Researchers in Didactic of Biology, Kiel, pp. 310-320.
- FILLOUX Jeannine, 1974, *Du contrat pédagogique*, Paris, Dunod.
- JELLAB Aziz, 2001, *Scolarité et rapport aux savoirs en lycée professionnel*, Paris, PUF.
- LEBEAUME Joël, (2000), " Jeux d'étiquettes, jeux de kim, jeux de familles, puzzles ou devinettes à l'école. Découverte du monde, sciences et technologie aux cycles II et III ", *Aster*, Paris, INRP, 31, pp. 197-215.
- LEBEAUME Joël, 2000, *L'éducation technologique - Histoires et méthodes*, Paris, ESF éditeur.
- LEBEAUME Joël, 2004, " Evaluer certes mais que faire apprendre ", disponible sur <http://membres.lycos.fr/aeet/textespdf/Lebeaume.pdf>, dernière consultation le 06 mai 2005.
- MAGNERON Nathalie et LEBEAUME Joël, (2004), " Les élèves et les itinéraires de découverte : entre temps extraordinaire et postures moins ordinaires ", *Aster*, Lyon, 39, pp. 153-172.
- MARTINAND Jean-Louis, 1992, " Organisation et mise en œuvre des contenus d'enseignement - Esquisse problématique ", in : Jacques COLOMB (Ed), *Recherches en didactiques : contribution à la formation des maîtres*, Paris, INRP, pp. 135-147.
- PLANTIER Joëlle, 2002, *Sens des savoirs scolaires et apprentissage : la représentation du technique et du non technique*. Paris, INRP.
- RAAT Jan H., WOLTERS de Klerk Falco et DE VRIES Marc (eds), 1987, Report of the 3rd PATT conference. Eindhoven, PATT Foundation.
- VENTURINI Patrice, 2005, " Relations entre les rapports entretenus par des élèves de troisième avec le savoir scolaire et les savoirs de la physique ", *DIDASKALIA*, n°26, (à paraître)
- WOLTERS de Klerk Falco, 1989, " A PATT study among 10 to 12-year-old students in The Netherlands ", *Journal of Technology Education*, vol. 1, n°1, pp. 22-33.

Utiliser en formation des vidéos d'élèves : quels apports pour les enseignants ?

SAINT-GEORGES Monique, IUFM du Limousin, Limoges

RICHOUX Hélène, UMR ICAR (CNRS, ENS LSH Lyon, ENS Lyon, INRP, université Lyon 2), Lyon

Les enregistrements vidéos réalisés en classe sont depuis longtemps exploités en formation des enseignants. Le projet de recherche "Analyse de l'usage des vidéos dans la formation des maîtres" (actuellement dans sa première phase) s'appuie sur des enregistrements d'élèves réalisés lors de séances de travaux pratiques de physique et chimie au lycée ; il vise à étudier l'apport de ces vidéos dans la réflexion des stagiaires (formations initiale et continue) sur l'apprentissage des élèves en sciences.

Vidéo et formation : une histoire toujours renouvelée

Les usages des vidéos en formation sont multiples : de l'observation d'une séance, préparée par un groupe de stagiaires, réalisée par l'un d'eux et enregistrée à l'observation d'une situation de classe réalisée par un enseignant expérimenté et enregistrée. Ces méthodes ont alors des finalités différentes : dans le premier cas, autoscopie pour le stagiaire réalisateur, et formation à l'observation pour les autres (G. Mottet, 1997) et dans le deuxième cas observation et analyse des interactions professeur/élève¹.

Notre proposition, tout comme l'approche adoptée par le site "Pégase", plate-forme pour la formation continue des professeurs de sciences physiques (équipe COAST université Lyon 2), est résolument centrée sur l'observation des élèves travaillant en binômes. Les extraits vidéos révèlent ce que le professeur n'a pas la possibilité de voir et d'entendre pendant le déroulement habituel de la classe, et permettent d'approcher le cheminement des élèves. Des précédentes recherches ont montré que les stagiaires sont plus centrés sur leurs difficultés d'enseignants débutants que sur l'apprentissage des élèves, aussi est-il nécessaire de les aider à entrer dans ce type d'analyse (Saint-Georges et al, 2003).

Cadre théorique et questions de recherche

Le cadre théorique dans lequel s'inscrivent les analyses des vidéos, que ce soient celles des élèves pendant la classe ou celles des stagiaires pendant la formation, s'appuie à la fois sur une analyse épistémologique de la modélisation dans l'apprentissage des concepts en physique (Buty et al. 2004), et sur le rôle des interactions dans l'apprentissage (Mortimer et Scott, 2003).

Dans cette première phase du projet, le cadre théorique pour la formation des professeurs est transposé de celui qui a été mis en œuvre pour étudier l'apprentissage des élèves (Gaidioz et al. 2002) : nous faisons l'hypothèse que les connaissances préalables des professeurs sur la science, l'apprentissage en sciences et l'enseignement jouent un rôle essentiel dans leur

¹ La formation des enseignants du premier degré offre de nombreux exemples, pour illustrer des pratiques innovantes ou des recommandations faites dans de nouveaux programmes.

formation (Robardet 1998, Porlàn et al. 1998). Nos hypothèses pour la formation sont basées sur le changement conceptuel et rejoignent celles de Porlàn (2001, p.227) : "Ces conceptions [des élèves et des professeurs] et les conduites qui y sont attachées évoluent et changent à travers un processus plus ou moins conscient de restructuration et de construction de sens, fondé sur l'interaction et la confrontation avec d'autres idées et expériences potentiellement formatives situées dans la zone de développement proximal des sujets (Vygotski, 1978)".

En cohérence avec ces hypothèses, la formation élaborée dans cette première phase comporte quatre étapes : (1) prévisions par les enseignants en formation des réponses des élèves et de leurs difficultés, (2) confrontation entre ces prévisions et les activités des élèves observées dans les extraits vidéos, (3) analyse de l'écart entre prévisions et observations en petits groupes, (4) discussion avec tout le groupe sous la conduite du formateur. Toutefois, comme Park (1997), nous ne pensons pas que la confrontation entre prévision et observation soit suffisante pour entraîner un changement conceptuel et il nous semble important de repérer tout d'abord l'impact d'une telle confrontation.

Dans cette première phase, les questions de recherche concernent donc tout particulièrement l'analyse que les professeurs font des activités des élèves qu'ils observent en différé :

- Quels sont les indices que les stagiaires prennent dans les extraits vidéos ? Voient-ils dans ces extraits successifs (parfois très courts, mais nombreux) jugés significatifs par les chercheurs, les mêmes indices que ces derniers ?
- Comment analysent-ils les difficultés des élèves et les modèles qu'ils mettent en œuvre pour comprendre la situation expérimentale étudiée ?
- Comment interprètent-ils l'écart éventuel avec leurs prévisions ? leur interprétation évolue-t-elle au cours des discussions ?

La question qui sera traitée ultérieurement concernera le réinvestissement de ce travail, par les stagiaires, dans leur pratique professionnelle.

Méthodologie et recueil de données

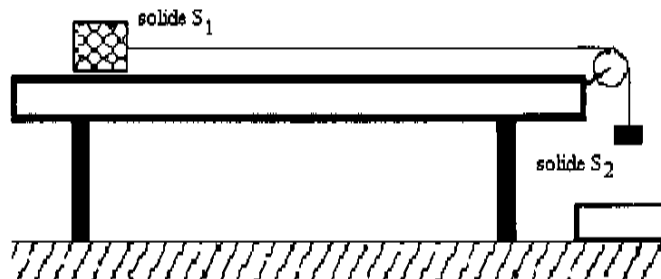
La recherche a débuté en 2004/2005 dans les IUFM de Versailles et de Limoges et a pour objectifs à la fois de construire et analyser la formation et de mettre au point la méthodologie de recueil des données pour la recherche.

1. Les séquences vidéos d'élèves choisies pour la formation

Les vidéos dont l'usage en formation est présenté ici sont des données de la recherche "Conception et analyse d'activités pour la formation scientifique" (recherche dirigée par A. Tiberghien associant l'INRP et l'équipe COAST de l'université Lyon2). Un volet de cette recherche (Gaidioz et al., 2002) a conduit à identifier dans les fiches de travaux pratiques de physique-chimie (fiches habituellement utilisées au lycée) les consignes qui *a priori* favorisent la mise en relation par les élèves des mondes des théories et des objets. Pour étudier les activités effectives des élèves, différentes séquences de travaux pratiques (mécanique, électricité, chimie) ont été ainsi élaborées, réalisées en classe et des binômes d'élèves ont été filmés. Pour cette première phase de recherche, nous avons choisi de centrer la formation sur l'enseignement de la mécanique et donc de travailler avec des séquences vidéos d'élèves enregistrées pendant la séance de TP correspondante.

Le TP de mécanique a été réalisé dans une classe de première S à la fin de la séquence "Mouvements et forces" du programme (Richoux et al. 2004). Il s'appuie sur une expérience

qui est couramment mise en œuvre dans l'enseignement de la mécanique au lycée : un solide S_1 aéroporté glisse sur un banc horizontal, dans une première phase il est tiré par un fil, puis dans une deuxième phase il est libéré de la traction de ce fil (fig.1). Les questions posées aux élèves les engagent dans des activités de prévision argumentée sur le mouvement du solide S_1 dans les deux phases, prévisions qui seront ensuite confrontées à l'expérience.



Les extraits vidéos qui ont été choisis pour la formation concernent des moments clés de la démarche des élèves (prévision argumentée, confrontation des prévisions à l'expérience qualitative, élaboration d'un modèle de la situation). Les enregistrements étudiés par les stagiaires concernent deux binômes d'une même classe (Sylvie-Joanne et Jérôme-Yvan) dont les copies et les échanges font apparaître des difficultés et des raisonnements différents.

2. L'intégration des vidéos d'élèves dans la formation

Les vidéos sont intégrées dans un contexte d'étude des travaux pratiques où les professeurs stagiaires mettent en œuvre des outils d'analyse pour étudier la cohérence entre objectifs d'apprentissage et tâches planifiées pour les élèves (Saint-Georges et al. 2003 op.cit). Pour ce qui est de l'enseignement de la mécanique les conceptions des élèves (Viennot, 1996) ont été préalablement travaillées en formation. Ainsi l'usage des vidéos d'élèves dans la formation prend en compte deux composantes du métier de l'enseignant en sciences que Van Driel et al. (1998) nomment "représentations et stratégies" et "apprentissage et conceptions des élèves".

En accord avec le cadre théorique choisi pour la formation les professeurs stagiaires ont été, dans un premier temps, engagés dans un travail d'analyse a priori de la séance, où ils ont dû faire des prévisions sur les réactions et les réponses des élèves. Individuellement puis en groupe ils ont eu à étudier notamment :

- les réponses correctes attendues,
- le bilan des connaissances et savoir-faire nécessaires à la réalisation du TP,
- les apprentissages visés,
- les difficultés prévisibles pour les élèves, pour le professeur dans la classe,
- les tâches prescrites aux élèves et la démarche mise en œuvre.

L'ensemble des productions des stagiaires a ensuite fait l'objet d'une discussion et d'une confrontation à des extraits de copies d'élèves.

Dans une seconde partie, les professeurs-stagiaires en dyades confrontent leurs prévisions aux activités effectives des élèves observées dans les extraits vidéos, pour répondre aux questions suivantes :

- Quelle compréhension les élèves ont-ils du problème ?
- Repérez-vous de nouvelles difficultés ? Lesquelles ? Quels indices ?
- Quelles connaissances les élèves mobilisent-ils ? Notez-vous une évolution ? Si oui, laquelle ?

Une discussion finale permet enfin de confronter les analyses faites pour un même binôme d'élèves puis de comparer le travail des deux binômes (connaissances mobilisées, compréhension du problème, réalisation de la tâche, etc.).

3. Le recueil de données

Pendant l'année 2004/2005, l'expérimentation a concerné 38 professeurs-stagiaires des IUFM de Limoges et de Versailles.

Lors de la séance de travail, un ensemble de données a été recueilli pour la recherche :

- les écrits des professeurs stagiaires concernant le travail préparatoire ;
- les enregistrements vidéos de quatre dyades de professeurs-stagiaires pendant l'observation et l'analyse du travail du binôme d'élèves qu'ils ont suivi; les enregistrements-vidéos des échanges entre tous les stagiaires à l'issue de cette observation.

4. Méthodologie d'analyse : premiers essais

Les résultats de l'analyse faite au préalable par les chercheurs sur les vidéos et sur les productions des élèves servent de référence pour l'analyse des discussions et réponses des stagiaires qui travaillent sur ces vidéos. Les activités des élèves (actions et discussions) ont été analysées en termes d'explicitation de modèles - modèle de l'élève ou modèle "du physicien" (Tiberghien, 1994).

Ainsi les indices repérés par les chercheurs dans les vidéos du binôme Sylvie-Joanne et qui servent de support à une première analyse sont les suivants :

- dans les extraits choisis, on trouve des manifestations de la conception « adhérence force-vitesse » (Viennot, 1996) ;
- les démarches des élèves pour argumenter leurs prévisions diffèrent : Sylvie s'appuie spontanément sur la théorie alors que Joanne se réfère à des exemples et analogies de la vie courante. Les échanges au sein du binôme S-J les amènent à évoluer vers des arguments théoriques s'appuyant sur le modèle attendu.
- la situation, au niveau de la modélisation, soulève des difficultés qui arrêtent les élèves :
 - o les frottements et le rôle du coussin d'air,
 - o la valeur relative des masses des deux mobiles S_1 (qui glisse sur la table) et S_2 .

Pour cette première analyse des échanges entre stagiaires, les enregistrements vidéos des dyades de stagiaires sont découpés en unités correspondant à l'observation des différents extraits vidéos d'élèves. Pour chaque unité sont repérés :

- la façon dont les stagiaires interagissent avec les vidéos (lecture linéaire, arrêt, retour en arrière...)
- les événements auxquels ils accordent de l'importance, les indices qu'ils y repèrent, ainsi que les mots ou expressions dont ils usent quand ils échangent entre eux, à propos des élèves et de leur travail.

Quelques résultats

En relation avec nos questions de recherche, quelques résultats se dessinent après cette première expérimentation et l'analyse qui a été, jusqu'à présent, développée particulièrement pour l'un des binômes de stagiaires Claude (C) et Richard (R).

Claude et Richard observent le binôme de Sylvie (S) et Joanne (J) et cherchent tout d'abord à caractériser le cheminement des élèves pendant la première partie de la séance (prévisions argumentées).

Dans un premier temps, ils visionnent les vidéos de façon linéaire et chronologique. Ce premier passage les amène à repérer l'émergence de la conception « adhérence force/vitesse » : *C'est l'idée qu'un mobile ne peut pas se déplacer s'il n'y a aucune force qui s'exerce dessus (R).*

Ils s'interrogent ensuite sur la façon dont les élèves modélisent la situation :

C : *Ce que j'ai compris, c'est qu'elle (J) représente les 3 forces, mais, dans sa tête, la somme n'est pas égale à zéro ; elle fait la somme sur R et T "*, pour finalement conclure, à la fin des extraits vidéos : *"pour elles, le poids et la réaction ne se compensent que lorsqu'il y a deux forces ; quand il y a une force supplémentaire, elles ne se compensent pas.*

Ils se demandent quelles sont les connaissances sur lesquelles peuvent s'appuyer les élèves de 1^{ère} S pour modéliser la situation.

R : [...] *pseudo-isolé, elles savent que c'est les forces qui s'équilibrent, par contre... elles ne savent pas pour le poids...*)

Ainsi cette première vision des vidéos leur permet de répondre aux questions qu'ils avaient prévues avant l'observation des élèves :

- les élèves penseront-ils d'emblée à faire un bilan des forces pour argumenter leurs prévisions ? (alors que ce n'est pas explicitement demandé)
- comprendront-ils ce que le professeur entend par "modélisation" ?
- feront-ils le lien entre la description du mouvement et les lois de physique qu'ils apprennent ?

Dans un second temps, pour répondre à la consigne leur demandant de repérer éventuellement des difficultés qu'ils n'avaient pas prévues, ils font une nouvelle lecture des vidéos qui, cette fois, n'est plus linéaire : ils font de nombreux aller-retour entre les transcriptions et les copies des élèves, ils recourent fréquemment à l'extrait vidéo pour repérer les gestes des élèves, la façon dont ils écrivent et dessinent sur leurs copies.

C'est un de ces épisodes dont nous allons détailler l'analyse. L'extrait vidéo de Sylvie-Joanne sur lequel il porte est très court (quelques dizaines de secondes). Une des élèves vient de soulever un nouveau problème : faut-il que la masse du mobile qui descend (S_2) soit supérieure à celle du mobile qui glisse (S_1) ?

Analyse de l'extrait vidéo d'élève par le chercheur	Dialogue entre les stagiaires	Analyse par le chercheur des dialogues des stagiaires
Pour résoudre le problème posé par Sylvie, Joanne construit progressivement une analogie de la situation expérimentale : une armoire qui glisse sur une	Ils reprennent la transcription R : <i>T'as vu, là, c'est intéressant [...]</i> <i>C'est de se replacer dans une réalité pour les aider.</i> [...] <i>ça revient sur la question de poids et de frottement. [...]</i>	R fait le lien avec le questionnement qui émerge de l'extrait précédent R recherche ce que veulent dire les élèves en

patinoire (pour éviter les frottements) est entraînée par un fil auquel Sylvie est suspendue (comme dans l'expérience).	R : <i>S'il y avait des frottements, il faudrait un poids suffisant du solide pour mettre en mouvement.</i>	reformulant le questionnement pour lui-même
L'analogie conduit les élèves à comprendre que S_2 , même s'il a une masse petite, peut mettre S_1 en mouvement.	C : <i>Je pense que c'est ça : t'as Sylvie qui est attachée à la ficelle, qui est attachée à l'armoire.</i> C fait un dessin pour illustrer le raisonnement au fur et à mesure R : <i>J'ai l'impression qu'elles font la même expérience à grande échelle.</i> C : <i>Ah oui, t'as raison, elles font exactement la même chose. [...] Ce qu'elle veut argumenter, c'est que y a pas besoin que la masse S_2 soit supérieure à la masse S_1</i>	C entre dans le raisonnement des élèves en reprenant l'image de l'armoire à son compte R et C prennent conscience, seulement ici, de l'analogie développée par les élèves et entrent finalement dans la compréhension de leur raisonnement.

On observe ici que ces deux stagiaires s'approprient les difficultés et le raisonnement des élèves S et J et entrent dans la compréhension des images et analogies qu'elles utilisent. Toutefois, la durée qui leur est nécessaire pour échanger et analyser les vidéos est importante (à l'instar des élèves qui ont besoin de temps pour construire leurs réponses).

Ces deux stagiaires ont donc bien repéré, sur l'ensemble des extraits vidéos d'élèves, les indices que les chercheurs attendaient qu'ils retrouvent.

De plus, ils sont entrés progressivement dans une analyse de plus en plus fine. Leur évolution, en cours de séance, se traduit dans les expressions qu'ils utilisent au cours de l'observation. Au départ, ils sont plutôt sur le constat par rapport à la norme attendue ("*pas de bilan de force*") ; puis leurs propos montrent qu'ils sont intrigués : "*c'est curieux...*" ou "*t'as vu, là, c'est intéressant*". Enfin ils se prennent au jeu d'une véritable enquête sur le cheminement des élèves, reprennent leurs propos, les reformulent : "*ce que j'ai compris*" ou "*je pense que pour les élèves*" ou encore "*peut-être elles avaient en tête...*", pour atteindre un niveau d'analyse parfois très fine comme dans l'épisode "armoire et patinoire".

De plus, Claude et Richard, à partir des interrogations des élèves sont conduits à interroger à nouveau leur propre compréhension de la situation expérimentale et ils reviennent sur les modèles qu'ils ont coutume d'utiliser : le champ de leurs interrogations s'élargit au contenu scientifique (van Driel et al., op.cit.).

- par exemple à propos de la représentation des forces par les élèves et de la réaction du support : « *Comment savoir que R et P s'annulent ?* » (Richard)
- ou bien à propos du rôle des frottements ainsi décrit par une élève : « *mais les frottements, c'est pas ce qui empêche de bouger ou de ne pas bouger* » :
R : *[...] s'opposent au mouvement, mais pas toujours... pour la roue, c'est ce qui fait tourner*
C (qui simule un plan incliné avec un livre) : *si on pose quelque chose sur la table, ça descend pas parce qu'il y a les frottements,*
R : *à mon avis, c'est ce qui empêche le mouvement, s'il y en avait pas, ça tomberait.*

La dyade dont l'analyse est présentée ici a évolué au cours de l'observation des vidéos, se centrant nettement sur l'apprentissage des élèves observés. Qu'en est-il des autres dyades ? Un premier regard sur les enregistrements montrent qu'ils n'ont pas tous évolué de la même façon et que certains sont encore restés centrés sur leurs problèmes d'enseignant. Nous avons relevé en effet une grande disparité d'approche entre les différents groupes de stagiaires : alors que certains s'inscrivent dans un travail d'analyse des situations qu'on leur propose, d'autres restent sur le versant "jugement" de l'activité et des réponses des élèves.

Comme nous l'avions relevé précédemment (Saint-Georges et al., 2003), les stagiaires manquent de repères pour mesurer a priori la difficulté que représentent certains travaux demandés aux élèves : la réponse à des questions (pour eux) canoniques leur paraît naturelle, "coulant de source". Dans l'ensemble, cependant, les vidéos leur fait prendre conscience du long cheminement nécessaire aux élèves pour construire leur réponse. Ainsi, par exemple, ils paraissent revenir sur leurs idées préalables et s'interroger devant le fait que les élèves n'utilisent pas d'emblée les modèles du physicien. De même, les stagiaires reconnaissent en général dans les vidéos des élèves les conceptions qui ont été présentées préalablement en formation.

Bien évidemment, les analyses que nous avons mentionnées ci-dessus doivent être maintenant affinées et complétées.

Cette première phase de la recherche, qui ne concerne que l'analyse des interactions à l'intérieur des dyades, a pour but de repérer ce qu'il est possible d'en exploiter avec des professeurs débutants.

Mais son intérêt est aussi de mettre en évidence les différences d'approche selon les dyades. La connaissance de la multiplicité des perceptions et des réactions des stagiaires est importante pour envisager une confrontation efficace de leurs diversités, en grand groupe, lors du moment de synthèse de la séance de formation. Ces connaissances sont utiles pour bâtir une formation intégrant l'observation différée des élèves. Par la suite, il restera à étudier les conditions de transfert des apports de la formation vers la pratique de classe des stagiaires.

Éléments de bibliographie

- BUTY Christian, TIBERGHIEU Andrée et LE MARÉCHAL Jean-François, 2004, Learning hypotheses and associated tools to design et to analyse teaching-learning sequences, *International Journal of Science Education*, n°26 (5), pp. 579-604.
- Gaidioz, P. & al. ; 2002 ; *Conception et analyse d'activités pour la formation scientifique*. Rapport final du projet INRP n°30214.
- MORTIMER Eduardo F. et SCOTT Phil H., 2003, *Meaning Making in Secondary Science Classroom*; Milton Keynes : Open University Press.
- MOITET Gérard, 1997, *La Vidéo-formation, autres regards, autres pratiques*, L'harmattan
- PARK Jongwon et PAK Sungiae, 1997, Students' responses to experimental evidence based on perceptions of causality and availability of evidence, *Journal of Research in Science Teaching*, n°34(1), pp.57-67.
- PORLÁN Rafael, GARCIA Eduardo, RIVERO Ana et MARTÍN DEL POZO Rosa, 1998, Les obstacles à la formation professionnelle des professeurs en rapport avec leurs idées sur la science, l'enseignement et l'apprentissage, *ASTER*, n°26, pp.207-235.
- PORLÁN Rafael et RIVERO Ana, 2001, Nature et organisation du savoir professionnel enseignant "souhaitable", *ASTER*, n°32, pp.221-251.
- RICHOUX Hélène, SAINT-GEORGES Monique et SIMON Christiane, (CDROM à paraître). *Concevoir et analyser les activités expérimentales en sciences physiques : une démarche centrée sur l'observation des élèves*. Lyon, INRP.
- ROBARDET Guy, 1998, "La didactique dans la formation des professeurs de sciences physiques face aux représentations sur l'enseignement scientifique", *ASTER*, n°26, pp.31-58.

- SAINT-GEORGES Monique, RICHOUX Hélène et SIMON Christiane, 2003, Des outils pour aider les professeurs stagiaires de sciences physiques à analyser et concevoir des séances de travaux pratiques, *Actes des journées de l'ARDIST*. Octobre 2003. Toulouse, 61-68.
- SAINT-GEORGES Monique, 2001, L'analyse des dialogues de classe : un outil pour une formation didactique des professeurs de sciences. *ASTER* n°32, pp. 91-122.
- TIBERGHIEU Andrée, 1994, Modelling as a basis for analysing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, n°4(1), pp. 71-87.
- VAN DRIEL Jan H., VERLOOP Nico et de VOS Wobbe, 1998, Developing science teachers' pedagogical content knowledge, *Journal of Research in Science Teaching*, n°35 (6), pp.673-695.
- VIENNOT, Laurence, 1996, *Raisonnement en Physique, la part du sens commun*, Bruxelles, De Boeck.
- VYGOTSKI L. S., 1978, *Mind in society the development of higher psychological processes*, Massachusetts : Harvard University Press.

Sites :

Pégase : <http://nte.univ-lyon1.fr/pegase>.

Les résultats de la didactique de l'électrocinétique sont-ils applicables aux élèves en formation professionnelle aux métiers de l'électricité ?

SZCZYGIELSKI Christophe, enseignant, laboratoire LIRDEF, Montpellier, France

Introduction

Les élèves des classes de bac Pro et de BEP se préparant aux métiers de l'électricité, qu'ils soient diplômés ou non en électrotechnique, sont rompus aux techniques du câblage électrotechnique. Pourtant, ces mêmes élèves en séances de travaux pratiques d'électrocinétique pendant le cours de sciences physiques, éprouvent d'énormes difficultés à réaliser des montages. Or, un montage électrocinétique n'est rien d'autre qu'un problème de câblage mais dans le cadre du cours de physique. Cette étude fait partie d'une recherche visant à identifier les différences de lecture, de compréhension et de traitement des grandeurs physiques faites par les élèves de lycée professionnel en formation aux métiers de l'électricité lorsqu'ils sont soit en présence d'un schéma électrotechnique soit en présence d'un schéma électrocinétique. Cette étude montre que ces élèves ont des modes de lecture spécifiques à chaque schématisation et qu'ils adoptent des raisonnements sur les grandeurs physiques spécifiques en présence d'un schéma électrotechnique ou en présence d'un schéma électrocinétique.

Cadre théorique

Rappel de quelques résultats issus de la recherche en didactique de l'électrocinétique

Cette recherche s'appuie sur des résultats connus de la didactique de l'électrocinétique concernant les raisonnements de sens commun et sur la lecture des schémas électriques.

Le raisonnement séquentiel et le raisonnement local

Le raisonnement séquentiel est un type de raisonnement particulier (Closset, 1983). Le circuit électrique n'est pas vu comme un système ; les élèves analysent chaque élément de celui-ci en terme d'avant et après. Dans le raisonnement séquentiel, le raisonnement se fait en termes de courants. Le raisonnement local (Closset, 1983) décrit le fait que les élèves concentrent leur attention sur un point du circuit en ignorant le reste du circuit. Avec le raisonnement à courant constant, le débit est une caractéristique du générateur ; il est indépendant du circuit. Ainsi, changer la valeur de la résistance n'affectera pas la valeur de l'intensité traversant le générateur.

Absence de discrimination conceptuelle entre les notions de tension et d'intensité

En général, le raisonnement se fait en terme de courants et la notion de tension ou de différence de potentiel apparaît comme une grandeur non pertinente (Joshua, 1984). Après enseignement, il apparaît que le concept est vu comme ayant les mêmes propriétés que le concept d'intensité. Dans le raisonnement électrostatique (Benseghir, 1988), la notion de différence de potentiel est interprétée en terme de charges présentes en certains points du circuit. Liée à un raisonnement séquentiel, une dissymétrie de signes ou de quantité de charges apparaît comme l'effet d'une usure du courant due aux éléments du circuit.

Lecture, reconnaissance et décodage de schémas prototypes

A propos de la lecture des schémas électrocinétiques, Joshua (1985) parle de langage schématique. Considérant que le langage schématique en électricité est structuré comme un langage, la lecture d'un schéma découle de la reconnaissance d'une langue. Dans la lecture de schémas électrocinétiques, les élèves procèdent à une heuristique de réduction du circuit étudié à un prototype isomorphe existant dans leur mémoire (Caillot, Cauzinille-Marmèche, 1984). Les élèves ont des connaissances prototypiques, ils ont en mémoire des schémas prototypes (Caillot, 1988). Ces schémas sont ceux que l'on trouve dans les manuels de physique. Un schéma n'est pas décodé de la même façon par un débutant ou par un expert. Le novice décode un schéma selon les lois de la perception au détriment des lois de l'électricité alors que l'expert fait des groupements d'unités significatives en procédant à un découpage conceptuel ou conceptuel chunking. Ces schémas prototypes sont présents dans la mémoire à long terme, Palmer (1985, cité par Caillot, 1988) les appelle unités fonctionnelles. Lors du décodage du schéma électrocinétique, la reconnaissance ou la description de ces structures se fait selon un modèle hiérarchique. Hestenes (1985, cité par Caillot, 1988) a montré que l'apprentissage change la structure de cette hiérarchie.

Perception de la topologie

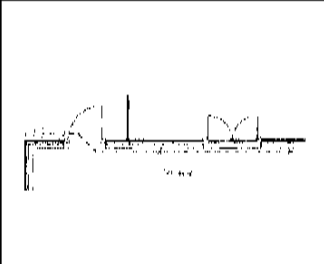
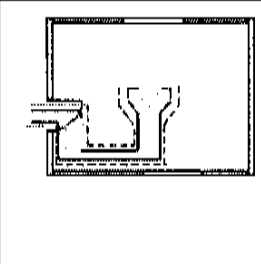
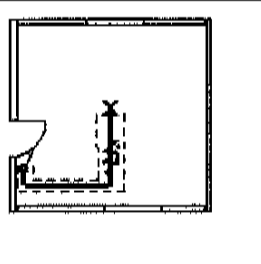
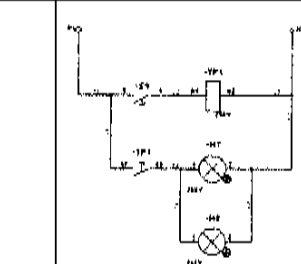
La perception de la topologie d'un circuit et notamment la perception de la présence des nœuds de connexion est liée à la compréhension des grandeurs physiques qui lui sont attachées. Dans la réalisation des montages, le plus important problème dit de "l'éclatement des nœuds" (Joshua, 1982) tient de l'apparence différente des nœuds de connexion sur un schéma et dans un montage réel. Ce problème est lié à une méconnaissance de la notion de potentiel par les élèves et à un raisonnement en terme de courants.

L'enseignement de l'électricité en lycée professionnel

Enseignement professionnel de l'électrotechnique : schéma, câblage et mesurage

En lycée professionnel (LP), il faut distinguer deux enseignements : l'enseignement général qui comprend les matières générales telles que les mathématiques, les sciences-physiques, le français, etc. et l'enseignement purement professionnel qui comprend des matières professionnelles dans lesquelles les élèves apprennent concrètement un métier. La première année d'enseignement de l'électrotechnique en LP est consacrée à l'électricité domestique, les suivantes à l'électricité industrielle. L'enseignement professionnel de l'électrotechnique se décompose en trois matières : Schéma et Technologie, Câblage et Dépannage qui sont des matières pratiques, et le Mesurage, une matière plus théorique, qui s'apparente à un

enseignement de l'électrocinétique. Au cours des deux premiers trimestres de la première année, les deux premières matières sont, en général, couplées. En Technologie, les élèves étudient des schémas prévus par le référentiel du diplôme, environ une dizaine, puis ils les réalisent en Câblage. Notons que les élèves ne sont pas sensés connaître les schémas mais seulement les reconnaître et pouvoir les modifier. L'apprentissage du câblage est extrêmement concret, il s'agit de réaliser des installations électriques domestiques. L'apprentissage de la nomenclature fait partie de l'enseignement. On trouve plusieurs types de schémas : le schéma architectural, le schéma unifilaire, le schéma développé est utilisé pour réaliser des montages d'armoires. Les schémas développés semblent toujours ouverts (sur papier) mais sont considérés comme fermés car ils sont compris entre une phase et le neutre. La coutume veut que les éléments soient toujours placés sur ces schémas soit horizontalement soit verticalement, il convient de ne pas mélanger les deux formes. De plus, il convient sur ces schémas de placer les éléments le plus près possible du neutre. Par convention, dans le schéma développé, le courant circule de la phase vers le neutre.

			
Schéma architectural	Schéma unifilaire	Schéma d'implantation	Schéma développé

L'enseignement de l'électrocinétique en sciences physiques

Durant la formation en BEP électrotechnique qui dure deux ans, les élèves issus des classes de troisième des collèges suivent aussi un cours d'électrocinétique inclus dans le cours de sciences physiques. Cet enseignement est avant tout théorique, il n'est qu'un élément du programme de sciences physiques parmi d'autres (mécanique, chimie...). Il n'est évalué qu'à l'écrit dans des exercices où le formalisme et les compétences demandés sont avant tout mathématiques. Durant la formation de Bac pro EIE (électrotechnique) qui dure deux ans après le BEP, les élèves suivent encore un enseignement d'électrocinétique dans le cadre du cours de physique mais cet enseignement n'a lieu uniquement que sous la forme de travaux pratiques, où ce sont les compétences méthodologiques qui sont évaluées.

Questions de recherche

Dans une première partie nous essaierons de comprendre comment ces élèves raisonnent sur les grandeurs physiques à partir des différentes schématisations. Nous essaierons de savoir si les raisonnements de sens commun identifiés dans le cadre de l'électrocinétique sont aussi présents dans le cadre de l'électrotechnique. Puis, nous essaierons de savoir si un élève adopte systématiquement le même raisonnement quelle que soit la schématisation.

Dans une deuxième partie, nous essaierons de comprendre quelles sont les différences en terme de lecture et de compréhension lors de la lecture d'un schéma électrique qu'il soit dans le cadre de l'électrotechnique ou dans le cadre de l'électrocinétique.

Méthodologie

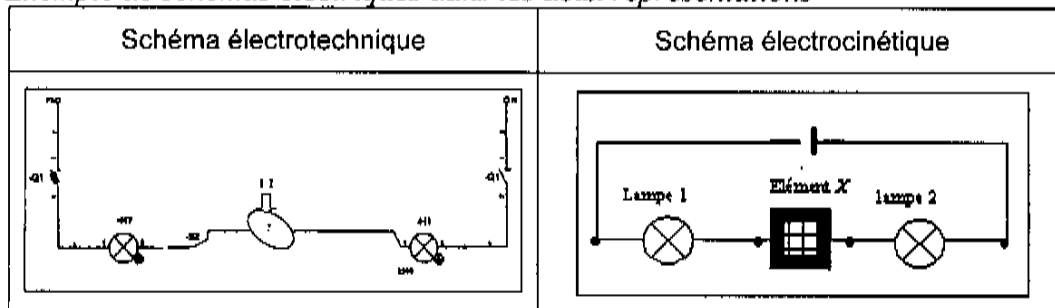
Principe du test

Des questionnaires ont été passés dans plusieurs classes. Le but du premier est de savoir si les raisonnements de sens commun sont présents chez les lycéens en formation aux métiers de l'électricité, à la fois sur des schémas électrocinétiques tels que ceux qu'utilisent les professeurs de sciences physiques et sur leurs schémas équivalents utilisés en électrotechnique. Le but du deuxième est de savoir si le mode de lecture et de compréhension des schémas électriques est semblable dans les deux représentations.

Raisonnement sur un schéma électrique

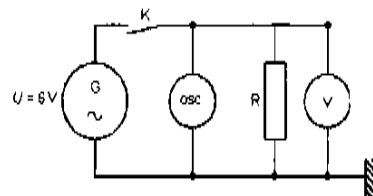
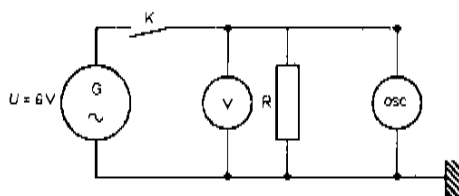
Le premier questionnaire comprend des schémas électriques dans des représentations différentes, électrocinétique et électrotechnique. Les questions ne se suivent pas, c'est-à-dire, une question posée sur un schéma électrocinétique n'est pas suivie dans la question suivante par son équivalent électrotechnique.

Exemple de schémas électriques dans les deux représentations

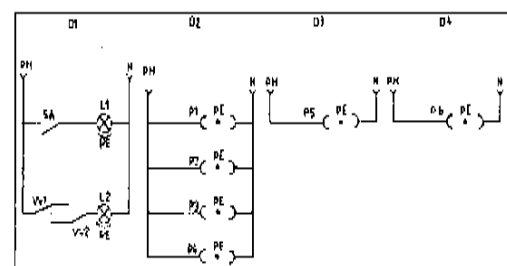


Lire et comprendre un schéma électrique

Le deuxième questionnaire comprend des schémas électriques dont les élèves doivent comprendre le rôle. Une série de questions contient des schémas électrocinétiques avec des instruments de mesure, un oscilloscope et un voltmètre, dont il est demandé aux élèves de préciser le rôle. Les réponses possibles sont sous la forme d'un QCM. Précisons qu'à chaque fois les rôles prévus sont identiques c'est-à-dire la mesure de la tension aux bornes de la résistance R et du générateur G . Ci-dessous, les schémas électriques sont représentés dans deux configurations, la troisième est identique à la deuxième mais présentée verticalement.



Dans une autre question, un schéma est proposé et il est demandé de trouver les équivalents parmi une liste. Une proposition absurde a été introduite. Une série de questions concernent spécifiquement le schéma électrotechnique. Il permet de savoir si les élèves ont une lecture globale du rôle du schéma électrotechnique. On propose aux élèves de mémoriser pendant quelques secondes le schéma de câblage d'une cuisine comportant quatre schémas distincts : D1 un éclairage comprenant un va et vient



et un simple allumage, D2 quatre prises, D3 une prise lave vaisselle, D4 une prise lave linge. On leur demande aussi d'expliquer le rôle du schéma D1.

Les acteurs de l'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée par l'auteur avec cent six élèves de première et deuxième années de BEP électrotechnique. Soixante trois élèves ont été testés sur le premier questionnaire et quarante trois sur le deuxième. Les élèves sont issus de deux lycées de la région parisienne : Dammarie-Les-Lys et Thorigny-Sur-marne.

Recueil et analyse des données

Les données sont essentiellement des traces écrites en réponse aux questionnaires.

Résultats / Discussion

Raisonnement des élèves sur les différentes schématisations

Raisonnement séquentiel sur les différentes schématisations

Sur un schéma électrique comprenant deux lampes identiques on insère entre elles un élément X inconnu et on demande aux élèves comment brille l'une des lampes par rapport à l'autre. Nous constatons que les réponses aux questions sont différentes lorsqu'il s'agit pour ces élèves électrotechniciens de raisonner sur un schéma électrocinétique ou sur un schéma électrotechnique. Sur un schéma électrocinétique, la bonne réponse (L1 brille autant que L2) est largement majoritaire : la proportion est globalement de deux tiers de bonnes réponses pour un tiers de raisonnement séquentiel. A la lumière des résultats obtenus sur un schéma électrocinétique, avec une fréquence de 63% de bonne réponse, nous pouvons imaginer que les élèves en formation aux métiers de l'électricité sont moins amenés à raisonner de façon séquentielle. Or, la tendance s'inverse totalement sur un schéma électrotechnique, la bonne réponse devient largement minoritaire, environ un tiers des élèves électriciens répond correctement. Les justifications, pour les mauvaises réponses sont clairement identifiables à des raisonnements séquentiels.

Propositions	Electrocinétique	Electrotechnique	
... brille autant que ...	63 %	34 %	BR
... brille moins que ...	28 %	16 %	MR
... brille plus que ...	4 %	2 %	
... est éteinte	5 %	13 %	
On ne peut pas savoir		35 %	

BR bonne réponse, MR mauvaise réponse

Nous constatons qu'une partie des élèves en formation aux métiers de l'électricité adopte un raisonnement spécifique à chaque schématisation. Lorsqu'il s'agit d'un schéma électrotechnique deux tiers des élèves adoptent un raisonnement séquentiel contre seulement un tiers lorsqu'il s'agit d'un schéma électrocinétique. Mais peut-on identifier un groupe

d'élèves adoptant systématiquement un raisonnement séquentiel ? Le traitement croisé des données recueillies permet de répondre qu'environ un tiers des élèves adopte systématiquement un raisonnement séquentiel quel que soit le schéma. La question posée dans le cadre de l'électrocinétique est semblable à celle posée par Closset (Closset, 1983). Ces travaux antérieurs montrent que la fréquence de bonnes réponses augmente avec le niveau d'étude sans devenir largement majoritaire, (la fréquence de 50% de bonnes réponses est à peine atteinte).

	Electrocinétique	Electrotechnique	Electrocinétique et Electrotechnique
Bonne réponse	63%	34%	22%
Raisonnement séquentiel.	33%	64%	34%

Le raisonnement à courant constant sur les différentes schématisations

Un schéma électrique comprend trois lampes identiques, deux lampes sont en parallèle, la troisième en série. On change cette dernière par une autre dont la valeur de la résistance est plus élevée, et on demande de comparer le courant traversant celle-ci, avant et après le changement. Nous constatons, de même, que les réponses aux questions sont différentes lorsqu'il s'agit pour ces élèves électrotechniciens de raisonner sur un schéma électrocinétique ou sur un schéma électrotechnique. Mais quel que soit le schéma électrique, la bonne réponse " ... est moins élevée que dans le premier schéma" est minoritaire dans les deux cas. Toutefois, la bonne réponse arrive en tête des propositions lorsque les élèves raisonnent sur un schéma électrocinétique alors que sur un schéma électrotechnique, la proposition "on ne peut pas savoir" arrive en tête. Cette question est semblable à celle posée dans la thèse de Closset (Closset, 1983). Ces travaux antérieurs montrent que le raisonnement à courant constant est présent à tout niveau d'étude et semble même augmenter avec celui-ci pour passer d'une fréquence de deux tiers à trois quarts des étudiants.

Traitements des grandeurs électriques sur les différentes schématisations

Dans le problème précédent, on demande aussi de comparer les tensions aux bornes de la troisième lampe.

Différenciation des grandeurs sur le schéma électrocinétique

Sur un schéma électrocinétique, les élèves électrotechniciens semblent différencier les notions d'intensité du courant et de tension. En effet, le traitement de ces deux concepts est clairement différent.

Non différenciation des grandeurs physiques sur le schéma électrotechnique

En revanche sur un schéma électrotechnique, les élèves ne semblent pas différencier les notions d'intensité du courant et de tension. En effet, le traitement de ces deux concepts est proche pour chaque proposition. Nous pouvons aussi noter que les élèves semblent raisonner à grandeur électrique constante sur un schéma électrotechnique. En effet, la proposition "elle est identique dans les deux schémas" arrive largement en tête qu'il s'agisse de l'intensité du courant ou de la tension.

Propositions	Electrocinétique		Electrotechnique	
	Tension	Intensité du courant	Tension	Intensité du courant
Elle est nulle.	13 %	5 %	11 %	10 %
Elle est plus élevée que ...	17 %	21 %	11 %	19 %
Elle est moins élevée que ...	10 %	43 %	14 %	19 %
On ne peut pas savoir.	7 %	8 %	4 %	5 %
Elle est identique dans les deux schémas.	53 %	23 %	60 %	47 %

Lecture et compréhension des éléments d'un circuit électrique

Lecture par découpage conceptuel sur un schéma électrotechnique

La quasi-totalité des élèves a su redessiner de mémoire les quatre schémas D1 à D4 et expliquer le rôle du schéma D1 en citant le nom exact du montage ou en expliquant le fonctionnement de celui-ci. Il semble que ces élèves procèdent à une lecture par découpage conceptuel du schéma électrique. Ils ont reconnu trois types d'éléments : un allumage simple, un va-et-vient, six prises.

Lecture d'un schéma électrocinétique

Rôle d'un instrument de mesure dans un schéma

Dans trois schémas identiques mais présentés dans des configurations différentes, les rôles du voltmètre et de l'oscilloscope en parallèle avec le générateur et la résistance sont identiques. La plupart des élèves ne perçoit pas le rôle complet de l'instrument de mesure pour ne lui attribuer la mesure de la tension qu'aux bornes d'un seul élément.

Propositions : le voltmètre mesure ...	Schéma 1	Schéma 2	Schéma 3
La tension aux bornes soit de R, soit de G	72 %	88 %	88 %
La tension à la fois aux bornes de G et R.	28 %	16 %	12 %
Propositions : l'oscilloscope mesure ...	Schéma 1	Schéma 2	Schéma 3
La tension aux bornes soit de R, soit de G	67 %	70 %	71 %
La tension à la fois aux bornes de G et R.	19 %	16 %	10 %

Schéma équivalent

Peu d'élèves sont capables de reconnaître l'équivalent d'un schéma électrocinétique. Le taux de bonnes réponses (trois schémas) et de bonnes réponses partielles (un ou deux schémas sur trois) est faible, notons aussi qu'une part importante des élèves propose un schéma absurde.

Bonne réponse (trois schémas)		11%
Bonne réponse partielle	Deux schémas	7%
	Un schéma	17 %
Choix de la proposition absurde		39%

Il semble que la lecture d'un schéma électrocinétique ne se fasse pas par découpage conceptuel, mais par un découpage local, centré sur au plus deux éléments particuliers du

circuit faisant l'objet d'une analyse en terme de concept physique, en l'occurrence la tension dans cet exemple.

Conclusion

Cette étude semble montrer que les élèves en formation aux métiers de l'électricité, face à un problème concernant les grandeurs physiques, adoptent, pour chaque schématisation, un raisonnement spécifique. Sur les schémas électrocinétiques, les raisonnements de sens commun sont moins fréquents pour ces élèves que pour ceux des sections générales. En revanche, sur les schémas électrotechniques, non seulement ils raisonnent comme les autres élèves et étudiants mais il semble qu'ils ne différencient pas les grandeurs physiques et qu'ils raisonnent à grandeurs constantes. Cette étude paraît aussi montrer que les élèves en formation aux métiers de l'électricité adoptent des modes de lecture spécifiques à chaque schématisation. Il semble que la lecture du schéma électrotechnique se fasse en terme de reconnaissance d'unités signifiantes mais que celle-ci ne soit pas liée à la compréhension des phénomènes physiques. En revanche, la lecture du schéma électrocinétique semble se faire en terme de compréhension des phénomènes physiques mais il n'y a pas de perception d'unité signifiante et l'analyse des grandeurs se fait alors localement. Ce travail va se poursuivre par des entretiens visant à expliciter le mode de lecture des schémas, en vue de déterminer pourquoi, en présence de problèmes identiques, les élèves ne mobilisent pas les ressources cognitives acquises soit en électrocinétique, soit en électrotechnique.

Bibliographie

BENSEGHIR Abdelmadjid, 1989. "Transition électrostatique-électrocinétique : point de vue historique et difficultés des élèves", Thèse, Université Paris VII.

CAILLOT Michel, 1984. "Problem representations and problem solving procedures in electricity", Actes du colloque de Ludwigsburg, "Aspects of understanding electricity".

CAILLOT Michel et CAUZINILLE-MARMÈCHE E, 1984 "Rôle des schémas prototypiques dans la résolution de problèmes", *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifique*, pp 405-413.

CAILLOT Michel, 1988, "Circuits électriques : schématisation et résolution de problèmes. Technologies", *Idéologies, Pratiques. VII*, n°2, pp 59-83.

CLOSSET Jean-Louis, 1983, "*Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*", Thèse, Université Paris VII.

CLOSSET Jean-Louis, 1987, "Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique", *BUP*, n°716, pp 931-950.

JOSHUA Samuel, 1984, "Effets comparés de la présence et de l'absence d'un schéma dans la conduite d'un raisonnement en électrocinétique", *BUP*, n°660, pp523-530.

JOSHUA Samuel, 1985, "Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique", Thèse, Université de Provence

WEILL-BARRAIS Annick, 1993, *L'homme cognitif*, PUF.

La perception des sciences par des lycéens est-elle modifiée par la présentation par des chercheurs de leurs travaux ?

SIMONNEAUX Laurence, DUCAMP Christine, ALBE Virginie, SIMONNEAUX Jean & HIRTZLIN Nadine, ENFA Toulouse

Introduction

L'Université des Lycéens est un dispositif qui a été mis en place en France par la Mission d'Animation des Agrobiosciences (MAA) pour redonner du sens aux savoirs scientifiques auprès des élèves, pour lutter contre la désaffection des élèves vis-à-vis des sciences. Ce dispositif prend la forme de conférences faites par des chercheurs devant des lycéens. Les organisateurs espèrent que cette « incarnation » de la recherche va motiver les élèves et leur faire entrevoir autrement la nature de la science et les carrières scientifiques.

Chaque séance fait intervenir un chercheur, qui en est le conférencier principal. Celui-ci explore un champ scientifique à travers sa trajectoire individuelle mais aussi la trajectoire collective de sa discipline (évolution, enjeux, contraintes, motivations, questionnements...). A ses côtés, un interlocuteur, de discipline ou de secteur professionnel autre, complète cette conférence et réagit aux propos du chercheur.

Les trois conférences étudiées ont porté sur des questions socio-scientifiques.

La conférence « Les plantes : des usines chimiques en miniature » : Conférencier : Alain-Michel Boudet, professeur de biologie végétale à l'Université Paul Sabatier, directeur de l'Institut de sciences fédératives « Signalisation cellulaire et biotechnologie végétale », membre de l'Institut Universitaire de France ; interlocuteur : Bruno David, directeur de recherches au sein du Groupe pharmaceutique Pierre Fabre, spécialisé dans la chimie des plantes et la recherche de substances naturelles.

La conférence « Quel climat fera-t-il demain ? » : Conférencier : Jean-Claude André, météorologue à Météo France, plus exactement au Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique ; interlocuteur : Emmanuel Cloppet, responsable de la division Agrométéorologie à Météo France.

La conférence « La science économique peut-elle aider l'Afrique ? » : Conférencier : Jean-Paul Azam, professeur de sciences économiques à l'Université des Sciences Sociales de Toulouse, directeur du laboratoire ARQADE, directeur de recherche à l'Institut d'Economie Industrielle et membre de l'Institut Universitaire de France ; interlocuteur : Zéphirin Mouloungui, originaire du Congo, directeur de recherches Inra en chimie agro-industrielle des oléagineux.

Nous avons analysé l'impact de la 1^{ère} conférence sur 136 élèves, de la 2^{ème} sur 177 élèves et de la 3^{ème} sur 287 élèves. Les élèves appartiennent aux filières scientifiques ou techniques et professionnelles. Il y a 83 élèves de seconde.

Cadre théorique et questions de recherche

Les questions socio-scientifiques

Un des buts de l'enseignement des sciences est de développer chez les élèves la compréhension de l'interdépendance entre la société et la science. C'est le courant éducatif connu sous le nom de Sciences-Technologies-Société (STS). Dans ce champ, figure l'étude des questions scientifiques controversées (Gayford, 2002 ; Kolstoe, 2001 ; Sadler *et al.*, 2004 a & b; Zeidler *et al.* 2002,...). Des didacticiens anglo-saxons ont introduit la notion de « socio-scientific issues » pour décrire des dilemmes sociaux liés à des domaines scientifiques. Il s'agit de questions à propos desquelles les opinions divergent et qui ont des implications dans un ou plus des domaines suivants : scientifique, social, éthique, politique, économique, environnemental,... Les questions socio-scientifiques font l'objet de controverses aux niveaux de la recherche, de la société, des médias car elles sont empreintes d'incertitudes.

L'enjeu éducatif est de permettre aux élèves de développer une opinion informée sur ces questions, d'être capables de faire des choix en matière de prévention, d'action, d'utilisation et d'être capables d'en débattre. Pour cela, il convient entre autres que les élèves comprennent les contenus scientifiques impliqués, leur épistémologie, et identifient les controverses à leur sujet, analysent leurs répercussions sociales (économiques, politiques, éthiques, ...). Une personne alphabétisée en sciences devrait être capable de comprendre les débats sur une question « socio-scientifique ». La plupart des problèmes rencontrés dans la société moderne exige pour leur résolution plus qu'une solution scientifique, c'est-à-dire la prise en considération des implications sociales qui accompagnent les décisions fondées sur la science.

Chaque élève est ou sera confronté à des prises de décision sur des questions socio-scientifiques, l'école doit l'y préparer.

Se pose, comme l'intitule Edgar Morin *« le problème historique, désormais capital, de la démocratie cognitive. »* Les questions socio-scientifiques s'avèrent *« polydisciplinaires »* pour reprendre l'expression d'Edgar Morin, multidimensionnelles, transnationales et, avec la mondialisation croissante, planétaires.

Les conceptions de la science, de l'enseignement scientifique et des métiers scientifiques

Des recherches réalisées au plan international sur les attitudes des élèves vis-à-vis de la science ont pointé l'influence de différents facteurs tels que le genre, les programmes, la culture... Nous nous sommes fondés sur elles pour élaborer notre outil d'investigation. Une excellente revue de la littérature sur la question a été publiée en septembre 2003 par Osborne *et al.*. Une série de comportements traduisant une attitude globalement positive vis-à-vis de la science a été catégorisée:

- la manifestation d'attitudes favorables vis-à-vis de la science et des scientifiques ;
- l'acceptation de la démarche scientifique comme mode de pensée ;
- l'adoption « d'attitudes scientifiques » ;
- le plaisir d'apprendre des expériences scientifiques ;
- le développement d'intérêt pour la science et des activités qui s'y rattachent et
- le développement du choix d'une carrière scientifique.

Différentes études (Piburn, 1993 ; Woolnough, 1994,...) ont incorporé une série d'éléments dans leurs mesures des attitudes vis-à-vis de la science, tels que :

- la perception des enseignants ;
- l'anxiété vis-à-vis de la science ;
- la valeur de la science ;

- la motivation vis-à-vis de la science ;
- le plaisir en sciences ;
- l'attitude des pairs et des amis vis-à-vis de la science ;
- la réussite en science ;
- la peur de l'échec dans les cours de sciences.

Il faut noter que des élèves peuvent exprimer de l'intérêt pour la science mais éviter de le montrer au milieu des autres élèves qui ne partagent pas cet intérêt. Les adolescents sont très influencés par les normes du groupe d'appartenance. L'adolescence est une période de moratoire pendant laquelle l'établissement de la personnalité est en suspend et ainsi plus influencé par les attentes normatives des pairs. Par exemple, il semble « normal » que les garçons fassent des sciences et pas les filles. S'y conformer serait un moyen d'établir son identité de genre.

Il faut distinguer l'attitude des élèves vis-à-vis de la science et celle vis-à-vis de l'apprentissage des sciences. Nous avons demandé aux élèves de classer leur intérêt pour les différentes disciplines scolaires et d'indiquer s'ils avaient peur de l'échec dans les différentes disciplines.

Une recherche récente a porté sur la relation entre l'attitude vis-à-vis des sciences et la réussite des élèves dans 3 pays (Australie, Chypre, USA) (Papanastasiou & Zembylas, 2004). Un modèle informatisé a été construit à cet effet. Les variables prises en considération sont la perception de la compétence de l'individu, son goût pour l'étude de la biologie, des sciences de la terre, de la physique et de la chimie, l'importance accordée à leur réussite en sciences par le père, la mère, les amis et l'individu lui-même.

Les recherches citées plus haut ont montré que les facteurs environnementaux influencent l'attitude des élèves vis-à-vis de la science, notamment leur origine socio-économique, le goût pour l'apprentissage des disciplines scientifiques, la peur de l'échec, les activités extra-scolaires, en particulier celles réalisées avec le père, les expériences dans l'enfance (par exemple, l'utilisation de jeux scientifiques initiatiques), et comme nous l'avons dit plus haut l'attitude des pairs et des amis. Qu'en est-il sur notre échantillon ?

Dans le monde, une importance croissante a été accordée par les spécialistes de l'éducation scientifique à l'étude de la nature des sciences et de l'interdépendance entre la société et les sciences (Sadler *et al.*, 2004a). On peut en voir la concrétisation dans l'évolution des programmes d'enseignement. Le point de vue consensuel sur la nature des sciences est le suivant : certains savoirs scientifiques sont relativement stables, tandis que d'autres sont plus provisoires et susceptibles de changer en fonction de nouveaux résultats ou à cause de la réinterprétation de résultats antérieurs. La science repose sur des preuves empiriques, et les scientifiques utilisent leur créativité pour obtenir et interpréter ces preuves. La recherche scientifique et les normes culturelles s'influencent mutuellement (Sadler *et al.*, 2004a). Etant donné l'importance croissante de nombreuses questions socio-scientifiques (biotechnologies, questions environnementales...) dans notre société moderne, elles jouent un rôle primordial en éducation scientifique. La connaissance de la nature des sciences a une influence sur l'analyse de questions socio-scientifiques. Pour pouvoir traiter ce type de questions, les étudiants doivent savoir comment reconnaître et interpréter des données, comprendre comment de multiples facteurs sociétaux ont des impacts différents, apprécier le fait que les personnes parties prenantes ont souvent des opinions divergentes (Sadler *et al.*, 2004b).

Quelle perception de la nature des sciences ont les élèves qui ont participé à l'Université des Lycéens ? Comment perçoivent-ils les interactions entre les sciences et la société ? Quels facteurs, selon eux, influencent la recherche ? Comment la recherche a-t-elle des répercussions sur la société ? Qu'en pensent-ils ?

Il ne faut pas oublier que l'attitude dure tandis que la connaissance est éphémère (Osborne *et al.*, 2003, Simonneaux, 1995).

Un reproche peut être adressé aux instruments de mesure de l'attitude : ils peuvent ne mesurer que la partie visible de l'iceberg. Ainsi des entretiens semi-directifs sont venus compléter ces mesures pour identifier et mieux comprendre l'attitude et ses sources.

Méthodologie

L'évaluation a porté sur l'appropriation de connaissances scientifiques sur les thèmes abordés dans les conférences et sur les représentations qu'ont les élèves de la science, de l'enseignement scientifique et des métiers scientifiques et technologiques. Le protocole s'est déroulé en plusieurs temps :

- Entretien avec le conférencier pour élaborer le questionnaire thématique,
- Avant la conférence, passation d'un questionnaire sur les représentations qu'ont les élèves de la science, de l'enseignement scientifique et des métiers scientifiques et technologiques (construit à partir des méthodologies mises en œuvre dans des recherches internationales sur les perceptions des élèves de la nature de la science, sur les opinions des élèves sur les applications scientifiques et sur l'enseignement scientifique...). Ce questionnaire est complété par des questions thématiques destinées à cerner les connaissances des élèves sur le thème de la conférence.
- Après la conférence, passation d'un deuxième questionnaire pour mesurer l'évolution des représentations qu'ont les élèves de la science, de l'enseignement scientifique et des métiers scientifiques et technologiques, complété par des questions thématiques destinées à identifier leur appropriation de connaissances sur le thème.
- Entretiens approfondis avec un échantillon d'élèves sélectionnés en fonction de leurs résultats scolaires (bons et faibles résultats dans les disciplines scientifiques).

Dans cette communication, nous présenterons quelques résultats obtenus à partir des questionnaires pré-post sur les représentations qu'ont les élèves de la science, de l'enseignement scientifique et des métiers scientifiques et technologiques analysés à l'aide du logiciel Le Sphynx.

Résultats

Les questionnaires pré et post test sur cette partie comportent en tout 27 questions. 18 portaient plus spécifiquement sur les caractéristiques socio-culturelles des élèves, sur leurs projets en matière de formation et de métier, sur leur goût et leur peur de l'échec vis-à-vis des cours de différentes disciplines, sur leurs activités scientifiques non formelles extrascolaires. Les réponses à ces questions ne devaient pas varier significativement suite à la conférence. Elles nous permettent de vérifier la fiabilité du questionnaire.

Les 9 autres questions portaient sur leur opinion des scientifiques, l'intérêt des recherches scientifiques pour la société, leur sentiment vis-à-vis du développement des recherches, les buts et les éventuels risques des recherches scientifiques, les produits des sciences, les facteurs influençant les recherches et les chercheurs.

Caractéristiques socio-culturelles des élèves

La dépendance entre les filières de formation et la profession du père est très significative. Les élèves engagés au secondaire dans la filière qui est supposée conduire à des études scientifiques sont issus de milieux favorisés. On retrouve là une question lancinante : est-ce que l'école peut servir d'ascenseur social ou contribue-t-elle à la reproduction de l'organisation sociale ?

Les élèves des filières scientifiques ont des copains qui envisagent une carrière scientifique (TS)¹. Ceci est conforme à d'autres résultats qui montrent l'influence de l'attitude des pairs et des amis vis-à-vis des sciences. Ils sont aussi davantage encouragés par leurs parents à faire des études scientifiques (S).

Goût et peur de l'échec vis-à-vis de différentes disciplines

Il s'agit globalement d'élèves qui aiment les différentes disciplines. Ce goût peut avoir plusieurs origines : le plaisir d'étudier la matière, la qualité de l'enseignant, les notes obtenues, ... Bien entendu, plus les individus sont confrontés directement dans des examens à des épreuves dans certaines disciplines, plus ils ont peur de l'échec. Nous n'observons pas de changement d'avis entre pré et post-test ; ce qui confirme la validité interne de l'enquête.

Activités scientifiques non formelles extrascolaires

80% des élèves déclarent ne pas avoir eu de jeux initiatiques comme le petit chimiste, le petit biologiste... (TS entre les filières). 62,7% déclarent lire des magazines à caractère scientifique (Eureka, SVJ...)(TS entre les filières). 14% d'entre eux ne regardent pas l'émission de vulgarisation scientifique « c'est pas sorcier » ; 83,2% déclarent l'aimer.

Opinion vis-à-vis des sciences

Globalement, les avis de ces élèves sur les scientifiques et l'intérêt de la recherche sont **positifs**. 55,3% déclarent avoir une **opinion favorable des scientifiques** ; 61,7% considèrent que **les recherches scientifiques sont bénéfiques pour la société** ; 32,2% sont **enthousiastes vis-à-vis du développement des recherches**, 41,8% ne sont ni anxieux, ni enthousiastes, et 18,7% sont anxieux. Les élèves de filière scientifique sont les plus positifs (TS) à l'exception de ceux qui envisagent des carrières dans l'environnement qui sont les plus anxieux vis-à-vis du développement des recherches.

A quoi servent les recherches scientifiques ?

	oui	non	Ne sais pas	Dépendance entre filières
Produire des connaissances	83%	7,3%	9,6%	NS
Découvrir le monde	86,5%	8,2%	5,3%	NS
Inventer le monde de demain	56,2%	30,4%	13,4%	S
Fabriquer de nouveaux produits qui améliorent la vie	76,5%	12,2%	11,3%	TS
Développer la croissance économique	41,4%	33,2%	25,4%	NS
Améliorer le sort des pays en voie de développement	50,7%	28,1%	21,1%	NS

¹ NS = dépendance non significative ; S = dépendance significative ; TS = dépendance très significative.

Améliorer le sort des pays industrialisés	55,6%	21,2%	23,2%	NS
Réduire les inégalités sociales	20,6%	57,1%	22,4%	NS
Réduire les problèmes de famine dans le monde	31,8%	46,9%	21,3%	NS
Guérir des maladies graves	88,4%	7,8%	3,7	TS
Protéger l'environnement	63,7%	22,9%	13,4%	S

Que produit la recherche scientifique ?

	oui	non	Je ne sais pas	Dépendance entre filières
Des faits exacts	34,1%	39,4%	26,5%	TS
Des vérités provisoires	69%	12,5%	18,5%	S
Des vérités universelles	45,4%	28,3%	26,3%	TS
Des risques	73,6%	11,3%	15,2%	TS
Des incertitudes	75,7%	8%	18,3%	NS

Majoritairement, les élèves considèrent avec raison que la recherche scientifique produit des vérités provisoires. Ils sont moins sûrs d'eux à propos de la production de faits exacts (26,5% ne savent pas) et des vérités universelles (26,3% ne savent pas) – peut-être ne définissent-ils pas clairement ce que sont des vérités universelles ? 73,6% pensent que la recherche scientifique produit des risques et pour 75,7% des incertitudes (de quelles incertitudes s'agit-il ? des savoirs incertains ou des applications incertaines ?).

Les recherches scientifiques peuvent :

	oui	non	Je ne sais pas	Dépendance entre filières
Détériorer la qualité de la vie	33,1%	46,1%	20,7%	TS
Détériorer l'environnement	63%	23,6%	13,4%	TS
Accroître les inégalités sociales	47,4%	27,7%	24,9%	TS
Engendrer des problèmes de santé humaine	51,9%	26,1%	22%	S
Accroître la dépendance des PVD vis-à-vis des pays industrialisés	59,4%	12,4%	28,2%	TS

De quoi dépendent les recherches ?

45,4% pensent qu'elles dépendent des **valeurs morales des scientifiques** (32,3% ne savent pas) (dépendance très significative entre les classes).

- De motifs personnels des scientifiques, comme :

	oui	non	Je ne sais pas	Dépendance entre filières
Se faire plaisir	53,6%	30,5%	15,8%	NS
Se mettre en valeur	44,3%	37,3%	18,4%	NS
Plaire aux employeurs	29,4%	50,3%	20,3%	NS
Plaire aux financeurs des recherches	51,7%	31,1%	17,1%	NS
Avancer dans leur carrière	83,3%	8,5%	8,2%	NS
Etre le premier à produire des connaissances dans un domaine	74,9%	11,8%	13,3%	NS

Avancer dans leur carrière et être le premier à produire des connaissances dans leur domaine sont des motifs personnels qui ont pour ces élèves un impact sur les recherches. Plaire aux financeurs, se faire plaisir jouent aussi. Plaire aux employeurs ne jouent pas pour la moitié des élèves. Les avis sont similaires quel que soient les filières de formation.

59,2% des élèves pensent que les recherches dépendent d'influences dues à des financements privés, 56,2% pensent qu'elles dépendent d'influences dues à des financements publics

et 31,2% avouent ne pas savoir. 48,8% pensent que les recherches dépendent d'orientations politiques, 25,3% ne le pensent pas et 25,9% ne savent pas qu'en penser. 32,1% ne pensent qu'elles dépendent des opinions politiques des chercheurs, 36,3% pensent l'inverse et 31,6% déclarent ne pas savoir.

Globalement, on peut dire que les conférences ont eu peu d'impact sur les conceptions préalables sur les sciences et les scientifiques, ni sur l'appropriation de connaissances.

Mais, on observe des différences significatives ou très significatives sur l'impact des différentes conférences sur certaines variables, ce qui peut être lié au thème, à la prestation du conférencier, mais aussi au fait que des classes de filières différentes y ont participé.

Par ailleurs, on observe un effet genre sur de nombreuses variables et des dépendances significatives et très significatives entre variables, notamment sur l'intérêt des recherches pour la société, sur la décision de faire des études scientifiques, sur les sentiments (anxiété/enthousiasme) vis-à-vis du développement des recherches.

Discussion

Malgré les différences socio-culturelles que nous avons observées, il s'agit d'élèves qui ont des a priori positifs vis-à-vis des sciences, des scientifiques et des carrières scientifiques.

Si l'objectif du dispositif est de redonner du sens aux savoirs scientifiques auprès des élèves, pour lutter contre la désaffection des élèves vis-à-vis des sciences, le public ayant participé à ces conférences n'est peut-être pas le plus adéquat, puisque ici nous avons affaire majoritairement à des élèves qui ont déjà choisi leur orientation. Il conviendrait plutôt de viser le public des élèves de 2nde, classe où l'orientation n'est pas encore réalisée. Ceci renforcerait l'importance à accorder au niveau de formulation de la conférence qui doit être adapté au niveau des élèves.

Les conférences ont eu peu d'impact sur les conceptions préalables sur les sciences et les scientifiques, ni sur l'appropriation de connaissances. Les élèves ont eu du mal à s'approprier les connaissances développées lors des conférences. Pour reconduire l'opération, il conviendrait peut-être de s'appuyer sur l'identification du système de représentations-connaissances des élèves pour tenir compte du socle sur lequel pourra reposer leur apprentissage et de construire avec les conférenciers une stratégie didactique fondée sur les questions et préoccupations des élèves, sur leurs potentialités d'apprentissage et de mémorisation. Les élèves construisent de nouvelles connaissances sur les questions socio-scientifiques à partir de leur système de représentations-connaissances, c'est-à-dire à partir de leurs représentations sociales sur le thème traité qui peuvent induire des attitudes négatives ou positives et stimuler ou bloquer l'apprentissage ou leurs perceptions de la science et des scientifiques, à partir aussi de l'état de leurs connaissances scientifiques sur les domaines abordés (connaissances lacunaires, exactes, erronées). Sans oublier le fait que le système de représentations-connaissances des élèves est marqué par les couvertures médiatiques.

Malgré la mise à disposition aux enseignants d'informations sur le thème des conférences, les élèves n'ont pas réalisé de travail préparatoire. Il est essentiellement fourni aux enseignants une liste de sites Internet ; malheureusement, il est à craindre que les enseignants ne puissent prendre le temps d'exploiter les données ainsi potentiellement à leur disposition. Des supports plus opérationnels en classe sont peut-être à construire. Il nous semble que l'efficacité de la conférence serait plus grande si elle s'intégrait dans une stratégie didactique globale, intégrant l'avant et l'après conférence, menée en collaboration avec les enseignants. L'appropriation de

connaissances est plus performante quand le dispositif est multi épisodique, c'est-à-dire lorsque les savoirs sont mobilisés dans différents moments, et différents contextes.

Enfin, un dernier point nous semble essentiel, étant donné le nombre important de participants à ces conférences-débats, les élèves se retrouvent globalement (sauf pour les quelques uns qui prennent part au débat) dans une situation de transmission-réception qui correspond à un modèle d'enseignement où l'élève a une position passive ; or la didactique des sciences se fonde sur le modèle constructiviste. Ce constat renforce la suggestion précédente de l'inclusion mieux gérée de la conférence-débat dans une démarche didactique globale pour permettre aux élèves d'être davantage acteurs.

Bibliographie

BREAKWELL Glynis et BEARDSSELL Susan, 1992, Gender, parental and peer influences upon science attitudes and activities. *Public Understanding of Science*, 1, pp. 183-197.

GAYFORD Christopher, 2002, Controversial environmental issues : a case study for the professional development of science teachers, *International Journal of Science Education*, 24 (11), pp.1191-1200.

KOLSTO Stein, 2001, Scientific literacy for citizenship: tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education*, 85, pp.291-310.

MORIN Edgar, 1998, *Pourquoi et comment articuler les savoirs ?* Paris, PUF.

OSBORNE Jonathan, SIMON Shirley et COLLINS Sue, 2003, Attitudes towards science : a review of the literature and its implications, *International Journal of Science Education*, 25, 9, pp.1049-1080.

PAPANASTASIOU Elena et ZEMBYLAS Michalinos, 2004, Differential effects of science attitudes and science achievement in Australia, Cyprus and the USA, *International Journal of Science Education*, 26, 3, pp.259-280.

SADLER Troy, CHAMBERS William et ZEIDLER Dana, 2004a, Student conceptualisations of the nature of science in response to a socioscientific issue, *International Journal of Science Education*, 26, 4, pp.387-410.

SADLER Troy et ZEIDLER Dana, 2004b, The morality of socioscientific issues: construal and resolution of genetic engineering dilemmas, *Science Education*, 88,1, pp.4-27.

SIMONNEAUX Laurence, 1995, Thèse de doctorat – Approche didactique et muséologique des biotechnologies de la reproduction bovine, Lyon1.

WOOLNOUGH Brian, 1994, *Effective science teaching*, Buckingham, Open University Press.

ZEIDLER Dana, WALKER Kimberly, ACKETT Wayne et SIMMONS Michael, 2002, Tangled up in views: Beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas. *Science Education*, 86, pp. 343-367.

Adolescents en difficulté scolaire et apprentissage scientifique

SIMONNET Etienne, WEIL-BARAIS Annick, CAILLOT Michel, Laboratoire EDA, Education et apprentissage, Université René Descartes - Paris 5, 45 rue des Saints-Pères, 75006 Paris

Introduction

Les disciplines scientifiques sont souvent absentes des enseignements proposés aux élèves de section d'enseignement général et professionnel adapté (SEGPA¹). Les problèmes d'apprentissage qu'ils rencontrent semblent les exclure des activités réflexives nécessitant un niveau élevé d'abstraction. Les circulaires définissant le fonctionnement de ces sections insistent d'ailleurs sur la nécessité de baser les enseignements sur des activités concrètes et la manipulation. Peu de recherches se sont intéressées aux spécificités cognitives de ces élèves. Cependant le développement de leurs compétences cognitives devraient être l'enjeu des structures les accueillant. Partant du postulat que la structure cognitive de chacun des élèves n'est pas figée et est susceptible d'évolution, une précédente recherche (Simonnet, 2002) avait montré que dans un cadre didactique fondé sur les notions d'étayage et de modèle précurseur, des élèves de SEGPA étaient capables de construire des connaissances d'un niveau élevé d'abstraction dans le domaine de la mécanique. Ils devaient se confronter aux mêmes obstacles épistémologiques que des élèves de lycée et leurs spécificités se situaient davantage dans leurs relations aux savoirs et à l'acte d'apprendre ainsi qu'à la représentation qu'ils avaient d'eux-mêmes en tant qu'élève en difficulté. Dans cette contribution, nous présentons une séquence d'apprentissage qui a permis à des élèves de SEGPA de s'approprier un modèle précurseur et de le faire évoluer dans le domaine scientifique afin d'analyser des situations concernant les phénomènes sonores. Nous étudierons les particularités du fonctionnement cognitif de quelques-uns de ces élèves en difficulté scolaire ainsi que les obstacles qu'ils ont dû affronter (obstacles épistémologiques, démarches cognitives employées pour expliquer et prévoir).

Hypothèses et questions de recherche

Cette recherche s'intéresse aux conditions d'accès à la conceptualisation dans un domaine scientifique chez des adolescents en difficulté scolaire. Deux hypothèses fondent ce travail :

a/ des élèves de SEGPA sont capables, dans un cadre didactique approprié, de construire des concepts formels d'un niveau élevé d'abstraction.

b/ la manière dont ils s'investissent dans l'espace d'apprentissage peut favoriser et/ou entraver la construction des connaissances.

Plusieurs questions se posent alors. Quel peut-être l'intérêt d'un enseignement scientifique pour des élèves en difficulté scolaire ? Quel dispositif didactique peut leur permettre de construire des concepts formels ? En accord avec l'hypothèse d'un lien entre langage et structure cognitive, comment agir sur cette dernière par le biais de systèmes sémiotiques, pour que les élèves s'engagent dans le processus d'apprentissage ? Quelles sont leurs spécificités cognitives ?

¹ Les SEGPA, structures intégrées au sein des collèges, accueillent des élèves de 12 à 16 ans en difficulté scolaire. L'objectif pour ces élèves, à l'issue de la 3^{ème}, est la poursuite d'une scolarité en vue d'une qualification de niveau V. Elles sont définies par les circulaires n°96-167 du 20-06-1996 et n°98-129 du 19-06-1998.

Sciences et SEGPA - Modèle précurseur

Dans une brochure intitulée « Accompagnement des programmes de SEGPA² », il est précisé que les élèves « ont besoin de s'inscrire dans une dynamique de projets, successifs et modestement ambitieux, de faire face à des questions/problèmes simples et concrets pour se faire graduellement une idée des buts à atteindre. ». Cette insistance sur le concret que l'on trouve dans ce document et dans les circulaires définissant les SEGPA équivaut à une sorte de déni de l'abstraction. Pourtant, un enseignement scientifique, qui est nécessairement un apprentissage de l'abstraction et une fabrique de représentations, peut permettre aux élèves de SEGPA une réflexion sur le monde et leur vie quotidienne (Weil-Barais, 2004). Cependant, en sciences, la rupture est trop grande entre les représentations des élèves et les modèles physiques pour qu'ils puissent y accéder directement. Il est nécessaire d'opérer des aménagements didactiques qui passent par l'élaboration de modèles précurseurs. Ces derniers, basés sur les notions de *zone proximale de développement* (Vygotski, 1934) et d'*étayage* (Bruner, 1983), ont pour fonction de proposer des transitions acceptables à la fois sur le plan psychologique et sur le plan épistémologique. Ils ont certaines caractéristiques des modèles savants, sans les posséder toutes. « Le qualificatif précurseur associé au mot modèle signifie qu'il s'agit de modèles préparant l'élaboration d'autres modèles. En conséquence, les modèles précurseurs comportent un certain nombre d'éléments caractéristiques des modèles savants vers lesquels ils tendent. [...] Ils sont précurseurs au regard du développement cognitif. Ce ne sont pas des précurseurs historiques » (Lemeignan & Weil-Barais, 1993). Un modèle précurseur, doit permettre aux élèves de comprendre les différentes situations auxquelles ils sont confrontés, de les expliquer, de faire des prévisions. Un tel modèle doit aussi être évolutif. L'objectif cognitif des séances était donc que les élèves appréhendent les phénomènes sonores par le biais d'un modèle précurseur leur permettant de comprendre les situations auxquelles ils étaient confrontés.

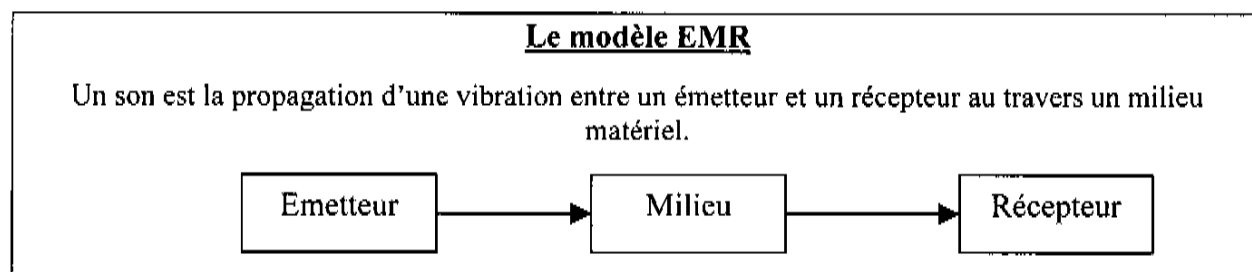


Figure 1 : le modèle EMR d'après Séjourné (2001).

Il était aussi proposé aux élèves une symbolisation (Figure 1) pour représenter les situations afin de mieux conceptualiser les termes du modèle : émetteur, milieu et récepteur. Cette variation des supports était importante car le développement des sciences est lié à un développement de systèmes sémiotiques de plus en plus spécifiques et indépendants du langage naturel (Granger cité par Duval, 1993). Toute représentation étant cognitivement partielle par rapport à ce qu'elle représente, d'un registre à l'autre ce ne sont pas les mêmes aspects du contenu d'une situation qui sont représentés. La signifiante est donc postulée comme d'emblée trans-registre (Duval, 1993).

Méthodologie

Cette recherche impliquée a été menée avec les sept élèves d'une 3^{ème} SEGPA. Ils devaient construire des connaissances sur le phénomène du son : faire évoluer le concept précurseur et s'approprier le système de représentation. Après le recueil individuel des représentations, la séquence (12 séances d'une heure) s'est composée de trois phases imbriquées : construction

² Ministère de l'Éducation nationale (1999). *Accompagnement des programmes de SEGPA, livret 1, Mathématiques, Physique-chimie, Technologie* (p42). CNDP.

du modèle, institutionnalisation, utilisation du modèle. Plusieurs modalités de travail furent proposées aux élèves : travail collectif, travail individuel, travail en groupe avec mise en commun collective. Différents types de travail « écrit » leur étaient demandés : texte, symbolisation, représentation picturale. Toutes les séances ont été enregistrées (vidéo et audio) avec retranscription intégrale des actes de langage. Un ensemble de situations (Cf. Annexe) a servi de support aux activités tant pour construire le modèle, que pour prévoir et/ou expliquer les phénomènes observés. Le corpus constitué est double : l'ensemble des retranscriptions et l'ensemble des productions écrites des élèves. L'étude a porté principalement sur les interactions verbales entre élèves et professeur au cours des séances afin d'analyser la construction du savoir du double point de vue cognitif et social.

Résultats : la construction des connaissances

Les représentations initiales des élèves

Les représentations que les élèves de collège ont des phénomènes sonores ont été très peu étudiées. Une ambiguïté est alors apparue. A quel niveau de recherche fallait-il se référer ? Aux études sur les élèves de seconde (âge des élèves de l'expérimentation) (Maurines, 1992 ; Viennot, 1996) ou aux études portant sur les élèves à l'école élémentaire (Lautrey & Mazens, 2004) ? On pouvait considérer en effet que les élèves de SEGPA n'ont pas encore atteint le stade des opérations formelles et que leurs représentations étaient proches de celles d'enfants plus jeunes. Cela s'est révélé pertinent pour certaines représentations. Piaget et Garcia (1971) avaient montré que pour des enfants de quatre à cinq ans rien ne se passe entre l'objet qui produit le son et l'oreille et ce résultat s'est retrouvé pour les élèves de SEGPA. De plus, ces élèves donnent souvent une définition tautologique d'un son : un son c'est un bruit. Certains ont certes évoqué l'idée de quelque chose qui se déplacerait mais de manière trop évasive pour en tenir compte dans un début de modèle. Seule une élève avait proposé la notion de vibration en ce qui concernait l'origine du son mais elle n'avait pas de représentation de la propagation de cette même vibration. La construction du modèle précurseur fut donc délibérément longue car le décalage était trop grand entre celui-ci et les représentations initiales des élèves pour que ceux-ci l'acceptent directement comme hypothèse.

Les obstacles épistémologiques

Les élèves se sont confrontés aux mêmes obstacles épistémologiques que des élèves de collège et de lycée (Vince, 1999 ; Linder & Erickson, 1989) à savoir le substantialisme et l'invisibilité des vibrations et de l'air. Les notions les plus difficiles à construire furent celles de milieu, de vibration et de sa propagation.

Le substantialisme

Un bel exemple est donné par une élève qui, dans la situation du *téléphone-yaourt*³, pour expliquer pourquoi l'autre entend sa voix, a tenté une comparaison fil = tube. Le son serait alors une sorte de liquide, de *substance sonore*, qui s'écoulerait dans ce tube.

03.100 Ké : Moi, j'aurais imaginé en fait, en fait, que ça le fil, ça serait pas un fil, que ça, enfin c'est un fil sauf qu'on voit pas que c'est un peu large à l'intérieur ça fait comme si que c'était un tuyau.
03.101 P : Et alors si c'était un tuyau ?
03.102 Ké : Ben que ... en fait quand vous parlez, quand vous parlez, ben ça passe dans le yaourt et pis après ça passe à l'intérieur du, du tuyau et pis ça va jusqu'à [Sa voix diminue].

Extrait 1 - Téléphone-Yaourt

Après un travail sur la notion de milieu, le rôle de l'air et la propagation d'une perturbation, le fait que rien de matériel ne se déplace entre l'émetteur et le récepteur n'était toujours pas conceptualisé. Le substantialisme persistait (extraits 2).

³ Voir tableau 1 en annexe pour le descriptif de certaines des situations proposées aux élèves.

a/ 04.101 P : [...] Qu'est-ce qui se passe dans l'air ?
 04.102 Mé : Ben l'air euh, emmène le son jusqu'au ballon [...] Je sais c'est compliqué mais ...
 b/ 10.070 An : [quand] ils parlent et ben ça transperce le mur et les molécules d'air elles viennent à nos oreilles.

Extrait 2 - a/ Ballon de baudruche, b/ La pièce d'à côté

L'invisibilité

L'invisibilité est le second obstacle auquel se sont heurtés les élèves. En effet, cela nécessite un degré d'abstraction élevé que de concevoir la propagation d'une entité non matérielle dans un milieu invisible (dans le cas de l'air). Cette problématique fut récurrente, tant en ce qui concernait l'invisibilité de la peau du tambourin qui vibre (Extrait 3/a), que de ce qui se propage (Extrait 3/b).

a/ 01.445 P : Elle bouge, de quelle manière elle bouge ?
 01.446 Mé : Transparent.
 b/ 03.122 P : Mais est-ce qu'il y a quelque chose que l'on peut toucher qui se déplace de là à là-bas ?
 03.126 Ké : C'est transparent euh ...

Extraits 3 - Le Tambourin

L'invisibilité s'est aussi retrouvée dans la difficulté qu'avaient les élèves de concevoir et de représenter l'air comme milieu de propagation.

06.047 P : [...] Qu'est-ce qui se passe dans l'air ?/
 06.048 Mé : /On ne peut pas monsieur ! On peut pas, on peut pas !! Y a rien dans ...
 06.049 Ké : Mais si y a des particules d'air !
 06.050 Mé : Mais oui, mais c'est invisible, on les voit pas ! !
 06.051 Ké : Mais on les voit pas mais y a des particules d'air.
 06.052 Mé : Mais moi je peux pas représenter quelque chose que je vois pas !

Extrait 4

Les notions de milieu et de vibration

Malgré ces obstacles, les élèves ont réussi à construire les notions de milieu et de vibration. La situation de *la cloche à vide* a permis la prise de conscience de la nécessité d'un milieu, quant aux situations *du train* et *du bateau*, elles ont renforcé la nécessité de celui-ci et sa diversité, grâce à sa variation et à l'emploi d'une routine conversationnelle (Franceschelli & Weil-Barais, 1998). Quant à la notion de propagation d'une vibration, elle fut beaucoup plus difficile à conceptualiser pour les élèves et tous n'y sont pas parvenus. En effet, des situations comme *les cassettes*, *le ressort* ou *la rumeur* ont permis aux élèves de prendre conscience que rien de matériel ne se déplaçait entre l'émetteur et le récepteur mais alors se posait la question centrale de la construction du concept précurseur. Qu'est-ce qui va du début à la fin ? Qu'est-ce qui se passe entre l'émetteur et le récepteur ? Et c'est finalement à la fin de la quatrième séance qu'un élève a émis une hypothèse sur ce qui pouvait se propager du début à la fin.

04.772 P : Finalement qu'est-ce qui a été jusqu'au bout ? [...]
 04.781 Th : Votre geste.

Extrait 5 - Les cassettes

La situation de *la rumeur* a, ensuite, renforcé la compréhension que quelque chose d'immatériel pouvait se déplacer d'un point à un autre. Mais ces situations, qui proposaient des analogies pour permettre la construction de la notion de propagation, ont bloqué pour certains l'évolution du modèle (Cf. infra 5.3.3).

Les explications des élèves

Pour comprendre l'évolution des connaissances, il fallait analyser les démarches cognitives que les élèves mettaient en œuvre pour expliquer et prévoir les phénomènes sonores. Les modes d'explication et de prévision les plus utilisés par les élèves furent les suivants : faire des analogies, décrire le perceptif, désigner les phénomènes.

La désignation

L'explication la plus employée fut la désignation. Expliquer c'est nommer, donner une étiquette au phénomène. Cela permet de contourner le problème de la causalité d'autant plus que l'assertion est à connotation scientifique (utilisation des termes : vibration, résonner, perturbation).

03.294 P : Qu'est-ce qui se passe, toujours la même question ?
03.295 Mé : /C'est parce que, c'est à cause d'un écho.
03.298 Mé : C'est à cause d'un écho. J'sais pas moi. C'est comme en montagne/

Extrait 6 - Ballon de baudruche

Apprendre, dans ces conditions, c'est acquérir un vocabulaire à utiliser à bon escient. C'est ainsi que différents modes d'explication, que l'on pourrait classer dans cette catégorie *désignation*, furent régulièrement employés par les élèves. Explications tautologiques : *un son c'est la vibration*, ou bien *C'est l'avalanche* (pour expliquer l'avalanche).

L'explication-descriptive, la prévalence de la perception

Un autre mode d'explication régulièrement employé par les élèves fut la description des faits sans faire référence au modèle en cours de construction. Décrire permet de sauver les apparences en tant qu'élève, faire son métier d'élève en répondant au professeur (Sirota, 1993) tout en évitant de s'exposer cognitivement et se remettre en cause.

04.215 Jo : Non, on entendra moins le réveil comme ça.
04.216 P : Pourquoi ?
04.218/220 Jo : Parce qu'il est enfermé dans la/ [...] /dans la boîte là.

Extrait 7 - Réveil dans la boîte

Ce besoin de perception s'est retrouvé régulièrement dans les moments de prévision. La majorité des élèves était incapable de faire des prévisions et demandait à s'en remettre à l'expérience ou à l'explication du professeur. Pas d'explication sans perception.

a/ 03.317 Jo : Eh, monsieur, si on parle nous-même et qu'on le tient dans les mains, ça fait quoi ?
b/ 03.469 Jo : Et si vous tapez avec votre fil, avec votre bâton là ? Sur le fil ça fait quoi ?

Extraits 8 - a/ Ballon de baudruche, b/ Téléphone-yaourt

Le recours à l'analogie

L'analogie fut un mode d'explication souvent employé par les élèves. Les situations des *cassettes*, du *ressort* et de *la rumeur* étaient en elles-mêmes des analogies et la compréhension du phénomène venait des liens que les élèves étaient à même d'établir entre ces situations. Mais une dérive didactique est apparue. L'analogie fut alors employée comme mode d'explication et la question de la causalité était là encore contournée. Certaines analogies témoignaient cependant d'une compréhension, même partielle, des situations.

05.230 Mé : Rumeur, c'est quelque chose qu'on dit et puis que/
05.231 An : /Tout le monde sache après, ça fait pareil pour ça [Les CD].
05.232 Mé : Comme le téléphone arabe.
05.233 P : Pourquoi ça serait pareil que ça ?
05.234 An : Le CD il le sait [...] Le CD il a appris la rumeur donc il peut baver à tous les autres CD ...
Ça fait que tous les CD ils savent et après ben voilà.

Extrait 9 - La rumeur

En contrepartie, certaines analogies, accompagnées d'explications, montraient une compréhension de la situation même si les mots manquaient encore aux élèves.

11.743 Ka : Et ça finit, euh, comme si euh, le son partait de la montagne [...].
11.745 Ka : Et ça refaisait la même chose que quand la personne parle [...].
11.751 Mé : C'est comme le ressort. ... Vous vous rappelez de votre ressort ?
11.752 P : Alors le ressort peux-tu nous reparler du ressort ?
11.753 Mé : Et ben on prenait le ressort, on le faisait bouger et il revenait vers nous.

Extrait 10 - L'écho

Les confrontations entre élèves

C'est lors de confrontations cognitives que les postures sociales et psychologiques étaient les plus saillantes. En effet, pour argumenter, il est nécessaire de s'exposer et de se confronter à des leaders cognitifs et/ou sociaux. Il faut aussi se remettre en cause, accepter de changer ses représentations et donc de modifier son identité cognitive. Parfois des explications correctes étaient balayées d'un *non !* sans appel de la part du leader ce qui, au passage, renforçait l'image négative d'un élève qui pourtant s'était approprié le modèle.

A 10.071 Th : Ça fait des vibrations dans le mur.

A 10.072 An : Non !

A 10.073 Th : Ben non, un peu trop bête.

Extrait 11 - La pièce d'à-côté

De réelles confrontations contradictoires (Gilly, Fraisse & Roux, 1988), avec apport d'arguments eurent cependant lieu entre les deux leaders sociaux du groupe. Ils se sont souvent affrontés sur une base cognitive (le modèle EMR), mais avec de forts enjeux de domination sociale car sur le fond ils étaient la plupart du temps en accord. Face à une situation (l'avalanche), l'un d'entre eux a même été « contraint » de changer de point de vue pour s'opposer à son concurrent.

09.250 P : [J'aimerais] que vous réagissiez parce que vous n'avez pas exactement la même symbolisation.

09.251 Ké : Oui parce que nous on a mis montage [Récepteur] et eux ils ont mis neige ... c'est tout.

09.252 Mé : [parce que] c'est la neige qui aperçoit les vibrations de nos cordes vocales. C'est pas la montagne.

09.253 An : Ben y a pas que la neige hein, y a la montagne hein !

09.254 Mé : Ouais mais la montagne va pas se mettre à bouger comme ça ! C'est plutôt la neige.

09.255 An : Ben oui, mais la neige elle est sur quoi ? Sur la montagne.

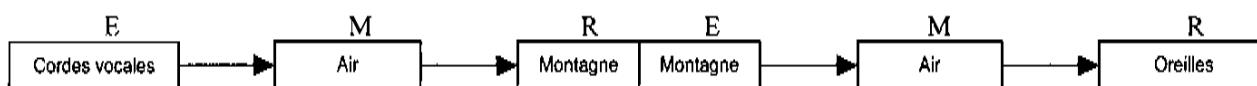
09.256 Mé : [Ben] mes oreilles sont, sont bien sur, sur, sur ma tête et pourtant c'est mes oreilles qui entendent !

Extrait 12 - L'avalanche

Quand les leaders n'étaient pas ensemble, des phases de co-élaborations acquiesçantes entre deux élèves ont pu être observées. Ces deux élèves sont aussi les seules qui ont exprimé un réel plaisir à participer à ces séances et qui ont le plus progressé cognitivement.

Evolution des représentations des élèves

La médiation mise en place avec les élèves leur a permis, malgré les obstacles épistémologiques rencontrés, de construire des connaissances pour expliquer et comprendre les phénomènes sonores. Les modifications conceptuelles, accommodations au sens piagétien du terme, sont, pour certains élèves, visibles dans les interactions verbales, et pour d'autres dans les explications qu'ils devaient fournir par écrit. La situation de l'écho a révélé ces modifications. Dans celle-ci le modèle EMR et sa symbolisation ne suffisaient pas et, pour analyser le phénomène, il était nécessaire de le faire évoluer. En effet, pour expliquer le retour du son dans une situation d'écho, il fallait *rajouter* des cases à la symbolisation. Ce qu'a bien réalisé une élève, de manière spontanée, avec la montagne qui prend successivement la fonction de récepteur puis celle d'émetteur.



Cette symbolisation fut comprise par certains élèves mais catégoriquement refusée par d'autres. Pour l'accepter, il fallait que les élèves aient modifié leur réseau conceptuel. Dans plusieurs situations, et cela rejoint le mode d'explication *désignation*, nous avons pu constater que l'expression *la vibration se propage* ne restait finalement qu'une étiquette qui ne signifiait nullement un changement conceptuel mais se substituait aux expressions initiales : *le son se propage* ou plus simplement *ça se propage*. En effet, dire *la vibration se propage* au

lieu de *ça se propage* ne signifie pas que la notion de vibration ait été construite pas plus que la notion de propagation. Mais, effet contraire, cela donne aux élèves l'illusion d'une explication scientifique qui peut alors s'opposer, encore plus que les représentations initiales, à l'évolution du modèle. Deux autres situations ont révélé des changements conceptuels des élèves : celle de *la pièce d'à-côté* et celle du *réveil dans la boîte*. Pour expliquer le fait que l'on entende le professeur qui parle dans la pièce d'à-côté, tout en excluant d'éventuelles fissures laissant passer la *substance sonore*, il était là aussi nécessaire de faire évoluer le modèle EMR pour que le mur puisse jouer successivement les rôles de récepteur puis d'émetteur. Le texte suivant révèle le changement conceptuel opéré chez une élève. Pour cette dernière, au début de la séquence, rien ne se passait entre l'émetteur et le récepteur, et dans la situation du *réveil dans la boîte*, elle réussit à fournir une explication acceptable quant à la propagation de la vibration.

Réveil boîte

Le reveille sonne dans la boîte parce que il est allumer. Et c'est grace au particule d'air qui se déplace. Et dont que les particule d'air qui sont dans la boîte font vibrer la boîte pour vibrer les particule d'air qui sont à côté de la boîte et qui vont jusqu'à notre oreille.

Texte écrit par Johana sous la dictée de Mélodie. Travail de groupe. Séance 10.

Pour les élèves, avant enseignement, le son était une sorte de *substance sonore* qui se déplaçait entre un émetteur et une oreille. Le son était donc classé dans la catégorie ontologique *Matière*. Pour que les élèves comprennent les phénomènes sonores ils devaient alors modifier leurs représentations et appréhender ces phénomènes comme appartenant à la catégorie *Processus* (Chi, Slotta & de Leeuw, 1994). La séquence didactique mise en place a permis à certains élèves de commencer à procéder à ce changement de catégorisation.

Conclusion

Face à un dispositif didactique basé sur les notions de tutelle et de médiation, et malgré le présupposé institutionnel d'une préférence pour les activités concrètes, des élèves en difficulté scolaire ont pu s'approprier et faire évoluer un modèle précurseur sur les phénomènes sonores. La phase de construction du modèle a montré que des élèves de SEGPA sont confrontés aux mêmes obstacles épistémologiques que des élèves *ordinaires* du même âge (le substantialisme, l'immatérialité et l'invisibilité de la vibration). D'un autre côté, les modes d'explication le plus usités par les élèves (désignation, description, analogie) n'étaient pas, *a priori*, en adéquation avec une démarche scientifique et étaient susceptibles d'entraver l'appréhension du modèle. Cependant, le cadre didactique proposé a permis aux élèves de progressivement s'investir dans le travail demandé, d'exprimer leurs conceptions, de les confronter aux autres et d'accepter de les faire évoluer. Certes tous les élèves n'ont pas accédé au modèle proposé mais certains, contrairement à une image *négative* que l'on a parfois des élèves de SEGPA, ont pu élaborer des connaissances d'un niveau d'abstraction élevé dans le domaine scientifique (explication cohérente, symbolisation évolutive). Bien sûr, ces élèves présentent des difficultés d'apprentissage et des spécificités d'ordre cognitif particulières et nous ne prétendons pas qu'un dispositif didactique, aussi bien conçu soit-il, puisse remédier à lui seul à toutes ces difficultés. De plus l'analyse des phases de confrontations a aussi révélé que les aspects sociaux prenaient parfois le pas sur les aspects cognitifs. La science, selon une optique socioconstructiviste, peut jouer un rôle dans le développement des compétences cognitives des élèves en difficulté scolaire et, en contrepartie, permettre aux élèves de modifier leurs conceptions du savoir et de l'apprendre. S'approprier une démarche scientifique peut alors faire prendre conscience que le savoir se construit, que c'est une entité dynamique en évolution, et que le rôle du professeur est d'accompagner cette construction.

Mais en retour, ce changement de représentations des savoirs et leur propre évolution cognitive peuvent modifier l'image qu'ils ont d'eux-mêmes en tant qu'élève en difficulté dans une structure adaptée et favoriser leur épanouissement personnel.

Bibliographie

- BRUNER Jérôme, 1983, *Savoir faire, savoir dire*, Paris, PUF.
- CHI Micheline, SLOTTA James & de LEEUW Nicholas, 1994, "From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts", *Learning and Instruction*, 4 (1), 27-43.
- DUVAL Raymond, 1993, « Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée », *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 5, 37-45. IREM de Strasbourg.
- FRANCESCHELLI Sarah et WEIL-BARAIS Annick, 1998, « La routine conversationnelle comme stratégie de changement conceptuel : apprendre à modéliser en physique », in : Andrée DUMAS CARRE & Annick WEIL-BARAIS (dir.), *Tutelle et médiation dans l'enseignement scientifique*, Bern, Peter Lang, pp. 211-238.
- GILLY Michel, FRAISSE Jacques et ROUX Jean-Paul, 1988, Résolution de problèmes en dyades et progrès cognitifs chez des enfants de 11 à 13 ans : dynamiques interactives et mécanismes socio-cognitifs, in :
- LAUTREY Jacques & MAZENS Karin, 2004, Is children's naïve knowledge consistent? A comparison of the concepts of sound and heat. *Learning and Instruction*, 14 (4), 399-423.
- LEMEIGNAN Gérard & WEIL-BARAIS Annick, 1993, *Construire des concepts en physique*, Paris, Hachette.
- LINDER C.J. & ERICKSON G.L., 1989, A study of tertiary physics student's conceptualizations of sound, *International journal of Science Education*, 11, 491-501.
- MAURINES Laurence, 1992, Spontaneous reasoning on the propagation of visible mechanical signals. *International journal of science education*, 14 (3), 279-293.
- PIAGET Jean & GARCIA Rolando, 1971, *Les explications causales*, Paris, PUF.
- SEJOURNE Arnaud, 2001, *Conception d'un hypermédia et analyses de l'influence de l'organisation des contenus sur l'activité des élèves*, Thèse de doctorat, Université Lumière-Lyon 2 (non publié).
- SIMONNET Etienne, 2002, *Essai et évaluation de la construction du modèle interaction par des élèves de section d'enseignement général et professionnel adapté*, Mémoire de DEA en sciences de l'éducation, université René Descartes-Paris 5 (non publié).
- SIROTA Régine, 1993, Le métier d'élève. *Revue Française de Pédagogie*, 104, 85-108.
- VIENNOT Laurence, 1996, *Raisonnement en physique*, Bruxelles, De Boeck.
- VINCE Jacques, 1999, Enseignement et apprentissage « du son » : approche phénoménologique et linguistique des savoirs en jeu. *Actes des premières rencontres de l'ARDiST*, 150-155. <http://www.aix-mrs.iufm.fr/ardist/contenu/201.pdf>
- VYGOTSKI Lev, 1934, *Pensée et langage*, Paris, La dispute (version française, 1998).
- WEIL- BARAIS Annick (dir.), 2004, *Les apprentissages scolaires*, Rosny-sous-Bois, Bréal.

Annexe

Nom de la situation		Description sommaire
L'avalanche	I	Pourquoi un cri peut parfois déclencher une avalanche ?
Le ballon de baudruche	R	Pourquoi, en parlant devant un ballon de baudruche, sent-on les vibrations ?
La cloche à vide	R	Réveil en train de sonner sous une cloche à vide.
Les CD, les cassettes vidéo	R	Propagation d'une perturbation : des CD/cassettes tombent successivement.
L'écho	I	Expliquer le phénomène de l'écho.
La pièce d'à-côté	R	Pourquoi entend-on une personne qui parle dans la pièce d'à-côté ?
Le ressort	R	Propagation d'une perturbation : ressort à spires jointives.
Le réveil dans la boîte	R	Pourquoi entend-on un réveil enfermé dans une boîte hermétique ?
La rumeur	R	Les élèves, assis en cercle, se propagent une rumeur.
Les grains de sucre	R	Des grains de sucre posés sur un film plastique. On tape sur un tambourin.
Le tambourin	R	On tape sur la peau d'un tambourin. Que se passe-t-il ?
Le téléphone-yaourt	R	Deux pots de yaourt reliés par un fil de pêche.

Tableau 1 : les situations, invoquées (I) ou réalisées (R), servant de support aux questionnements.

Points de vue d'élèves de seconde sur les modèles et la modélisation en sciences physiques

TOIX Laurent, professeur au lycée Arago à Perpignan, UMR ICAR (CNRS, ENS LSH Lyon, ENS Lyon, INRP, université Lyon 2), France

VINCE Jacques, professeur au lycée Ampère à Lyon, UMR ICAR (CNRS, ENS LSH Lyon, ENS Lyon, INRP, université Lyon 2), France

TIBERGHIEEN Andrée, Directrice de recherche CNRS, UMR ICAR (CNRS, ENS LSH Lyon, ENS Lyon, INRP, université Lyon 2), France

Introduction

« La logique pédagogique que sous-tendent ces nouvelles approches [de l'enseignement de la physique] est que le développement des sciences se fait par un va-et-vient entre l'observation et l'expérience d'un côté, la conceptualisation et la modélisation de l'autre, et que l'exposé axiomatique de la science déjà faite ne correspond pas au mouvement de la science en train de se faire. L'exercice de modélisation du réel est sans doute la démarche la plus importante et aussi la plus difficile dans la démarche scientifique. [...] Le professeur doit s'efforcer sur des exemples simples de montrer comment se fait la modélisation, ceci dans toutes les sciences. »

Ce texte extrait du programme officiel de la classe de seconde est présenté, par ses auteurs, comme un des principes directeurs de l'enseignement de la physique en France. Or, force est de constater que l'enseignement de physique dispensé au lycée ne prend ordinairement pas en compte ce type de considération. De nombreuses raisons sont généralement invoquées pour expliquer cet état de fait. Ces arguments s'appuient sur l'évidente complexité des mécanismes intervenant dans les processus d'une démarche scientifique. Dès lors, donner une définition précise de ce qu'est une démarche scientifique relèverait de la gageure et la masse des travaux épistémologiques à mobiliser pour arriver à cet objectif rendrait inaccessible cette définition à l'élève moyen. Partant de ce constat, incriminant à la fois l'objet à enseigner - trop complexe -, l'élève - trop ignorant -, et le temps à consacrer - au détriment de l'enseignement de contenus disciplinaires-, on est en droit de se demander si la démarche de modélisation peut être enseignée au niveau du lycée.

Notre recherche se place dans cette problématique générale relative à l'enseignement du fonctionnement de la science, et de la modélisation en particulier. De nombreux travaux de didactique de la physique se sont intéressés à cette thématique depuis une trentaine d'année. A partir de ces recherches, nous nous sommes attachés à mieux connaître les points de vue des élèves de seconde sur les modèles en général et sur la démarche de modélisation. Suivant cet objectif, trois outils d'investigation ont été mis au point (questionnaire, activités de classe et questions ouvertes) afin de conduire trois expérimentations distinctes.

Cadre théorique

La problématique relative aux modèles et à la modélisation impose de définir préalablement ces notions par le biais d'une approche épistémologique et didactique. Les points essentiels de ce cheminement sont rassemblés dans cette partie en distinguant les points de vue des experts de ceux des élèves.

Les modèles : notre approche épistémologique et didactique

Notre approche épistémologique est basée sur les travaux de Suzanne Bachelard (1979) et de Mario Bunge (1975, 1983). Ces travaux offrent une vision synthétique des multiples facettes constitutives de la notion de modèle.

De même, les nombreux travaux traitant de la construction, de l'utilisation ou de l'acquisition de modèles en situation de classe ont constitué le fondement de notre approche didactique des notions de modèle et de modélisation. Les travaux visant à mettre en place une démarche de modélisation relativement à des connaissances scientifiques couramment enseignés dans les classes de science (Martinand, 1992 ; Chomat, Meheut et Larcher 1988 ; Chomat, Meheut et Larcher, 1992 ; Lemeignan et Weil-Barais, 1992 ; Orange, 1997) ont montré que les élèves étaient capables de mettre en œuvre une telle démarche et de manipuler des modèles élémentaires. Cette approche est aussi mise en œuvre par Tiberghien (1996) en supposant que la démarche de modélisation entreprise par l'élève permet d'analyser les processus cognitifs des élèves. En d'autres termes les élèves sont supposés capables de faire fonctionner un modèle (qu'il soit correct ou incorrect au regard de la physique enseignée) ou de mettre en œuvre une démarche de modélisation d'une situation physique étudiée (Bécu-Robinault, 1997 ; Quintana-Robles, 1997 ; Guillaud, 1998 ; Vince, 2000).

Les modèles : les points de vue des élèves

Au cours des vingt dernières années, de nombreux travaux ont été réalisés afin de déterminer les points de vue épistémologiques d'élèves de différents niveaux. Deux pistes principales ont été suivies pour déterminer comment les élèves se représentent les sciences d'une part, la nature et le rôle des modèles et de la modélisation d'autre part.

Les travaux visant à déterminer les traits caractéristiques des points de vue épistémologiques des élèves, même avec des cadres théoriques distincts, conduisent à des conclusions très proches les unes des autres (Larochelle & Desautels 1989, Carey et al. 1989, Aikenhead et al. 1992, Ryan et al. 1992). Ils permettent en particulier de mettre en évidence un point de vue naïf des élèves sur la nature et le fonctionnement de la science, très différent de l'approche épistémologique plus sophistiquée adoptée par l'expert.

Les travaux centrés sur les points de vue épistémologiques des élèves sur les modèles et la modélisation ont été abordés par différentes équipes. Grosslight, Unger, Jay et Smith (1991) ont mené leur étude par le biais d'un entretien semi-dirigé. Ces travaux ont été réalisés avec des élèves américains de grade 7 et 11 (5^{ème} et 1^{ère}). Les auteurs identifient deux niveaux de compréhension des modèles. Le premier niveau correspond aux élèves qui pensent que les modèles sont des objets matériels construits pour copier la réalité. Les élèves atteignant le second niveau ont une vision plus élaborée mais incomplète vis-à-vis d'un troisième niveau correspondant à celui accepté par un groupe d'experts ayant été soumis à des entretiens similaires. Des résultats concordants ont été obtenus par Vasquez et Manassero (1999) avec environ 700 élèves espagnols aux niveaux du collège et du lycée.

Questions de recherche

Notre travail de recherche s'appuie sur les travaux développés par le groupe de recherche et développement SESAMES¹, réunissant chercheurs en didactique et enseignants de lycée. Ces travaux visent à produire des documents qui, au travers de choix didactiques préalables, font jouer un rôle central aux modèles et aux démarches de modélisation (Gaidioz, 2004) dans la construction des savoirs de physique et chimie. L'activité de modélisation et la prise de conscience de cette activité par les élèves eux-mêmes sont des objectifs fondamentaux de cet enseignement. Notre travail s'inscrit dans cette dynamique et cherche à apporter une contribution liminaire aux travaux sur les modèles.

Le cadre global de notre étude vise à déterminer dans quelle mesure les notions de modèles et de modélisation peuvent être comprises par les élèves et en quoi elles permettraient une meilleure compréhension de la physique. Pour cela, il nous semble fondamental de déterminer si les élèves sont en mesure de s'exprimer sur les modèles ou si cela reste trop complexes pour être abordés au niveau secondaire. Dans le cas où les élèves disposeraient de connaissances, même inexactes, sur les modèles et la démarche de modélisation, nous pourrions envisager des perspectives pour introduire ces notions dans la classe de physique. A partir de ce constat, nous avons choisi de mettre en place différentes expérimentations afin de répondre à la question suivante : Les élèves de seconde ont-ils un point de vue construit et cohérent sur la nature et les propriétés des modèles en physique ? Si oui, quels en sont les traits caractéristiques ?

Méthodologie

La revue bibliographique des différentes études menées sur les modèles et la modélisation montre que les travaux réalisés font appel à divers « outils » de recueil de données. Au vu de ces travaux et des résultats qu'ils permettent d'obtenir, nous avons souhaité développer trois outils différents afin de pouvoir croiser les réponses des élèves au travers de travaux de formes différentes. Ainsi, certains aspects des propriétés et des fonctions des modèles ont été abordés de façons différentes dans plusieurs activités. Une analyse transversale de ces activités peut alors être menée afin de dégager les informations relatives à chaque thème traité. Le tableau 1 présente de façon synoptique la répartition des thèmes abordés sur les différentes activités d'enseignement.

¹ SESAMES : Situations d'Enseignement Scientifique : Activité de Modélisation, d'Evaluation, de Simulation.

Thèmes abordés	Outils	Questions à choix multiples papier-crayon	Activités de classe					Questions ouvertes
			B	C	D	E	F	
Nature des modèles		•	•	•				•
Lien modèle - réalité matérielle		•	•	•		•	•	•
Distinction champs empirique et théorique		•	•	•				
Multiplicité des modèles		•			•	•	•	
Validité et statut des modèles		•		•	•	•		
Fonctions des modèles		•						•
Elaboration et évolution des modèles		•						

Tableau 1 : répartition des thèmes abordés sur les différentes activités d'enseignement.

Outil n°1 : un questionnaire papier-crayon

Cet outil consiste en une série de questions à choix multiples demandant aux élèves de se positionner par rapport à différentes affirmations. Ces questions sont complétées par deux dialogues contenant des mots que les élèves doivent identifier comme faisant référence d'une part à des objets ou des événements de la situation proposée ou d'autre part des éléments des modèles de la physique (par exemple : " Il lâche donc un **pot de fleurs** depuis la fenêtre du premier étage. Le pot tombe rapidement suivant un **mouvement vertical**, dont la **vitesse** n'est pas constante"). Il est demandé aux élèves de se positionner individuellement sur des sujets tels que le fonctionnement de la physique ou les propriétés et les fonctions des modèles. Ce questionnaire a été proposé à environ 150 élèves, composant cinq classes de seconde, une de ces classes (classe test) a suivi les séquences d'enseignement produites par le groupe SESAMES. Les quatre autres classes n'ont pas fait l'objet d'une sélection précise, nous avons uniquement tenu à ce qu'elles soient susceptibles de représenter la classe de seconde "ordinaire", telle qu'elle peut être rencontrée dans la plupart des lycées. La passation du questionnaire a été réalisée en classe mais présentée comme une tâche indépendante du cours de physique-chimie habituel. Il a été clairement précisé aux élèves que les questions posées ne comportaient pas nécessairement une bonne réponse parmi plusieurs fausses, mais qu'au contraire une même question pouvait faire l'objet de plusieurs réponses valables.

Outil n°2 : une série d'activités de classe

Une série d'activités a été mise au point au niveau de la classe de seconde. Les élèves ont été contraints de travailler en petits groupes, de réfléchir ensemble aux questions posées et de s'accorder sur les réponses à fournir par écrit, ces réponses ont été relevées par le chercheur à la fin de la séance d'activités. Certains groupes d'élèves ont été filmés pendant cette expérimentation, les échanges des élèves ont été transcrits et analysés. Ces activités n'avaient pas pour but d'évaluer les connaissances des élèves sur leur cours de physique-chimie, mais d'amener les élèves à se poser des questions autour de la notion de modèle. Ainsi, une sélection de définitions, de lois ou de propriétés extraites du cours de mécanique suivi par cette classe a été remise aux élèves en complément des énoncés des activités. Ces activités ont été proposées aux élèves de la classe test présentée plus haut. Ces élèves ont donc suivi la séquence de mécanique proposée par le groupe SESAMES.

Outil n°3 : une série de questions ouvertes

En s'inspirant de recherches basées sur des entretiens, une série de questions ouvertes, sur la nature et les fonctions des modèles, a été réalisée. Ces questions sont formulées hors d'une mise en contexte classique de résolution de problème. Ces questions ont été posées par écrit à une classe de seconde en fin d'année scolaire. Les élèves ont répondu individuellement et par écrit à ces questions.

Résultats et Discussion

Les résultats obtenus au travers de nos expérimentations ne peuvent être présentés dans leur ensemble. Les résultats relatifs aux statuts des modèles et aux points de vue contradictoires des élèves concernant les liens entre modèles et réalité feront l'objet de développements ultérieurs.

Distinction entre champs empirique et théorique

Les positions épistémologiques que nous avons adoptées dans notre cadre théorique, considèrent que la physique fonctionne sur la base de l'articulation entre deux pôles distincts. Le premier pôle, siège des objets et des événements, constitue le champ empirique. Le second, contenant les concepts construits par le physicien et l'ensemble des lois les organisant, correspond au champ théorique. Faire de la physique revient donc dans ce schéma à tisser un ensemble de relations entre ces deux pôles. Dans ce cadre, nous avons tenté de déterminer si les élèves sont en mesure de donner du sens aux éléments constituant les deux pôles précédents.

Les résultats obtenus avec le questionnaire à choix multiples (outil n°1), au travers de l'étude de textes décrivant une situation physique semblent indiquer que les élèves sont capables de procéder à une distinction entre les champs empirique et théorique. Toutefois, ce type de tâche ne permet pas de connaître le sens que les élèves donnent à ces champs et comment ils procèdent pour établir cette différenciation.

Les productions écrites et orales des élèves, obtenues *via* les activités de classe (outil n°2), apportent un éclairage complémentaire à ces résultats. En effet, l'analyse des échanges entre élèves d'un même groupe nous a permis d'identifier un critère permettant aux élèves de procéder à la distinction entre les deux champs. Il apparaît ainsi une procédure systématique qui consiste à déterminer si l'élément étudié est perceptible (i.e. l'objet est perçu *via* un sens : vue, toucher, etc.). Si c'est bien le cas, l'élément est déclaré relevant du champ empirique. Dans le cas contraire, il s'agit d'un concept abstrait, attaché au champ théorique. Il apparaît donc que les élèves disposent d'un critère basé sur la perception leur permettant de déterminer si un élément relève du champ empirique ou du champ théorique. Ainsi, pour ces élèves, l'air est un objet car "on le sent" (vent, courant d'air, ...) ou "on le voit" (mise en mouvement des rideaux, fumée, ...). A l'opposé, l'attraction terrestre est majoritairement considérée comme relevant du champ théorique (« on ne peut pas la tenir dans sa main », « on ne peut pas mettre de l'attraction terrestre dans un récipient », ...). Toutefois, si cette procédure apparaît comme efficace dans une grande majorité de cas, elle montre rapidement ses limites du point de vue de la classification faite habituellement en physique. En effet, sur des mots tels que « action » ou « force » où le côté perceptif apparaît de manière moins évidente, nos résultats montrent que les élèves ne sont plus en mesure de se positionner clairement.

Les points de vue des élèves rejoignent notre approche épistémologique

Les outils d'expérimentation (questionnaire à choix multiples, activités de classe et questions ouvertes), ont été conçus pour recouvrir certains aspects des propriétés des modèles (cf. Tableau 1). La confrontation des réponses des élèves au travers de ces différents outils nous a permis d'estimer la stabilité et la cohérence de leurs différents points de vue. Il apparaît ainsi que pour certains aspects des modèles, les points de vue des élèves se rapprochent de notre position épistémologique. Nous illustrons ceci par trois propriétés très souvent citées par les élèves et reformulées ici par nos soins.

Propriété des modèles		Résultats du questionnaire à choix multiples (outil n°1)	Eléments des réponses d'élèves aux activités de classe (outil n°2)
Il est possible d'étudier une situation donnée par le biais de plusieurs modèles		88% des 169 élèves interrogés	« Il est possible que des physiciens différents proposent des modèles différents pour répondre à une même question, ils peuvent voir les choses de façon différente » « Une même situation peut être vu avec des angles différentes et avec des modèles différentes »
L'accréditation d'un modèle relève de la communauté scientifique et pas d'un individu isolé		87% des 169 élèves interrogés	« Ils faut que plusieurs scientifiques soient d'accord pour dire qu'un modèle est vrai » « Un bon modèle est accepté quand il peut être utilisé par plusieurs physiciens »
Les modèles ont des fonctions diverses :	décrire	75% des 169 élèves interrogés	« un modèle sert à avoir une représentation des choses »
	expliquer	88% des 169 élèves interrogés	« un modèle c'est pour pouvoir mieux comprendre ce qui se passe, il permet d'expliquer »
	prévoir	52% des 169 élèves interrogés	« un modèle est construit pour avoir plus de facilité, pour simplifier quelque chose »

La nature des modèles : objets matériels ou concepts abstraits ?

Concernant certains aspects des propriétés des modèles une distance apparaît entre les points de vue majoritaires des élèves et nos choix épistémologiques. Ainsi, bien que les élèves interrogés semblent capables de déterminer si une "entité" (telle que *force*, *bille*, *Terre*, *vecteur*, ...) relève du champ empirique ou du champ théorique, ils apparaissent indécis lorsqu'il s'agit de déterminer si un modèle est un objet concret ou abstrait (44% des élèves voient les modèles comme relevant du champ théorique et 56% du champ empirique). Les résultats obtenus avec le questionnaire à choix multiples (outil n°1) confirme que les élèves sont partagés sur la nature des modèles de la physique (48% contre 52%).

Les questions ouvertes (outil n°3) peuvent nous permettre de porter un regard différent sur cette indétermination. En effet, une majorité d'élèves définissent les modèles de la physique par les éléments qui les composent. Les concepts théoriques tels que définitions, propriétés, principes, lois, etc. sont alors cités par les élèves. Il semble donc que les élèves pensent que les modèles de la physique sont essentiellement composés d'éléments théoriques, sans que cela fasse de l'ensemble ainsi formé un ensemble théorique. La mise en parallèle de ces deux résultats nous amène à nous demander pourquoi les élèves admettent que les modèles sont essentiellement composés de constituants théoriques (loi, principe, définition, ...) mais ne concluent pas que les modèles sont des concepts abstraits. Les expérimentations que nous avons menées ne nous permettent pas de répondre directement à cette question, mais

seulement d'envisager une explication : les élèves, tout en reconnaissant le caractère abstrait des constituants des modèles, appréhendent les liens que les modèles entretiennent avec les situations concrètes auxquelles ils se rapportent. L'existence de ces liens pourrait alors expliquer que les élèves n'acceptent pas de voir le modèle comme abstrait. Compte tenu de ce que nous venons de dire nous pourrions alors envisager que la position épistémologique adoptée par les élèves ne soit pas si éloignée de celle proposée par Bachelard (1979) : « *Le modèle, dans son acceptation la plus abstraite, fonctionne d'une manière ostensive et le modèle, dans son acceptation la plus concrète de modèle visualisable, laisse transparaître la dominante théorique. [...] le modèle est un fictif réalisé.* ».

Conclusion

Les résultats que nous avons présentés tendent à montrer que les élèves présentent des éléments pouvant constituer un point de vue sur les modèles de la physique. Ces approches peuvent varier d'un élève à un autre et ainsi correspondre diversement aux choix épistémologiques que nous avons adoptés dans notre cadre théorique. De manière générale, ces points de vue ne se bornent pas à des idées élémentaires et naïves, mais correspondent plutôt à des éléments de réflexion construits sur la nature, les propriétés et les fonctions des modèles.

Les résultats auxquels notre étude a abouti semblent donc montrer que les notions relatives aux modèles et à la modélisation peuvent être accessibles aux élèves de lycée. En effet, bien que l'échantillon d'élèves interrogés reste modeste, il semble que les élèves de seconde disposent de connaissances -certes approximatives et parfois contradictoires- sur ces sujets. Il pourrait donc être intéressant d'étendre les expérimentations que nous avons conduites à un plus grand nombre d'élèves. Dans le cas où nos résultats seraient confirmés, il apparaîtrait envisageable de s'appuyer sur ces points de vue préexistants pour construire des éléments d'enseignement visant à faire évoluer ces points de vue et à enrichir les connaissances épistémologiques des élèves de lycée sur les modèles et la démarche de modélisation en physique.

Références

- BACHELARD Suzanne, 1979, "Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles", in : DELATTRE P. et THELLIER M. (coord.), *Elaboration et justification des modèles*, Maloine éditeur.
- BECU-ROBINAULT Karine, 1997, *Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques*, Thèse de doctorat, Université Lyon I.
- BUNGE Mario, 1975, *Philosophie de la physique*, Coll. Science Ouverte, Editions du Seuil.
- BUNGE Mario, 1983, *Epistémologie*, Coll. Recherches interdisciplinaires, Maloine éditeur.
- CHOMAT Alain, LARCHER Claudine et MEHEUT Martine, 1992, "Modèle particulier et démarches de modélisation", in MARTINAND Jean-Louis, 1992, *Enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*, p.119-169. INRP.

GAIDIOZ Pierre, VINCE Jacques et TIBERGHIEEN Andrée, 2004, "Privilégier la modélisation: des outils d'enseignement pour aider l'élève". *Bulletin de l'Union des Physiciens*, à paraître.

GROSSLIGHT Lorraine, UNGER Christopher, JAY Eileen et SMITH Carol, 1991, "Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts". *Journal of Research in Science Teaching*. vol.28(9), p.799-822.

GUILLAUD Jean-Claude, 1998, *Enseignement et apprentissage du concept de force en classe de troisième*. Thèse de doctorat, Université Grenoble I.

JUSTI Rosaria et GILBERT John, 2002, "Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modelers", *International Journal of Science Education*, Vol.24(4), p.369-387.

JUSTI Rosaria et GILBERT John, 2003, "Teachers' views on the nature of models", *International Journal of Science Education*, Vol.25(11), p.1369-1386.

LEMEIGNAN Gérard et WEIL-BARAIS Annick, 1992, "L'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de l'énergie", in MARTINAND Jean-Louis, 1992, *Enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*, p.171-231, INRP.

MARTINAND Jean-Louis, 1992, Présentation, in MARTINAND Jean-Louis., *Enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*, p.7-22, INRP.

MARTINAND Jean-Louis, 1994, *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*, INRP.

ORANGE Christian, 1997, *Problèmes et modélisation en biologie*, Coll. l'éducateur, PUF.

TIBERGHIEEN Andrée, 1994, Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and instruction*, Vol.4(1), p.71-87.

VINCE Jacques, 2000, *Approches phénoménologique et linguistique des connaissances des élèves de seconde sur le son*, Thèse de doctorat, Université Lyon II.

Débat scientifique en classe, apprentissages scientifiques et problématisation à propos de la notion de fécondation humaine chez les élèves de 9^{ème} année de base

TRABELSI NAJAH Nada, Doctorante, Institut Supérieur de l'Education et de Formation Continue, Université de Tunis

Dans cet article nous nous intéressons aux élèves Tunisiens de 9^{ème} année de base¹ confrontés à la production d'explications dans le domaine de la physiologie et plus particulièrement concernant le concept de fécondation humaine.² Notre approche fait fonctionner le concept de débat scientifique dans la classe et la construction de problème, ne se limitant pas à la seule étude des conceptions des élèves. Cette approche proposerait des perspectives complémentaires au cadre actuel de la didactique des sciences (C. Orange, 2000). Notre recherche se place dans la voie des recherches de l'équipe du C. R. E. N (Centre de Recherche en Education de Nantes) à savoir acquérir un savoir problématisé à travers le débat scientifique.

Le statut du débat scientifique en classe

“ L'argumentation est au cœur de la construction des savoirs ” (Simonneaux L., 2001) ; de ce fait elle devrait avoir un rôle central en éducation scientifique. Jaubert M. et Rebière M. ont remarqué le privilège accordé en toute discipline, actuellement, aux pratiques langagières dans la construction des savoirs. Apprendre, en fait, c'est : “ s'instituer acteur dans chaque contexte disciplinaire, ce qui suppose de s'appropriier les pratiques socio-langagières qui fondent sa cohérence ” (2000, p.175) Aussi bien pour les élèves que pour les scientifiques, les points de vues sont influencés par le social. Ainsi, pour les élèves les arguments dépendent de la culture du groupe social d'appartenance, des situations ou des élèves eux-mêmes ; pour les scientifiques, l'environnement scientifique du moment, leurs engagements ou leur propres valeurs, influencent leur point de vue (Simonneaux L., 2001). Ceci nous renseigne sur le caractère contextuel et conjoncturel de l'argumentation et du contexte de leur production. L'intérêt accordé aux situations de conflit socio cognitif (Perret Clermont, 1979, Doise et Mugny, 1981) par les chercheurs en didactique n'est pas récent. Cet emprunt en didactique de la psychologie sociale prend deux dimensions concernant le travail des obstacles : une dimension conflictuelle et une dimension épistémologique (Peterfalvi, 2002, p. 86). Pour la première dimension, la référence est en relation plutôt avec l'idée Bachelardienne de rupture, la deuxième pourrait rappeler la position Poppérienne concernant l'argumentation et “ la fonction supérieure de langage ” (Popper, 1991). Ces situations de conflits sont considérées comme des moments importants dans la construction des savoirs. Nous nous distinguons de certaines de ces recherches, par un point de vue plus épistémologique qui considère “ le débat scientifique dans la classe ”. Cette notion proposée par S. Johsua et Dupin (1989) et reprise dans le domaine des sciences de la nature et de la terre (Orange C. et D., 1993), donne de l'importance à la dimension épistémologique de

¹ Ce qui correspond à la fin de l'enseignement de base en Tunisie, les élèves ont entre 15 et 16 ans.

² Il s'agit d'un travail de DEA de didactique de la biologie dont nous présentons une partie.

l'interaction sociale dans l'activité scientifique. Ainsi le débat prend plutôt le statut de condition pour faire des sciences (Orange C., 2000, p.56). Comme nous travaillons sur l'apprentissage scientifique, ce regard épistémologique concernant les pratiques qui se réfèrent aux notions de conflits cognitifs et sociocognitifs serait indispensable puisque complémentaire à un regard plutôt psychologique (Peterfalvi B., 2002,; Orange C., 2000)

Problématique

Notre étude porte sur la construction de problème par les élèves et plus particulièrement sur l'évaluation de la capacité des élèves d'un certain âge (ici 15-16 ans) à produire dans le domaine de la fécondation des raisons. Les raisons sont ce qui donnent à la connaissance une certaine part d'apodicité³ donc ce que nous voulons repérer dans les propositions orales des élèves ce n'est pas les arguments qui ont raison, mais explorer plutôt quelles raisons sont derrière les idées des élèves (Orange C., 2000, p.15) : savoir ce n'est pas " savoir que " mais " que ça ne peut pas être autrement ". Nous n'étudions pas uniquement les arguments des élèves mais quelles idées sont derrière les arguments. Les situations de débat scientifique dans la classe, où les élèves sont conduits à discuter les prémodèles d'autres élèves de la classe, ne sont pas les seuls moments de problématisation (Orange C., 2002) mais sont les moments privilégiés de productions d'arguments. Ces situations permettent aux élèves d'explorer le champ des possibles, de repérer d'autres idées explicatives que les leurs ce qui permet de relativiser leurs idées et de pouvoir les discuter. Dans cette perspective, l'objectif que nous souhaitons atteindre par le débat scientifique en classe, qui se distingue d'un travail sur les représentations, est de faire accéder les élèves à un savoir raisonné, peu importe alors l'écart que les conceptions initiales des élèves présentent avec le savoir scientifique actuelle : " il s'agit de passer d'une connaissance commune, d'une opinion non questionnée, à un savoir scientifique, raisonné " (Orange C., 2000, p13). Notre recherche est une recherche de signification (Astolfi J.-P, 1993), nous ne cherchons pas par conséquent à tester l'efficacité didactique d'un tel débat, mais ce que nous tenterons suite à notre étude de cas c'est d'approcher la cohérence interne du débat scientifique dans la classe et de comprendre ce qui s'y joue du point de vue de la construction de problème par les élèves.

Etude d'un cas de débat problématisant

Description du débat

Le dispositif problème qui a été proposé aux élèves par leur enseignant est d'expliquer quelle est la contribution du père et de la mère dans la formation d'un fœtus.⁴

³ L'apodicité du savoir scientifique est le caractère déterminant de la nature scientifique d'un savoir, en effet, un savoir peut être assertorique mais un savoir scientifique doit avoir une certaine part de nécessité ; ce qui fait la scientificité d'un savoir c'est son implication dans un réseau de raison (Orange C., 2000, p31), un savoir scientifique est donc un savoir apodictique (Bachelard, 1949, p.120) qui possède une certaine part de nécessité : " il y a culture dans la proportion où s'élimine la contingence des savoirs " (Bachelard, 1949, p.14). Savoir en science n'est pas simplement savoir que, mais savoir que cela ne peut pas être autrement. " (Reboul O., 1992, p.77 ; Orange C., 2000, p.31).

⁴ Retranscription complète du débat est disponible sur demande par courrier.

La durée du débat est de 2h. Après retranscription nous avons obtenu un corpus contenant une liste de 579 propositions organisées par ordre chronologique de prise de parole.

Les deux **conditions** pour qu'il y ait naissance du fœtus, évoquées par les élèves lors du débat sont :

- L'accouplement de deux partenaires.
- le don de gamètes, appelé " disponibilité sexuelle " par les élèves.

la première est retenue comme une **contrainte empirique** s'agissant d'une connaissance commune pour les élèves (cet élément du registre empirique fait accord dans toute la classe); la deuxième par contre sera retenue comme **contrainte théorique** s'agissant en fait d'une condition ni discutée ni mise en cause par les élèves .

But de l'analyse

Notre but est de décrire ce qui se passe dans le débat du point de vue de la construction de problème. Nous avons tenté de cerner à partir des arguments développés par les élèves au cours du débat les problèmes pouvant être construits et l'articulation des contraintes qui apparaissent. Pour cela nous avons alors :

-Dans un premier temps, analysé d'un point de vue épistémologique les arguments des élèves et ce, en essayant de repérer les registres mobilisés.

-Dans un second temps, essayé de construire l'espace de contraintes en jeu et ce, pour tenter de repérer les principes d'explications des élèves. (Orange C., 2000)

Méthode d'étude

Pour organiser l'espace de contraintes en jeu dans ce débat, le principe que nous adoptons est d'une part, la distinction dans les propos des élèves entre ce qui relève du registre empirique et ce qui relève du registre des modèles ; et d'autre part, le repérage de contraintes qui portent sur l'un ou l'autre des registres.

Ceci nous conduit à opérer deux réductions du corpus étudié :

- *La première réduction* : suite à laquelle nous retenons les propositions des élèves qui mettent en jeu, soit le **registre empirique (RE)** soit le **registre des modèles (RM)**, ou alors la **relation entre les deux registres (RE-RM)**, ceci permettra une catégorisation des propositions selon les registres.

- *Deuxième réduction* : nous retenons les propositions qui mettent en avant les **contraintes empiriques (CE)** ou les **contraintes sur les modèles (CM)**, ceci nous permettra de repérer les contraintes en jeu dans le débat et de les organiser par la suite en un espace de contraintes.

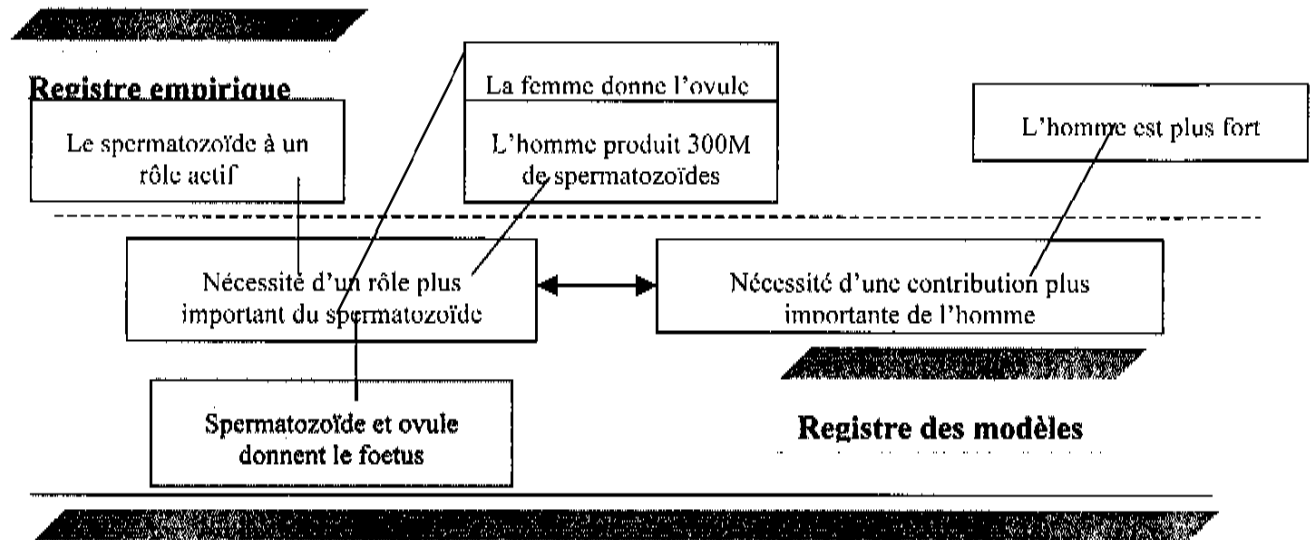
Schématisation de l'espace de contrainte en jeu dans ce débat

Nous avons repéré deux espaces de contraintes en jeu dans le débat suivant les élèves : Nous les avons noté **EC1** et **EC2**.

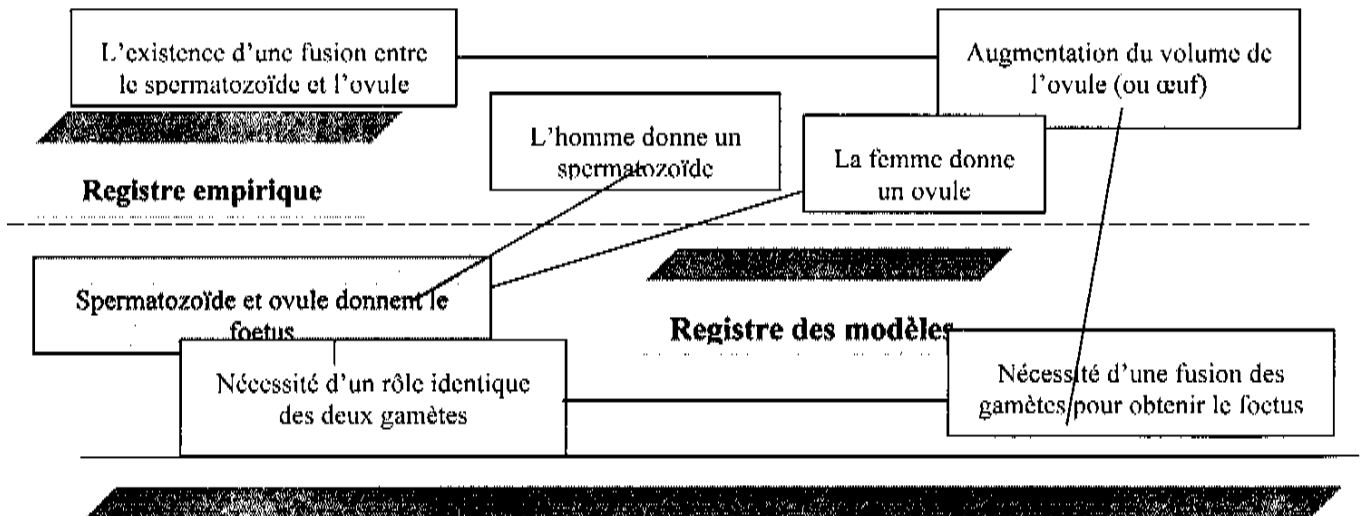
L'analyse des propositions des élèves E3 et E9 nous permet de déterminer les contraintes en jeu dans cette portion du débat et les relations qui pourraient exister entre elles. Suite à cette analyse nous avons plusieurs contraintes qui s'expriment et des liens qui apparaissent entre elles ce qui nous permet la construction de l'espace de contrainte (voir document 1) correspondant aux élèves qui s'expriment.

Le même principe d'analyse concernant les élèves E1, E2, E4, E5 et E10 nous conduit à la construction de l'espace de contrainte suivant (voir document 2) concernant la question de la contribution du père et de la mère pour le groupe d'élèves cité supra .

Document1. EC1 : Espace de contraintes en jeu du débat sur la contribution des gamètes : Cas de l'élève E3, E9



Document2. EC2 : Espace des contraintes en jeu du débat sur la contribution des gamètes : Cas du groupe d'élèves E1, E2, E4, E5, E10



Les contraintes exprimées par les élèves concernant la question de la contribution du père et de la mère nous a permis de caractériser deux espaces de contraintes en jeu qui expriment deux nécessités différentes : celle d'une contribution égale pour le groupe d'élèves 2 (EC2) et celle de la nécessité d'une contribution plus importante du père pour le groupe d'élève 1 (EC1)

La comparaison des deux espaces de contraintes permet de pointer des éléments similaires. Les éléments de registre empirique repérés sont les mêmes, en ce qui concerne le nombre de gamètes en jeu dans la fécondation mais ces CE n'expriment pas les mêmes nécessité sur les

modèles. Nous avons attribué ces choix à un registre explicatif qui serait quantitatif pour le premier groupe et qualitatif pour le deuxième.⁵ Pour le deuxième groupe la nécessité d'une contribution égale n'est pas argumentée sur une base fonctionnelle des deux gamètes (leur rôle respectif). Ainsi, nous pensons qu'elle est du même ordre pour les deux groupes c'est à dire idéologique qui renvoie aux rôles respectifs de la femme et de l'homme dans la reproduction. Le problème didactique qui se pose est alors : comment faire évoluer les élèves qui sont sur la première problématisation c'est à dire sur une nécessité d'un rôle plus important du père dans la fécondation ?

Conclusion

Dans le cadre de la "construction de problème" (Fabre, 1999 ; Orange, 2000) dans lequel nous nous sommes situés, nous avons conclu que **l'accès à un savoir scientifique** se faisait par une construction des registres (registre empirique, registre des modèles et registre explicatif) et leur mise en tension, qui débouche sur des nécessités.

Ainsi, la **problématisation** permet la construction d'un savoir ayant une part d'apodicticité. Le **débat scientifique en classe**, comme situation permettant la production d'explications individuelles et collectives et de confrontation entre les idées des élèves, constituerait un moment privilégié non seulement de production, mais de repérage de ces raisons.

Les espaces de contraintes construits nous fournissent des indications sur des problématisations accessibles à des élèves de 15-16 ans de 9^{ème} année de base concernant la notion de fécondation. Cette étude prend en considération un cas qui, certes, est unique mais nous fournit des indications intéressantes. Mais les résultats de ces analyses **ne veulent aucunement prétendre à une généralisation du cas étudié**.

En aucun cas les espaces de contraintes construits représenteraient la problématisation effective et explicite des élèves. En effet, le travail d'analyse se fait du point de vue du chercheur et non du point de vue de l'élève. Notre travail a consisté en **une mise en ordre des éléments problématisants** que nous avons repérés dans le débat et qui sont le plus souvent inconscients pour les élèves. Il faut noter aussi que souvent les nécessités pointées, sont peu explicites et pourraient être considérées plutôt comme des possibilités, mais ce sont les analyses des affirmations des élèves et des raisonnements qui s'y jouent qui nous les font considérer en tant qu'exprimant des nécessités pour les élèves.

Ces espaces de contraintes permettent de retracer une problématisation accessible à des élèves de cet âge dans le domaine de la fécondation humaine. Ces éléments pourraient être une aide pour le formateur et pour l'enseignant.

En progressant dans nos analyses nous espérons mieux comprendre le fonctionnement du passage entre l'opinion (sens commun) et la "conception" questionnée mise à l'épreuve empirique et sociale (savoir scientifique).

⁵ Nous avons noté *mécanisme naïf* pour le groupe1, en effet ces élèves penseraient que la fécondation ne peut se faire que suite à son amorçage par le spermatozoïde. L'ovule aussi ne joue presque pas de rôle important, il donnerait la matière de l'embryon et contribuerait à sa nutrition.

Bibliographie

ASTOLFI Jean Pierre, 1993, "Trois paradigmes de recherches en didactique", *Revue Française de pédagogie*, 103, pp.5-18.

DOISE Williem et MUGNY Gabriel, 1981, *Le développement social de l'intelligence*, Paris, InterEditions.

FABRE Michel, 1999, *Situations problème et savoir scolaire*, Paris, P.U.F.

JAUBERT Martine et REBIÈRE Maryse, 2000, "Observer l'activité langagière des élèves en sciences", *Aster*, N° 31, Paris, I.N.R.P.

JOSHUA Samuel et DUPIN Jean Jacques, 1989, *Représentations et modélisations : le "débat scientifique en classe et l'apprentissage de la physique"*, Berne, Peter Lang.

ORANGE Christian, 2000, *Idées et raisons : construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la terre*, Mémoire de recherche pour L'H.D.R. Université de Nantes.

ORANGE Christian, 2002, "Apprentissages scientifiques et problématisation", *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, vol.35, N°1, 2002, p25-42.

ORANGE Christian et ORANGE Denise, 1993, "Problèmes de rupture, problèmes normaux et apprentissage en biologie géologie", *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, 4-5, pp.1-69.

PERRET-CLERMONT Anne-Nelly, 1979, *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*, Berne, Peter Lang (édition de 1996)/

PETERFALVI Brigitte, 2001, Thèse de doctorat : obstacles et situations didactiques en sciences : processus intellectuels et confrontations, l'exemple des transformations de la matière, Dir. Astolfi J.P.

POPPER Karl, 1991, *La connaissance objective*, Paris, Aubier (éd originale, 1972)

POSNER George J., STRIKE Kenneth A., HEWSON Peter W. and GERTZOG William A., 1982, "Accommodation of a scientific conception : Toward a theory of conceptual change.", *Science education*, 66, pp.211-227.

SIMONNEAUX Laurence, 2001, "Des situations débats pour développer l'argumentation des élèves sur les biotechnologies : compte rendu d'innovation", *Didaskalia*, 19, 127-158

Réforme 2000 des sciences de la Terre. Les questions d'environnement en classe de seconde : pour une éducation scientifique des citoyens ?

URGELLI Benoît, INRP, Lyon, laboratoire Communication, Culture et Société, ENS LSH, Lyon, France.

Introduction

La réforme 2000 des programmes de science au lycée se produit dans un contexte social de crise de l'enseignement scientifique (OURISSON, 2002) mais aussi de redéfinition des objets d'étude des sciences de la Terre (LARDEAUX et MAMECIER, 2004).

L'objectif principal de cette réforme est d'apporter « *les éléments de connaissance et plus largement de culture permettant de saisir les enjeux éthiques et sociaux auxquels est confronté le citoyen de notre temps* » (B.O., 1999). C'est en classe de seconde générale que ces enjeux citoyens sont particulièrement importants, car pour une partie des adolescents, cette classe constitue le dernier contact avec l'enseignement des sciences.

Dans ce contexte particulier, notre étude porte sur les modalités d'introduction d'un thème d'environnement, l'effet de serre, dans le nouveau programme de sciences de la vie et de la Terre (SVT) de la classe de seconde générale.

Dans les programmes des lycées, le concept d'effet de serre était déjà présent avant la réforme 2000, mais en classe de première scientifique (B.O., 1995). Il s'agissait alors d'aborder la question de l'intensification anthropique de l'effet de serre naturel (partie du programme de SVT intitulée *Flux d'énergie et cycle de la matière à l'échelle des écosystèmes et de la biosphère*). Dans ce même programme de première S, l'effet de serre était également présenté en lien étroit avec le programme de physique-chimie, dans le but de comprendre l'équilibre radiatif de la Terre (partie *Terre et énergie*).

Dans le texte de la dernière réforme des programmes de lycée, le concept d'effet de serre apparaît en classe de seconde générale. Les enseignants sont invités à traiter ce thème avec les deux éclairages qui étaient présents en classe de première S :

- œ *l'effet de serre anthropogénique*, défini en introduction du programme comme un des enjeux environnementaux importants du monde futur,
- œ *l'effet de serre naturel*, dans le corps principal du programme, comme mécanisme explicatif de l'influence de l'atmosphère sur la température de surface de la planète. Des relations interdisciplinaires sont définies avec le programme de physique-chimie (partie *Message de la lumière* et *L'air qui nous entoure*), afin d'aider les élèves à comprendre les mécanismes d'absorption des rayonnements par les gaz qui composent notre atmosphère.

Dans ce travail, nous identifions les motivations du concepteur de ce programme de sciences de la Terre et la mise en œuvre de l'enseignement de l'effet de serre par quelques enseignants de SVT.

Cadre théorique

Pour étudier les mécanismes de mise en place des contenus du nouveau programme de SVT, nous avons choisi le cadre théorique de l'*Ecologie des savoirs* développé en 1985 par CHEVALLARD. Dans ce modèle, diverses manipulations sociales des savoirs sont définies dans les institutions suivantes :

- œ la communauté savante, qui produit des savoirs savants,
- œ la société civile, qui utilise les savoirs et d'une certaine manière contribue à les banaliser,
- œ l'école, chargée d'enseigner les savoirs.

Pour l'auteur de ce cadre théorique, lorsqu'une réforme des programmes se produit, cela peut être le signe d'une perte de légitimité sociale des savoirs scolaires. Il y a alors mise en place d'une institution chargée de définir les nouveaux savoirs à enseigner, en prenant en compte les savoirs des autres institutions. Cette institution particulière (*la noosphère*) effectue alors une reformulation et un transfert de savoirs entre institutions. On parle de *transposition didactique*.

CHEVALLARD définit également les contraintes qui s'exercent sur le choix des nouveaux savoirs à enseigner et qui vont leur garantir une entrée efficace dans le système didactique. Ces savoirs doivent être proches des savoirs savants mais distants des savoirs communs, tout en prenant en compte les savoirs scolaires précédents. Par ailleurs, les nouveaux savoirs sélectionnés doivent pouvoir se décontextualiser de la sphère de production (notamment en le dépersonnalisant et en le déshistorisant), se séquentialiser (programmabilité des savoirs) et permettre une évaluation en phase d'apprentissage.

Toutes ces contraintes imposées aux choix des savoirs scolaires plus celles définies par l'institution à travers les objectifs de l'enseignement scientifique au lycée (B.O., 1999) nous permettent d'établir une grille d'analyse des mécanismes de la transposition didactique du concept d'effet de serre.

Notons que CHEVALLARD ayant analysé les mécanismes de la transposition didactique autour de la réforme 1971 des mathématiques modernes, nous justifions l'emploi de ce cadre théorique pour l'étude de la réforme 2000 des sciences de la Terre dans la mesure où les causes et conséquences de ces deux réformes semblent *a priori* identiques. Dans un contexte de crise sociale de l'enseignement, un cursus scolaire nouveau est à inventer, auquel il faut y associer un recyclage des enseignants.

La comparaison de ces deux réformes trouve cependant ses limites dans le fait que les sciences de la Terre se distinguent des mathématiques par une *approche interdisciplinaire liant observations, expérimentations et modélisations*. Par ailleurs, la *dimension socialement vive* de l'effet de serre constitue également une contrainte spécifique par rapport à l'enseignement des mathématiques modernes.

Questions de recherche

Nos questions de recherche sont les suivantes :

- œ quels sont les mécanismes qui ont conduit le groupe d'experts des programmes à introduire le concept d'effet de serre en classe de seconde générale ?

« quelles sont les difficultés rencontrées par les enseignants dans la mise en œuvre de l'enseignement correspondant ?

Les choix et opinions du concepteur du programme pourront être mises en parallèle avec les difficultés des enseignants de SVT.

La validité du cadre théorique de CHEVALLARD, défini autour de la réforme 1971 de mathématiques modernes, sera également discutée pour la réforme 2000 des sciences de la Terre et plus généralement pour l'enseignement de concepts socialement vifs.

Méthodologie

A partir de l'analyse des textes officiels qui accompagnent la réforme 2000 de l'enseignement scientifique au lycée (B.O., 1999), nous avons identifié les objectifs généraux de ce nouveau programme. Il s'agit pour les enseignants de présenter la démarche des scientifiques et le fonctionnement commun des disciplines, à travers une approche historique et interdisciplinaire des sciences. C'est une culture scientifique des citoyens qui est visée, autour de thèmes d'environnement ayant des implications sociétales. Nous mesurons ensuite, par entretien semi-directif, la conformité entre ces choix institutionnels et ceux du concepteur du programme de sciences de la Terre, enseignant-chercheur dans cette discipline. En s'appuyant sur les mécanismes théoriques qui conduisent aux choix de savoirs à enseigner (CHEVALLARD, 1985), cet entretien permet également de mesurer :

- « la prise en compte du contexte de crise sociale de l'enseignement scientifique,
- « la prise en compte du contexte de modernisation des sciences de la Terre,
- « la prise en compte des contraintes didactiques s'exerçant sur l'enseignement et l'apprentissage de nouveaux savoirs.

Autour de ces points de comparaison, une grille d'analyse (figure 2) a été appliquée d'une part à l'entretien semi-directif du concepteur du programme et mais aussi aux entretiens semi-directifs de quatre enseignantes de SVT. Ces personnes ont été sélectionnées en avril 2004 en fonction de leur disponibilité, chacune d'elles exerçant dans des établissements différents de la région lyonnaise. Ces *approches qualitatives* ont été élaborées en s'appuyant également au préalable sur des *études quantitatives*, notamment des enquêtes d'opinion public (BOY, 2002) et des enquêtes auprès d'élèves européens (ANDERSON et WALLIN, 2000 ; KOULAKIDIS et CHRISTIDIU, 1999) autour des représentations de l'effet de serre. L'accès à une cinquantaine de questions posées sur le site *Planet-Terre*, site d'accompagnement scientifique de la réforme 2000 des sciences de la Terre (URGELLI et KALFOUN, 2004), a permis de réaliser une typologie des difficultés rencontrées par les enseignants durant la phase d'expérimentation du nouveau programme (1999-2000) et pendant son application les trois années scolaires suivantes. Ces difficultés d'enseignants ont été mises en parallèle avec les difficultés des quatre enseignantes interrogées et les obstacles liés à l'épistémologie de l'effet de serre. L'étude de l'émergence de ce concept au XIX^{ème} et XX^{ème} siècle a été réalisée à partir des travaux d'histoire des sciences de GRINEVALD (1990). Les savoirs en jeu ont été identifiés à partir de l'analyse de quatre corpus d'enseignement universitaire réalisés durant l'année 2000, en contexte de formation initiale et continue d'enseignants. Enfin, l'analyse des contenus de trois manuels scolaires de SVT (éditions Belin, Bordas et Hatier), qui accompagnent la réforme 2000 en classe de seconde, apporte un éclairage complémentaire sur la transposition didactique du concept d'effet de serre.

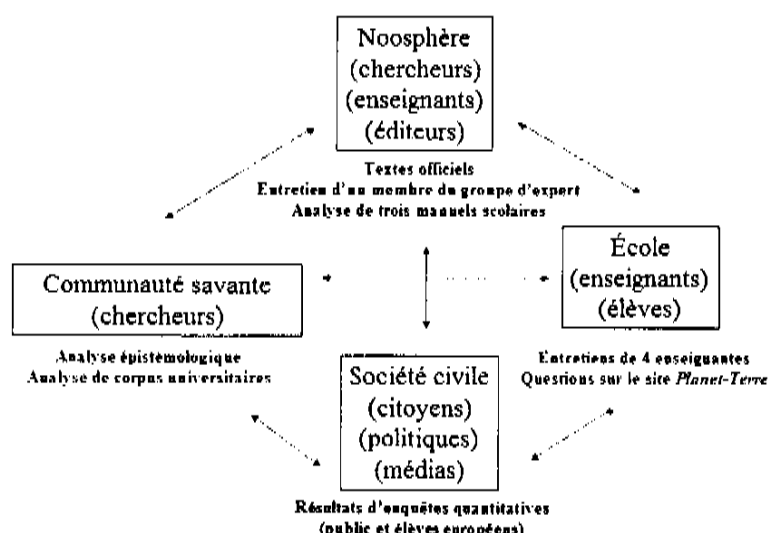


Figure 1 : Corpus de données pour une approche des mécanismes de transposition didactique.

Résultats

L'entretien semi-directif du concepteur du programme révèle que le choix des savoirs à enseigner est motivé par les implications sociétales des sciences de la Terre et la médiatisation forte des thèmes d'environnement. Cette réforme s'apparente donc à une *modernisation de l'enseignement des sciences de la Terre au lycée*. Le concepteur du programme confirme que la désaffection des filières scientifiques est également en toile de fond. L'organisation de l'enseignement et de l'apprentissage des savoirs (programmabilité et évaluation) est un processus qui est volontairement laissé à la charge de l'enseignant. Le concepteur du programme considère qu'il fait partie des compétences professionnelles des enseignants du secondaire. C'est un point en *rupture* avec les mécanismes de transposition didactique identifiés par CHEVALLARD en 1985.

	Analyse CHEVALLARD, 1985 Notion de distance en classe de quatrième Réforme 1971 – mathématiques	Prise en compte par le membre GTD Effet de serre en classe de seconde Réforme 2000 – sciences de la Terre
Choix ALLEGRE, 1999 - Culture scientifique - Questions socialement vives - Activités pratiques et modélisation - Interdisciplinarité - Incertitudes scientifiques - Histoire des découvertes	X	OUI
Contextes socio-institutionnel et scientifique	- Perte de légitimité sociale des savoirs - Crise des contenus	OUI
Choix concernant les savoirs à enseigner	- Rapprocher le savoir savant - Maintenir à distance du savoir banalisé - Prise en compte de l'ancien programme	OUI
Contraintes d'enseignement et d'apprentissage	- Décontextualisation - Séquentialisation - Évaluation	NON, RUPTURE !

GTD : groupe d'experts chargé de la réforme des programmes

Figure 2 : Grille d'analyse à l'entretien semi-directif du concepteur de programme.

Les quatre enseignantes interrogées affirment ne prendre que faiblement en compte la dimension sociale et médiatique du thème de l'effet de serre, même si elles soulignent l'existence chez les élèves d'interférence entre savoirs enseignés et savoirs banalisés par les médias télévisuels. Ces interférences sont parfois utilisées pour faire exprimer les représentations des élèves avant d'aborder le concept tel qu'il est inscrit dans le programme. Nos enseignantes confirment l'existence chez leurs élèves des mêmes représentations signalées par des études européennes (ANDERSON et WALLIN, 2000 ; KOULALIDIS et CHRISTIDIOU, 1999). La médiatisation de ce thème d'environnement conduit donc bien à l'homogénéisation des conceptions. Une vision catastrophiste des questions d'environnement et l'existence de confusions comme celle entre *effet de serre naturel* et *effet de serre anthropogénique*, ou encore *augmentation de l'effet de serre* et *amincissement de la couche d'ozone* sont identifiées par les enseignantes ayant participé à cette étude.

Elles précisent par ailleurs que la formation aux savoirs en jeu dans l'effet de serre s'appuie essentiellement sur des magazines scientifiques spécialisés et des ouvrages de premier cycle universitaire. Le dispositif d'accompagnement scientifique *Planet-Terre* n'a pratiquement pas été utilisé pour l'actualisation des connaissances, sauf pour une enseignante qui a participé à l'expérimentation du programme avant la publication des manuels scolaires.

Malgré les recommandations officielles sur les enjeux d'une culture scientifique à l'école, la présentation du fonctionnement de la recherche scientifique (relations modélisation-expérimentation-observation, interdisciplinarité nécessaire à une vision globale de la science et au traitement des thèmes d'environnement, histoire des sciences, ...) n'est que pas ou peu intégrée par les enseignantes interrogées, comme dans les manuels scolaires analysés. L'enquête de COISNE (2004) sur les contenus des manuels de science au lycée confirme ce constat.

D'autres difficultés des enseignants, mises en évidence par nos entretiens mais également par une partie des questions posées sur le site *Planet-Terre* peuvent être mises en parallèle avec des obstacles épistémologiques identifiés par ailleurs. La physique de l'effet de serre, les pratiques des experts scientifiques, les données expérimentales, la démarche de modélisation du cycle du carbone ou encore l'approche paléoclimatique ont été des sujets de questionnement des experts du réseau *Planet-Terre*.

L'analyse typologique des questions d'enseignants sur le site d'accompagnement de la réforme montre aussi qu'une autre partie des difficultés est en relation avec les pratiques des enseignants en SVT qui accordent, en classe de seconde, une part importante du temps d'enseignement à la réalisation de travaux pratiques. Comme sur *Planet-Terre*, les enseignantes interrogées signalent des difficultés majeures dans le paramétrage du dispositif expérimental et dans l'interprétation des résultats de mesures. Le dispositif employé est semblable à celui décrit par De SAUSSURE en 1784 sous le nom d'*héliomètre* (ancêtre du capteur d'énergie solaire et équivalent à une serre horticole). Une partie de notre étude sur les savoirs en jeu révèle que l'expérimentation des mécanismes de l'effet de serre à l'aide de ce dispositif, par ailleurs présent dans les trois manuels scolaires analysés, est difficile, voir impossible, en raison des paramétrages complexes de ce « modèle » analogique.

La présence de ce dispositif expérimental en classe de seconde, alors qu'il est absent des pratiques des experts qui travaillent sur l'effet de serre, traduit probablement un glissement de l'analogie entre « effet de serre » et « serre horticole », du domaine de la vulgarisation scientifique vers celui de l'expérimentation en classe de science.

Enfin, nos quatre entretiens révèlent que c'est essentiellement le travail de transposition didactique effectué par les auteurs de manuels scolaires qui guident les enseignantes dans la mise en œuvre du nouveau programme. L'analyse de la structure et de l'articulation des savoirs dans ces ouvrages montre en effet la prise en compte des contraintes didactiques

d'enseignement et d'apprentissage de l'effet de serre. Ils proposent une programmation et une problématisation des savoirs en jeu dans l'effet de serre, autour de la question de l'influence d'une atmosphère sur la température de surface des planètes mais également autour de la question du rôle de l'activité humaine dans l'évolution climatique passée et à venir (*question socialement vive*).

Conclusion

La réforme 2000 des sciences de la Terre en classe de seconde traduit la volonté affichée par les textes officiels et confirmée par l'entretien du concepteur du programme, de rapprocher savoirs savants et savoirs enseignés autour de thèmes d'environnement à dimension sociétale et fortement médiatisés (*questions socialement vives*). L'enseignement scientifique étant par ailleurs en crise à l'époque de la rédaction des programmes, on peut penser que c'est également une perte de légitimité sociale des savoirs enseignés qui conduit à cette réforme. Le concepteur du programme précise que le texte des savoirs à enseigner laisse volontairement à la charge des enseignants les contraintes d'enseignement et d'apprentissage des savoirs sélectionnés par le Groupe d'experts des programmes scolaires. L'analyse des entretiens semi-directifs des quatre enseignantes de SVT montre que le travail de transposition didactique (choix des savoirs enseignés, contextualisation, programmabilité, évaluation) s'appuie essentiellement sur celui des auteurs de manuels scolaires. Comme dans ces ouvrages, les enjeux sociétaux autour de l'*effet de serre anthropogénique* ne sont pas une préoccupation majeure dans ce nouveau programme de sciences de la Terre. Pour les enseignantes interrogées, l'enseignement se centre plus sur les savoirs savants en jeu et sur la mise en œuvre d'une activité expérimentale en classe de SVT, plus que sur la présentation des pratiques des scientifiques pour l'éducation citoyenne des élèves. Les questions d'enseignants parvenues à la rédaction du site d'accompagnement scientifique de cette réforme (site *Planet-Terre*) confirment d'ailleurs cette tendance. En ce qui concerne les activités expérimentales en classe, le « modèle » de la serre horticole est repris par les quatre enseignantes, en utilisant le protocole décrit dans les manuels scolaires de leurs élèves. Toutes soulignent l'existence de difficultés expérimentales. Notre étude épistémologique a montré que ce modèle analogique a toujours été absent des pratiques scientifiques qui questionnent l'effet de serre. On peut supposer que sa présence dans les activités pratiques de classe est le signe d'un glissement vers l'école d'un dispositif analogique explicatif décrit dans de nombreux essais de vulgarisation scientifique de l'effet de serre.

Discussion

Les raisons de ces constats sont diverses et pourront d'être analysées en terme de dispositif(s) de transfert de savoirs socialement vifs vers l'école et de culture scientifique et médiatique des personnels enseignants. Nous avons été amené à discuter le modèle de l'*Ecologie des savoirs* de CHEVALLARD (1985) en distinguant au sein de la noosphère, de l'école et de la société civile, les acteurs suivants : les membres du groupe d'experts, les auteurs de manuels scolaires, les enseignants, les élèves, les parents, les médiateurs scientifiques.

On peut soumettre à débat un modèle de circulation des savoirs entre science, médias et école. Ce modèle est *a priori* applicable dans le cadre d'une réforme visant à introduire dans l'enseignement secondaire des savoirs savants interdisciplinaires, à implications sociétales

fortes et de fait fortement médiatisés. La généralisation de l'éducation à l'environnement pour un développement durable, dès la rentrée 2004, est probablement le dernier exemple de réforme scolaire de ce type.

Pour décrire plus précisément ce système, il faudra à l'avenir identifier les représentations croisées des acteurs des sphères médiatiques, scientifiques et scolaires et « mesurer » l'intensité des flux de savoirs entre les différentes composantes de ce système. Il sera nécessaire de définir un paramètre de quantification de ces flux, probablement du même type que celui qui a permis de confirmer que la majorité des savoirs de nos élèves provient des médias de masse (CHAILLEY, 2004).

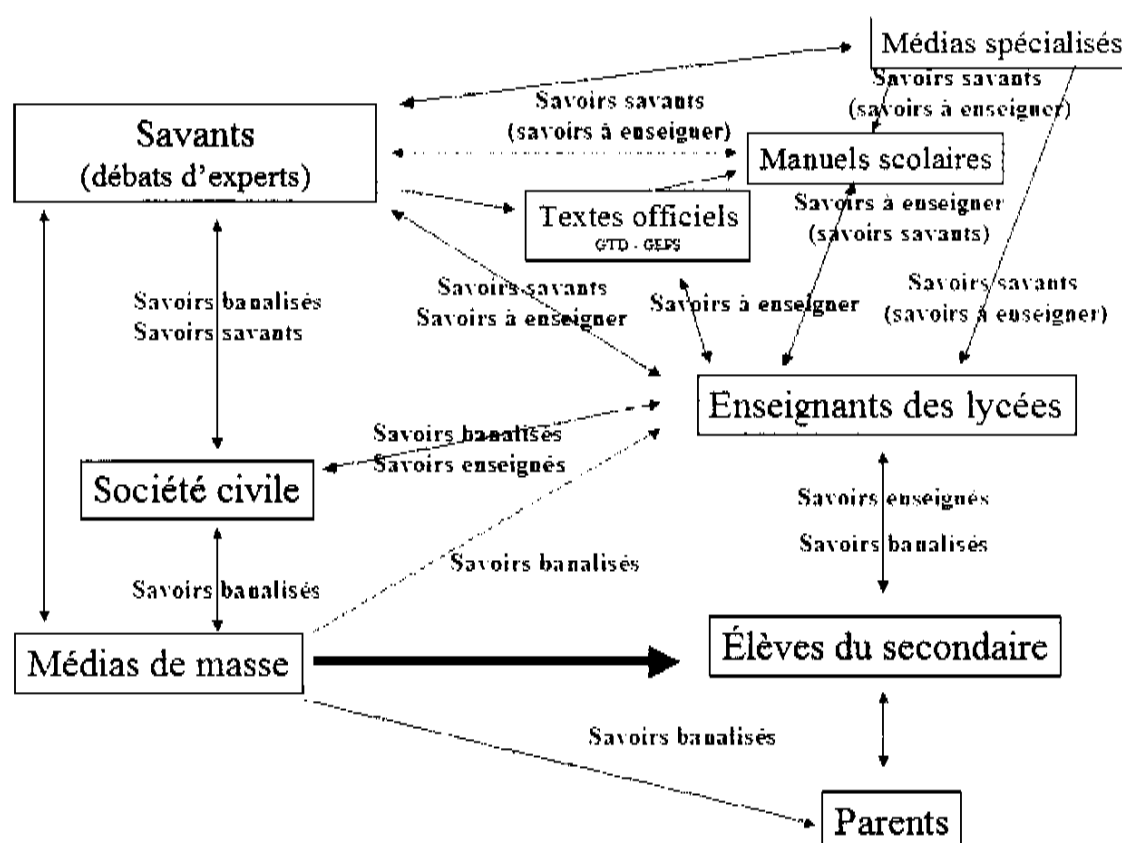


Figure 3 : Proposition d'un modèle de circulation sociale des savoirs relatifs à l'effet de serre durant la réforme 2000 des sciences de la Terre modernes.

Bibliographie

ANDERSON Bjorn et WALLIN Anita, 2000, *Students' Understandings of the Greenhouse Effect, the Societal Consequences of Reducing CO2 Emissions and the Problem of Ozone Layer Depletion*, Journal of Research in Science Teaching, 37 (10), pp. 1096-1111.

Bulletin Officiel de l'Education nationale, 1995, *Sciences de la vie et de la Terre : classes de seconde, première et terminale*.

Bulletin Officiel de l'Education nationale, 1999, *Programme de Sciences de la vie et de la Terre*, hors série n°6.

BEITONE Alain, 2004, *Enseigner des questions socialement vives, note sur quelques*

- confusions*, Contribution 7ème biennale de l'éducation et de la formation, Lyon, 15 avril 2004.
- BOY Daniel, 2002, *Les représentations sociales de l'effet de serre*, Enquête de l'ADEME.
- CHAILLEY Maguy, 2004, *Télévision et apprentissages*, Edition l'Harmattan.
- CHEVALLARD Yves et JOHSUA Marie-Alberte, 1985, *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*, La Pensée Sauvage éditions, Grenoble.
- COISNE Sylvie, 2004, *Que valent les manuels scolaires ?*, La Recherche, n°378, pp. 39-45.
- GRINEVALD Jacques, 1990, *L'effet de serre de la Biosphère*, Stratégies Energétiques, Biosphère et Société, vol. 1, pp. 9-34.
- KOULALDIS Vasilis et CHRISTIDIOU Vasilis, 1999, *Models of Students thinking concerning the Greenhouse effect and Teaching Implications*, Science Education, vol. 83, pp. 559-576.
- LARDEAUX Jean-Marc et MAMECIER Annic, 2004, *Nouveaux programmes en sciences de la Terre et formation des enseignants de l'enseignement secondaire*, Géochronique, magazine des géosciences, n°90, p. 20-22.
- OURISSON Guy, 2002, *Désaffection des étudiants pour les études scientifiques*, rapports du Ministère de l'Education nationale, <http://www.education.gouv.fr/rapport/ourisson>.
- URGELLI Benoît et KALFOUN Florence, 2004, *Planet-Terre : site de ressources pour l'enseignement des Sciences de la Terre et la formation continue des enseignants du secondaire*, Géochronique, magazine des géosciences, n°90, p. 40-42.

Conception d'un environnement informatique pour la formation des chirurgiens

VADCARD Lucile, Auxiliaire de Recherches, CNRS, Grenoble, France

Introduction

En France, l'apprentissage de la chirurgie orthopédique requiert sept années de spécialisation, en plus des six années de formation médicale initiale. Il se compose d'une partie théorique qui permet d'acquérir des connaissances sur les indications et les contre-indications associées à chaque pathologie, et d'une partie pratique, qui se déroule selon différentes modalités d'enseignement comme le compagnonnage, les travaux pratiques en laboratoire d'anatomie et quelquefois sur des simulateurs. Parmi tous ces dispositifs, le compagnonnage est une phase indispensable de l'apprentissage du métier, au cours de laquelle les connaissances opératoires qui permettent l'action en situation se construisent chez le novice. Ce mode d'apprentissage est basé sur l'observation de l'expert et l'acquisition progressive de son savoir-faire. Concrètement, durant l'opération l'apprenti chirurgien – l'interne – se place à proximité de l'expert, dans la zone stérile. Il peut ainsi observer de très près les actions entreprises par le chirurgien. Cela permet également au chirurgien, qui a la double responsabilité d'expert (il faut réussir l'opération) et d'enseignant (il faut former l'interne), de faire intervenir l'apprenant dans la réalisation du geste. Ces interventions sont d'une importance mesurée par l'expert, et qui s'accroît au fur et à mesure qu'avance la formation du novice. Si dans un premier temps l'expert peut lui demander de l'aider (tenir un outil, maintenir une position particulière du membre concerné), il l'incite ensuite de plus en plus à réaliser certaines parties du geste en autonomie, mais sous son contrôle étroit.

Ce type d'apprentissage soulève quelques problèmes. D'une part, il nécessite une grande disponibilité de la part des experts puisque c'est un apprentissage qui se déroule en face à face, entre un interne et un expert. De plus, l'apprentissage est conditionné par les cas qui se présentent à l'hôpital. Un interne pourra n'avoir jamais rencontré une certaine pathologie. Enfin, elle n'est pas sans risque pour le patient qui se trouve impliqué dans une situation d'apprentissage.

De plus, un travail antérieur que nous avons mené sur l'enseignement du métier de chirurgien nous a permis de montrer qu'un écart existe entre les contenus de la formation théorique qui sont de nature prédictives, et la formation pratique qui transmet des connaissances opératoires (Vadcard 2003).

Notre objectif est de développer un environnement informatique qui offre un terrain d'application des connaissances. Cet outil constitue une étape intermédiaire entre les enseignements formels et le compagnonnage, il permet une pragmatisation des concepts théoriques et prescriptifs de l'action avant leur mise en situation. Pour cela, nous utilisons un logiciel de planification de pose de vis, développé au cours d'un précédent projet par un laboratoire de recherche grenoblois¹ (Vadcard 2002, Tonetti et al. 2004). Nous le complétons par des modules dédiés à la connaissance visée par l'apprentissage, construits à partir d'un travail d'analyse des situations professionnelles mené par les psychologues et didacticiens de

¹ TIMC, Technique de l'Imagerie, de la Modélisation et de la Cognition

l'équipe. L'environnement obtenu est dédié à l'apprentissage de la trajectoire de la pose de vis dans le bassin, et à l'anatomie du bassin.

Dans cet article nous présentons notre approche théorique de la conception d'outils informatiques pour l'apprentissage. Puis nous présentons brièvement l'architecture de notre environnement. Enfin, nous développons la méthodologie adoptée pour l'analyse et la représentation des connaissances en jeu dans la situation prescrite, et dans les situations réelles.

Approche théorique

Le travail présenté s'inscrit dans le cadre de recherches sur le développement des EIAH, Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (Balacheff 1998, Tchounikine 2002). Nous présentons dans ce paragraphe les grandes lignes de notre approche théorique de cette discipline.

Nos travaux sont de nature didactique, considérant ainsi la construction des connaissances comme étant le résultat d'une interaction entre le sujet apprenant et son environnement, le milieu pour l'apprentissage (Brousseau 1998). En tant qu'élément de ce milieu, l'EIAH devra posséder certaines caractéristiques précisées par l'analyse de la connaissance qui est en jeu de l'apprentissage. Nos recherches touchent également au domaine de la formation professionnelle ; nous nous inscrivons ainsi dans l'approche de la didactique professionnelle (Pastré 2002), en plus de celle issue de la théorie des situations (Brousseau 1998) et des champs conceptuels (Vergnaud 1991).

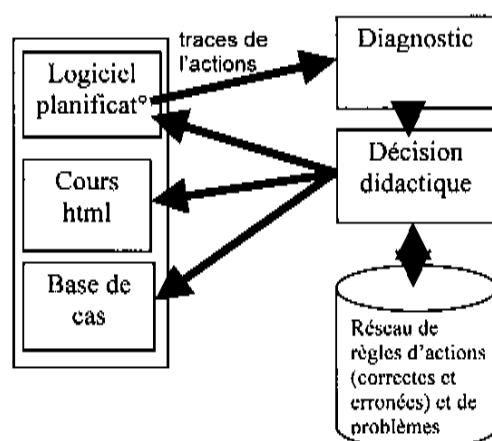
Dans le cadre de la construction d'EIAH orientés vers une approche socioconstructiviste de l'apprentissage, la problématique didactique peut être particulièrement intéressante. Dans les EIAH de type micromonde ou simulateur, la didactique peut intervenir dès la conception de l'environnement informatique, en fournissant des moyens de modélisation et de compréhension de la construction de la connaissance du point de vue du processus qui engage l'apprenant en interaction avec son environnement. Elle permettra également la construction des situations d'apprentissages appropriées selon le type d'environnement construit.

C'est cet apport de la didactique dans la conception de notre EIAH que nous voulons présenter dans ce texte.

L'EIAH, élément du milieu pour l'apprentissage

Le milieu pour l'apprentissage doit être organisé de façon à favoriser l'apprentissage : produire des rétroactions pertinentes en fonction des actions de l'apprenant sur le problème posé (Brousseau 1998). En ce sens, l'outil informatique d'aide à l'apprentissage devra également pouvoir réagir vers l'apprenant en fonction de ses actions à l'interface. Nous posons l'hypothèse que pour que les rétroactions de l'EIAH soient pertinentes au regard de l'apprentissage il faut que celui-ci réagisse en fonction d'une validation de la résolution proposée par l'apprenant en fonction d'un modèle des connaissances du domaine et non pas uniquement en fonction d'une solution experte déterminée a priori (Luengo 1999).

L'architecture que nous adoptons pour réaliser cet objectif est la suivante :



L'utilisateur résout un problème posé dans le logiciel. Un problème se caractérise par le type de tâche (déterminer une trajectoire ou valider une trajectoire donnée), le type de fracture, la qualité de l'os. Les traces des actions qu'effectue l'utilisateur sont récupérées, et analysées en terme d'appartenance possible à une ou des conceptions (une conception est un ensemble organisé de règles d'action et de contrôle et de problèmes, Balacheff 1995). Ce diagnostic permet la prise de décision didactique qui va déterminer la réaction que le système va donner à l'utilisateur (le feedback) : poser un autre problème dans le logiciel, renvoyer à une partie précise du cours en ligne, proposer la consultation d'un cas clinique.

Dans cet ensemble, nous avons déjà réalisé la récupération des traces de l'utilisateur au niveau de l'interface du logiciel de planification. Le cours en ligne est également réalisé, et nous développons en ce moment une indexation des concepts qui permettra un renvoi direct aux parties pertinentes du cours. La base de règles et de problèmes est en cours d'élaboration. Elle est construite de manière à pouvoir s'enrichir au fur et à mesure des expérimentations et usages qui seront observés. Le diagnostic et la prise de décision didactique d'un point de vue informatique sont en cours de développement².

Dans ce texte je développerais particulièrement la méthodologie de réalisation de la base de données de règles d'action et de contrôle et de problèmes. Problèmes et règles sont organisés en réseau, pour permettre la prise de décision didactique et ainsi, l'aide à l'apprentissage : quelle rétroaction fournir à un certain utilisateur, en connaissant le diagnostic qui a été établi à la suite de ses actions à l'interface pour la résolution d'un premier problème.

Méthode

La construction d'un ensemble organisé de règles et de problèmes passe par une analyse des processus d'enseignement et d'apprentissage, par une analyse des connaissances, et par leur représentation. La méthodologie adoptée est structurée autour des points suivants.

Nous analysons et décrivons à partir de notre corpus d'observations la situation prescrite et la situation réelle. Ces deux facettes de l'activité sont analysées parallèlement, et s'enrichissent mutuellement (Pastré 2002).

- La situation prescrite est analysée et décrite à partir d'un cours écrit par le chirurgien partenaire du projet³ et d'articles décrivant cette même technique ;

² Thèse en cours de Dima Mufti-Alchawafa, laboratoire CLIPS équipes ARCADE et MeTAII

³ <http://www-sante.ujf-grenoble.fr/SANTE/vocu/visfran/vissage.htm>

- la situation réelle professionnelle est analysée et décrite à partir d'observations de l'action du point de vue des interactions entre l'apprenant et l'expert : films et entretiens de verbalisation.

Nous nous attachons dans nos analyses à faire apparaître les critères de validation qui sont sous-jacents aux actions et aux prises de décisions. C'est à ce niveau que se joue la conceptualisation de l'action. En particulier, nous identifions des critères de validation de l'action en situation qui n'apparaissent pas dans la situation prescrite. Ce sont des connaissances forgées par l'expert au cours de sa confrontation à la diversité des possibles de la situation de vissage sacro-iliaque. Elles permettent à l'expert de faire face à la diversité des situations tout en conservant l'invariance globale de la résolution de l'activité (Vergnaud 1996). Ce type de connaissances nous intéresse tout particulièrement puisque nous les intégrons dans le modèle de connaissances de notre environnement afin qu'il permette une réelle valeur ajoutée par rapport au déroulement actuel de la formation (théorie puis pratique sur le terrain) et comblant au moins partiellement, l'écart qui existe entre ces deux modalités de formation. En effet la formation théorique médicale fournit à l'apprenant une masse importante de connaissances qui ont une valeur prédictive, non pas opératoire. Puis, lors du compagnonnage, les situations d'apprentissages ne sont pas construites à des fins didactiques mais existent de fait, en amont de l'intention d'enseigner. L'expert est ainsi placé au cours de chaque opération dans la double position d'expert et d'enseignant vis-à-vis de l'interne. Les connaissances qu'il transmet ne sont pas organisées pour l'apprentissage, mais dépendent du déroulement effectif de la situation. Il en résulte une difficulté pour l'apprenant qui doit intégrer des connaissances nouvelles et les structurer, tout ceci dans une situation stressante par nature. (Bisseret 1995, Perrenoud 2001).

Exemple d'analyse de dialogue

Nous prendrons appui sur un court extrait de dialogue pour illustrer notre propos. Il s'agit d'une opération de vissage percutané de la hanche sous contrôle radioscopique. On introduit dans l'os du patient, sans incision, une broche qui servira de guide pour la vis qui sera placée ensuite. La problématique est ici le bon positionnement de cette broche guide, le danger principal étant d'obtenir une trajectoire extra-osseuse qui peut léser des racines nerveuses. Le déroulement des actions et des contrôles à effectuer pour obtenir une trajectoire correcte est détaillé dans la situation prescrite. Mais nous voyons apparaître dans le discours qui suit des éléments nouveaux, des connaissances en acte qui permettent au chirurgien de contrôler la position de la broche guide qu'a placée l'interne. L'expert interprète sur un contrôle radiologique la position de la broche qui a été enfoncée jusqu'à mi-parcours. Nous avons indiqué en gras les éléments du discours qui n'apparaissent pas dans la situation prescrite. L'expert s'adresse à l'interne ; les / marquent les temps sans parole (environ 5 secondes par signe).

*E : Donc là t'as les deux lignes condensées, tu vois, voilà, par contre tu t'es mis un peu vers l'arrière / t'es juste tu vois elle est un petit peu vers l'arrière, il aurait fallu que ce soit plus là, mais l'entrée est bien, **on va pas y toucher, simplement tu dépasseras pas trop la ligne médiane, d'autant qu'il a un os très dur, donc t'as pas besoin d'avoir un filetage qui tient énormément** / elle est bien, tu vois, elle arrive par là, en arrière et en dessous des lignes condensées donc ça veut dire que tu ne risques pas de léser le tronc lombo-sacré, hein.*

Cet extrait de dialogue se situe dans le deuxième quart d'heure d'une opération d'une heure. Nous y voyons apparaître certaines caractéristiques de l'apprentissage du métier de chirurgien : durant la phase précédant ce dialogue, l'expert avait laissé l'interne positionner la

broche. Alors que l'action a été réalisée par l'interne, c'est l'expert qui va prendre en charge la validation de la trajectoire, tout en communiquant à l'apprenant ses critères de contrôle en commentant les radios et ses prises de décisions. C'est la phrase ci-dessus, dans laquelle nous repérons des connaissances déclaratives, d'ordre anatomique et technique qui sont présentes dans le cours : « t'as les deux lignes condensées », « elle arrive par là, en arrière et en dessous des lignes condensées donc ça veut dire que tu ne risques pas de léser le tronc lombo-sacré ». Nous y repérons également des connaissances qui vont permettre la prise de décision en situation : « on va pas y toucher, simplement tu dépasseras pas trop la ligne médiane, d'autant qu'il a un os très dur, donc t'as pas besoin d'avoir un filetage qui tient énormément ». Dans la situation prescrite, il est indiqué que la broche doit être amenée jusqu'à un centimètre environ après la ligne médiane, pour qu'elle ait une bonne tenue dans l'os. Nous voyons ainsi comment l'expert décide qu'une mauvaise trajectoire (« trop en arrière ») peut quand même satisfaisante, d'une part car elle est intra-osseuse (elle l'est à ce moment, et il pense qu'elle le restera) et d'autre part en raison de l'anatomie particulière du patient (l'os dur permettra de ne pas pousser la broche trop loin, ce qui limitera les inconvénients de la mauvaise position). L'apprenant, durant l'intervention, récupère des informations provenant du milieu (au sens de Brousseau 1998) pour se forger ses propres schèmes d'action. Le milieu est constitué de l'expert, détenteur des connaissances, dont certaines sont censées être partagées avec l'interne (ce sont les prérequis, appartenant à la situation prescrite) ; le patient, en tant que milieu pour l'action ; les propres connaissances de l'interne qui lui permettent d'agir, de contrôler ses actions et de lire la situation ; l'instrumentation de la situation, en particulier ici les contrôles radiologiques.

Résultats

Nous développons ici un exemple issu du dialogue précédent. Nous considérons la connaissance (R1) « si l'os est très dense, alors une trajectoire courte qui dépasse juste la ligne médiane est envisageable ». Ce type de règle est communiqué à l'apprenant en cours d'action, de manière très contextuelle et sans que le domaine de validité d'application de la règle soit très clairement énoncé. Il peut en résulter chez l'apprenant la construction de règles d'actions erronées, issues de relâchement de contraintes par rapport à la situation prescrite. Nous considérons ainsi également les règles suivantes : (R2) « si la trajectoire risque d'être extra-osseuse en allant jusqu'à un centimètre derrière la ligne médiane, alors on peut raccourcir la trajectoire en dépassant à peine la ligne médiane pour rester intra-osseux », qui est incorrecte en dehors du domaine « os très dense » ; (R3) « Si la trajectoire risque d'être extra-osseuse, alors on peut raccourcir la trajectoire pour rester intra-osseux », qui est incorrecte en dehors du domaine très restreint d'un os très dense et d'une trajectoire raccourcie mais qui dépasse quand même la ligne médiane.

Avec un ensemble de règles et une étude des variables didactiques des problèmes pouvant être posés aux apprenants dans notre système, nous avons élaboré des parcours pour le diagnostic des règles d'actions sous-jacentes aux actions effectuées. Nous en présentons un exemple dans le tableau suivant.

Description des problèmes	Liens Problèmes-Règles	Diagnostic
PA: consigne : « déterminer une trajectoire » qualité de l'os : très dense type de cas : bonne réduction, fracture type Tile C	PA peut être résolu avec l'intervention de R1 PA peut être résolu avec l'intervention de R2 PA ne peut pas être résolu avec l'intervention of R3	• SI solution de PA = {correct, « trajectoire courte »} ALORS diagnostic = {R1, R2 ou R3} ET RESOUDRE PB
PB: consigne : « déterminer une trajectoire » qualité de l'os : normale type de cas : bonne réduction, fracture type Tile C	R1 n'intervient pas dans la résolution de PB PB ne peut pas être résolu avec l'intervention of R2 R3 n'intervient pas dans la résolution de PB	• SI solution de PB = {incorrect, « trajectoire très courte »} ALORS diagnostic = {R3} • SI solution de PB = {incorrect, « trajectoire courte »} ALORS diagnostic = {R2 ou R3} • SI solution de PB = {correct, « trajectoire normale »} ALORS diagnostic = {R1, R2 ou R3} ET RESOUDRE Pc
PC: consigne : « valider une trajectoire donnée » qualité de l'os : normale type de cas : bonne réduction, fracture type Tile C trajectoire donnée : intra-osseuse point d'entrée : quadrant dorso caudal point extrémité : + [0 ; 0,3 cm[après la ligne médiane	R1 n'intervient pas dans la résolution de PC PC ne peut pas être résolu avec l'intervention of R2 R3 n'intervient pas dans la résolution de PC	• SI solution de PC = {correct, « faux »} ALORS diagnostic = {R1} • SI solution de PC = {incorrect, « vrai »} ALORS diagnostic = {R2 ou R3} • SI diagnostic = {R2 ou R3} ALORS REMEDIATION 2
		Remédiation 2 = renvoi au cours consultation cas avec mauvaise tenue post-opératoire texte d'explicitation de R1 avec domaine de validité

Ce modèle de connaissance permet de distinguer l'état de connaissance qui est sous-jacent à une action. Ainsi si R1 et R2 donnent une solution correcte pour un problème de type P_A, il n'est cependant pas souhaitable du point de vue de l'apprentissage de valider la solution de l'apprenant si c'est R2 qu'il mobilise pour répondre. Nous proposons alors d'autres problèmes à résoudre à l'apprenant, afin de discriminer R1 ou R2, et de mettre en évidence pour l'apprenant les domaines de validité des règles qu'il a éventuellement utilisées.

Conclusion et perspectives

Le travail que nous menons est de nature fortement pluridisciplinaire. Le choix des modèles utilisés pour représenter la connaissance est lié à cette forte interaction entre les chercheurs en didactique, en psychologie du travail et en informatique. Le modèle cK₄ (Balacheff 1995) a été développé comme une extension et une précision de celui des champs conceptuels de Vergnaud. Il est également un pont entre les disciplines des Sciences Humaines et Sociales (SHS) et informatique, puisqu'il a été développé pour être intelligible et opératoire du point de vue des SHS, et computable du point de vue de la mise en oeuvre informatique. Cette

méthodologie nous permet de mener un projet pluridisciplinaire dans lequel les didacticiens interviennent dès le début du projet et non pas uniquement pour la validation finale.

Ce projet intéresse les praticiens hospitaliers de deux points de vue. Le premier est lié à la problématique de l'enseignement de leur discipline. L'outil que nous élaborons offre un terrain d'application des connaissances sans problème de coût ni de déontologie. En outre, les chirurgiens sont à la fois experts et enseignants. Ces deux aspects de leur métier peuvent bénéficier de la mise en place d'une méthodologie d'analyse de leurs pratiques du point de vue de l'action et de la validation. Mieux comprendre leur geste pour mieux le transmettre ; et, mieux analyser le déroulement d'une opération en vue de l'évaluation par des pairs de techniques novatrices

Enfin, l'outil informatique que nous avons présenté dans cet article traite de l'apprentissage de concepts nécessaires à la réalisation de l'intervention de vissage sacro-iliaque percutané. Il nous paraît naturel et nécessaire de poursuivre nos travaux sur la formation chirurgicale en y intégrant l'apprentissage du geste.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le CNRS de son soutien à nos travaux dans le cadre du programme TCAN (Traitement des Connaissances, Apprentissage et NTIC), ainsi que le service d'orthopédie et de traumatologie du CHU de Grenoble pour son accueil et son optimisme dans la réalisation de ce projet.

Bibliographie

- BALACHEFF Nicolas, 1995, « Conception, propriété du système sujet/milieu », in : Robert NOIRFALISE et Marie-Jeanne PERRIN-GLORIAN (eds.), *Actes de la VII^e Ecole d'été de didactique des mathématiques*, Clermont-Ferrand, IREM de Clermont-Ferrand, pp.215-229.
- BALACHEFF Nicolas, 1998, « Formalisation des connaissances et modélisation des environnements informatiques d'apprentissage humain », in : *Actes des Assises fondatrices du GDR I3*, Lyon, juin 1998.
- BISSERET André, 1995, *Représentation et décision experte – Psychologie cognitive de la décision*, Toulouse, Octarès.
- BROUSSEAU Guy, 1998, *Théorie des situations didactiques*, Grenoble, La Pensée Sauvage éditions.
- LUENGO Vanda, 1999, « Analyse et prise en compte des contraintes didactiques et informatiques dans la conception et le développement du micromonde de preuve Cabri-Euclide », *Sciences et Techniques Educatives*, vol. 6 n°1
- PASTRE Pierre, 2002, « L'analyse du travail en didactique professionnelle », *Revue Française de Pédagogie*, n°138, pp. 9-17.
- PERRENOUD Philippe, 2001, « Articulation théorie-pratique et formation de praticiens réflexifs en alternance », in : LHEZ Pierrette, MILLET Dominique et SEGUIER Bernard (dir.), *Alternance et complexité en formation, Education – Santé – Travail social*, Paris, Editions Seli Arslan, pp.10-27.
- TCHOUNIKINE Pierre, 2002, « Conception des environnements informatiques d'apprentissage : mieux articuler informatique et sciences humaines et sociales », in : Georges-Louis BARON, Eric BRUILLARD (eds.), *Les technologies en éducation :*

Perspectives de recherche et questions vives, Paris, INRP - MSH - IUFM de Basse Normandie, pp. 203-210.

TONETTI Jérôme, VADCARD Lucile, TROCCAZ Jocelyne, CINQUIN Philippe et MERLOZ Philippe, 2004, « Problématique de l'enseignement de la chirurgie en ligne. Application à la simulation d'un geste de vissage percutané », *in* : Congrès IPM Internet et Pédagogie Médicale, Grenoble, 2 et 3 décembre 2004.

VADCARD Lucile, 2002, « Réflexions didactiques autour de la construction d'une université virtuelle en chirurgie orthopédique », *Informatique et Santé*, n°14, pp.73-82.

VADCARD Lucile, 2003, *A pedagogical strategy for VOEU*, Final Deliverable (35.07) of the VOEU European Project (IST-1999-13079), accepted by the European Commission, <http://vou-caos.vitamib.com/>

VERGNAUD Gérard, 1991, « La théorie des champs conceptuels », *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 10(2/3), pp. 133-170.

VERGNAUD Gérard, 1996, « Au fond de l'action, la conceptualisation », *in* : Jean-Marie BARBIER (ed.) *Savoirs théoriques et savoirs d'action*, Paris, PUF, pp 275-292

Influence de quelques composantes de l'environnement scolaire sur le rapport entretenu par des élèves de seconde avec les savoirs de la physique

VENTURINI Patrice, Enseignant-chercheur, LEMME, Université P. Sabatier, Toulouse, France

Introduction et question de recherche

La question de la mobilisation de l'élève dans son travail scolaire, récurrente quelle que soit la discipline, prend actuellement un relief particulier dans les matières scientifiques et plus particulièrement en physique, dont l'étude subit de plein fouet une désaffection certaine (Porchet, 2002). Plusieurs cadres théoriques permettent de la travailler dont celui du rapport au savoir que j'utiliserai ici.

Par ailleurs, cette discipline fait partie de celles dont les contenus sont généralement peu investis socialement par les élèves ou même les étudiants¹. C'est donc à l'école qu'ils la rencontrent presque exclusivement, et l'on peut de ce fait, penser que le contexte scolaire a une influence significative sur le comportement des élèves à son égard.

Il y a donc une certaine pertinence à examiner comment quelques unes des composantes de l'environnement scolaire (nature de l'enseignement, type d'activités, caractéristiques de l'enseignant, fonctionnalité des savoirs...) influencent le rapport des élèves aux savoirs de la physique et conditionnent leur mobilisation pour apprendre, ce que cette communication se propose de faire.

Après avoir brièvement rappelé quelques éléments sur le rapport au(x) savoir(s) et synthétisé les conclusions d'une autre étude² utiles à cette présentation, j'évoquerai la méthodologie utilisée et certains des résultats obtenus. Pour finir, un premier bilan sera tiré et brièvement discuté, notamment en relation avec d'autres approches théoriques.

Cadre théorique

Éléments de base

Charlot (1997, p. 93) définit le rapport au savoir comme « *un ensemble de relations de sens et donc de valeur, entre un individu et les processus ou produits du savoir* ». Le savoir n'a pas de sens en lui-même : c'est le rapport qu'établit l'élève avec le savoir qui lui en donne et qui conditionne sa mobilisation dans l'apprentissage. Ce rapport est propre au sujet, évolutif et lié à la nature des savoirs en jeu : si tout individu « *entretient un certain type de rapport (dominant) avec le savoir (c'est à dire avec la question même de savoir) ... il peut avoir des*

¹ Dans Venturini et Albe (2002), nous avons montré que les étudiants en 3^{ème} année universitaire utilisaient la physique seulement dans le cadre de leurs études et pas dans leur vie quotidienne, et qu'ils avaient de grandes difficultés à rendre compte du fonctionnement d'objets courants comme une boussole, un moteur électrique, un poste de radio.

² Les résultats rapportés dans le cadre de cette communication font partie d'une étude plus large sur les rapports entretenus par des élèves et des étudiants avec les savoirs de la physique.

rapports différents avec différents types de savoir » (Charlot, 1999). On peut donc définir le Rapport entretenu par un élève avec les Savoirs de la PHYsique (noté souvent par la suite R.S.φ) et le caractériser, en précisant l'objet sur lequel porte la mobilisation, le degré de mobilisation ainsi que la nature des mobiles. Ce rapport ainsi caractérisé est généralement associé à un rapport idéaltypique dont il est proche. Le chercheur obtient un rapport idéaltypique en accentuant des éléments repérés dans la réalité pour former une construction intellectuelle cohérente qui a une valeur explicative. Le rapport idéaltypique ne regroupe pas tous les éléments d'un rapport réel, mais on peut comprendre ce dernier en le comparant au rapport idéaltypique.

Rapports idéaltypiques à la physique

Dans une étude précédente (Venturini, 2005), j'ai construit cinq rapports idéaltypiques pour rendre compte des rapports entretenus par des élèves du secondaire avec les savoirs de la physique, dont on trouve ci-dessous les caractéristiques synthétisées :

- R.I.S.φ 1 (Rapport Idéaltypique aux Savoirs de la PHYsique de type 1) : un élève « hypothétique³ » qui entretient ce rapport avec les savoirs de la physique leur donne une grande importance et en attend de pouvoir expliquer et comprendre le monde qui l'entoure ; il attribue de l'importance à la physique à la fois pour l'utilité qu'elle présente dans les études qu'il fait ou envisage de faire et pour les savoirs qu'elle apporte ; il vient en cours de physique pour apprendre, expliquer et comprendre des phénomènes, et se dit impliqué en classe. Le rapport entretenu par cet élève avec les savoirs de la physique est tel qu'il est fortement mobilisé en⁴ physique ;
- R.I.S.φ 2 : un élève qui entretiendrait ce rapport avec les savoirs de la physique leur attribue aussi de l'importance, qui cependant est moins marquée que dans le cas précédent. S'il considère que la physique est importante, c'est plus pour des raisons stratégiques vis-à-vis des études et de la carrière envisagées que pour les connaissances qu'elle apporte ; il vient en cours de physique à la fois pour apprendre, pour comprendre et par utilité, et il se dit impliqué en classe. Cet élève est mobilisé en physique ;
- R.I.S.φ 3 : un élève qui aurait ce rapport octroie beaucoup moins d'importance que les précédents aux savoirs de la physique ; il vient en cours essentiellement par utilité, celle-ci étant de plus très relative. Ce rapport est intermédiaire entre les deux précédents, caractérisés par une mobilisation en physique, et les deux suivants dans lesquels la mobilisation en physique est absente. Cet élève est faiblement mobilisé en physique.
- R.I.S.φ 4 : un élève hypothétique qui aurait ce rapport donne de l'importance à la physique pour l'utilité qu'il attend des savoirs qu'elle apporte, dans la vie quotidienne ou le métier futur ; il vient en cours avec l'intention d'apprendre et se dit impliqué en classe, sans que les apprentissages résultant de cette intention ou de cette attitude ne soient réellement stabilisés, les savoirs appris étant toujours cités de manière vague. Le rapport aux savoirs disciplinaires de cet élève le conduit à être mobilisé « sur⁴ » la physique.
- R.I.S.φ 5 : un élève qui aurait ce rapport ne donne aucune importance aux savoirs de la physique et n'attend rien des savoirs appris ; il considère que la physique a peu ou pas d'importance ; il vient par obligation aux cours dans lesquels il se dit peu ou pas impliqué. Le rapport aux savoirs de cet élève est tel qu'il n'est pas mobilisé sur la physique.

³ Il est peu probable qu'il existe un élève qui entretienne réellement avec les savoirs de la physique un rapport exactement semblable au rapport idéal-typique construit par le chercheur

⁴ Comme Charlot et al. (1992, p. 76-77) distinguent une mobilisation à l'école (donner du sens au fait d'apprendre à l'école) et une mobilisation « sur » l'école (donner du sens au fait d'aller à l'école), je distingue ici une mobilisation « en » physique et une mobilisation « sur » la physique

Méthodologie utilisée

Choix généraux

L'objectif étant d'étudier les relations entre rapport aux savoirs de la physique et environnement scolaire, et ce rapport étant évolutif, j'ai choisi :

- de les étudier à un moment particulier, en classe de seconde. Il s'agit en effet de la dernière classe où tous les élèves ont de la physique dans le cursus classique, et ce depuis plus de trois ans, ce qui permet des propos fondés sur une certaine expérience ;
- de prendre des élèves dont le rapport aux savoirs de la physique est clairement caractérisé, proche au moment de l'étude d'un des cinq rapports idéaltypiques que j'avais préalablement définis.

Choix des élèves

La première étape a donc été de sélectionner les élèves de seconde correspondant à ce dernier critère. Pour cela, j'ai utilisé une partie de la procédure qui avait permis d'aboutir à la construction des rapports idéaltypiques (Venturini, 2005), basée sur un recueil de données par questionnaire de type « bilan de savoir » (Charlot et al., 1992, p. 36) organisé en trois points concernant : les apprentissages que les élèves déclarent avoir effectués en physique depuis qu'ils en font, les enjeux que constituent pour eux ces apprentissages et l'état d'esprit dans lequel ils annoncent être lorsqu'ils sont en situation d'apprentissage.

Ce questionnaire a été renseigné par 132 élèves de quatre classes de seconde appartenant à trois établissements. Deux d'entre elles sont de bonnes classes comportant des sections européennes, les deux autres sont réputées faibles. En comparant les réponses fournies analysées manuellement avec les caractéristiques des cinq idéaltypes précédents, j'ai retenu 36 élèves, avec lesquels je me suis entretenu.

Recueil des informations

L'entretien d'une trentaine de minutes⁵ avait plusieurs objectifs, dont celui de confirmer le rapport aux savoirs de la physique des élèves sélectionnés, d'identifier la perception de l'environnement scolaire relatif à la physique et d'évaluer son impact sur les rapports aux savoirs correspondants.

La première série de questions de cet entretien avait donc pour objectif de confirmer l'existence d'une proximité importante entre le rapport aux savoirs de la physique de chaque élève et un des rapports idéaltypiques définis. Les élèves

- se sont situés par rapport à la discipline, en décrivant les relations⁶ qu'ils entretiennent avec elle, et ont, quand cela était possible explicité les éléments qui en sont à l'origine ;
- ont précisé leurs pratiques d'études (nature des activités, fréquence, mode de préparation des contrôles...) pour situer leur degré de mobilisation, tant vis-à-vis de la physique que des autres disciplines, degré dont ils ont ensuite, selon eux, expliqué les raisons ;

⁵ D'autres facteurs ont été abordés qui ne sont pas repris ici.

⁶ Les termes de « *relations avec la physique* » ont été préférés à ceux de « *rapport entretenu avec les savoirs de la physique* » parce qu'ils m'ont paru plus suggestifs pour les élèves. De plus, ils ont la plupart du temps été illustrés lorsqu'ils ont été utilisés dans l'entretien, par l'évocation des éléments recouverts : degré d'implication dans le travail scolaire en physique, plus ou moins grand intérêt personnel pour les explications apportées sur le monde qui nous entoure, plaisir ou non à aller en cours de physique, à apprendre la physique, à en parler avec d'autres...

- ont explicité les éventuelles activités extrascolaires (lectures, clubs scientifiques...) qu'ils pratiquaient et ont apprécié la pertinence de la physique pour comprendre le monde qui les entoure.

J'ai ainsi éliminé deux élèves dont le rapport aux savoirs de la physique avait évolué entre le questionnaire et l'entretien et ne correspondait plus à un des rapports idéaltypiques de référence. Les 34 élèves restants sont ainsi répartis

R.S.φ proche de	Nombre d'élèves
R.I.S.φ 1	5
R.I.S.φ 2	8
R.I.S.φ 3	8
R.I.S.φ 4	4
R.I.S.φ 5	9

Tableau 1 : répartition des élèves de l'échantillon selon leur rapport aux savoirs de la physique

Les différences qui apparaissent dans la répartition sont liées à la plus ou moins grande difficulté à trouver des élèves dont le rapport aux savoirs de la physique soit très proche des différents idéaltypes déjà construits.

Une autre série de questions concernait certains éléments de l'environnement scolaire. Les élèves ont eu à :

- apprécier globalement l'enseignement de la physique ;
- apprécier si les apprentissages réalisés à l'école étaient fonctionnels à l'extérieur ;
- à donner leur avis sur certains aspects de l'enseignement : place des applications et des phénomènes quotidiens dans les cours, réponses apportées à leurs interrogations personnelles, place des travaux pratiques ;
- définir selon eux ce qu'est un bon professeur et faire état du degré de réussite dans cette discipline.

De plus, l'élève a apprécié à chaque fois l'impact de chacune de ses réponses sur le rapport qu'il entretient avec les savoirs de la physique.

Analyse des données recueillies

Les entretiens ont été retranscrits puis analysés manuellement à deux reprises, d'abord individu par individu, puis dans un deuxième temps, facteur par facteur, ce qui a permis d'homogénéiser le traitement de chaque réponse. Les résultats ont ensuite été répertoriés sur un tableau qui a permis d'assurer un contrôle de cohérence et le repérage de régularités.

Résultats

J'évoquerai d'abord l'impact de l'enseignant, qui a une place prépondérante dans l'environnement scolaire, puis l'enseignement en général et enfin tour à tour, les différents éléments particuliers qui viennent d'être décrits.

L'enseignant

Une très grande majorité d'élèves (31 sur 34) reconnaissent une importance à l'enseignant sur leur R.S.φ, mais celle-ci est variable et liée à des facteurs différents selon les individus :

- ainsi, l'importance de l'enseignant est faible pour les élèves qui sont mobilisés et ceux qui sont fortement mobilisés en physique, mais grande pour tous les autres ;
- les élèves qui sont fortement mobilisés, mobilisés ou faiblement mobilisés en physique sont sensibles au rapport à l'élève témoigné par l'enseignant, notamment au fait qu'il recherche la plus grande réussite de tous. L'enseignant qui répond à leurs demandes d'approfondissement, et qui permet aux élèves en difficulté d'avancer à leur rythme a selon eux un impact positif sur leur rapport aux savoirs de la physique, et ce d'autant plus que la mobilisation des élèves est importante ;
- les élèves faiblement mobilisés en physique ou non mobilisés sur la physique sont sensibles au rapport à la physique de l'enseignant. Son influence est positive si les élèves ont la perception qu'il apprécie sa discipline et surtout qu'il cherche (et parvienne) à leur faire partager sa passion ;
- les élèves qui ne sont pas mobilisés sur la physique sont aussi sensibles aux qualités pédagogiques qu'ils perçoivent chez l'enseignant. Celui-ci a une influence positive sur leur R.S.φ s'il « *explique bien* » et parvient à leur faire « *bien comprendre la physique* ».

L'enseignement pris dans sa globalité

Trois groupes d'élèves se dessinent vis-à-vis de cette question :

- Les élèves non mobilisés sur la physique considèrent que l'enseignement de la physique est complexe, ennuyeux, abstrait et trop rapide, ce qui influence négativement leur rapport aux savoirs de la physique ;
- Les élèves fortement mobilisés en physique sont plutôt satisfaits de l'enseignement, même s'ils lui reprochent de ne pas fournir toutes les réponses aux questions qu'ils se posent. Cet élément n'a pas selon eux d'influence significative sur leur rapport aux savoirs ;
- Quant aux autres élèves, les avis sont divers, tant sur l'enseignement de la physique que sur son influence sur leur rapport aux savoirs, celle-ci étant toutefois le plus souvent neutre.

La possibilité de réinvestir à l'extérieur des savoirs scolaires

Les élèves fortement mobilisés en physique et ceux mobilisés sur la physique considèrent que les savoirs appris à l'école permettent de comprendre plus facilement le monde extérieur, ce qui influence positivement leur rapport aux savoirs de la physique.

L'avis des élèves faiblement mobilisés en physique ou non mobilisés sur la physique est opposé : ils jugent que les savoirs appris ont uniquement une valeur scolaire, et l'influence de ce facteur sur leur rapport aux savoirs de la physique est négative.

Quant aux élèves mobilisés en physique, leurs avis sont partagés.

La prise en compte dans le cours des applications et des phénomènes du quotidien

Cette prise en compte, qui conduit à appliquer les modèles appris en classe pour expliquer des phénomènes ou des applications du quotidien apparaît insuffisante à la majorité des élèves (22 sur 25) qui sont mobilisés ou faiblement mobilisés en physique, ou non mobilisés sur la physique. Ce facteur a pour eux une influence négative sur leur rapport aux savoirs de la physique. A l'opposé, la plupart des autres élèves (7 sur 9), qui sont fortement mobilisés en physique ou mobilisés sur la physique jugent cette prise en compte effective et pensent que ce facteur a une influence positive sur leur rapport au savoir de la physique.

La prise en compte des interrogations des élèves

Cet élément n'a d'influence négative que sur les élèves fortement mobilisés en physique. Ils trouvent en effet que l'enseignement ne répond pas souvent à leurs demandes d'en savoir un peu plus tant sur le cours que sur des domaines extérieur à celui-ci. Pour les autres, il reste neutre, soit parce qu'ils trouvent en cours des réponses à leurs questions, soit parce qu'ils n'ont pas d'interrogations particulières, ce qui est le cas par exemple d'une majorité d'élèves non mobilisés sur la physique.

Les travaux pratiques

De manière unanime, les élèves jugent favorable la présence de travaux pratiques dans l'enseignement, même si les raisons annoncées sont diverses, de l'utilité, pour la suite des études, des savoir-faire appris à l'intérêt de ce type d'activité dans la mémorisation des éléments du cours.

La réussite scolaire

Les deux tiers des élèves estiment que ce facteur a un impact sur leur rapport aux savoirs de la physique. Il est positif pour les élèves mobilisés et fortement mobilisés sur la physique, qui estiment réussir, et négatif pour les élèves non mobilisés sur la physique qui eux ont le sentiment d'échouer. Pour les autres, on ne peut dégager de régularité.

Conclusion

	R.I.S.φ 1	R.I.S.φ 2	R.I.S.φ 3	R.I.S.φ 4	R.I.S.φ 5
Importance de l'enseignant	Faible	Faible	Forte	Forte	Forte
Enseignement (globalité)	Neutre				< 0
Possibilité de réinvestir les savoirs appris à l'extérieur	Oui ; > 0	Non ;	Non ; < 0	Oui ; > 0	Non ; < 0
Phénomènes et applications du quotidien dans les cours	Oui ; > 0	Non ; < 0	Non ; < 0	Oui ; > 0	Non ; < 0
Existence de travaux pratiques	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0
Réponses aux interrogations des élèves	Non, < 0	Oui ; Neutre	Neutre	Neutre	Neutre
Sentiment de réussite scolaire	Oui ; > 0	Oui ; > 0			Non ; < 0

Tableau 2 : opinion des différents types d'élèves sur les facteurs étudiés, et sur la manière dont ceux-ci influent sur leur R.S.φ (Influence positive : > 0 ; influence négative : < 0 ; sans influence : Neutre)

Le tableau 2 récapitule les résultats précédents. On peut d'abord constater que de nombreux facteurs ont une influence positive sur les élèves fortement mobilisés en physique ou mobilisés sur la physique (associés à R.I.S.φ 1 ou R.I.S.φ 4) et un impact négatif pour ceux qui ne sont pas mobilisés sur la physique (associés à R.I.S.φ 5), ce qui laisse supposer que ces rapports ont une certaine stabilité. Le sentiment de réussite est pratiquement le seul des facteurs examinés (à l'exclusion de la présence de travaux pratiques, perçus par tous les élèves de manière positive) à influencer positivement sur le rapport aux savoirs d'une majorité des élèves mobilisés en physique (associés à R.I.S.φ 2), alors qu'aucun facteur n'a

d'effet réellement mobilisateur sur les élèves faiblement mobilisés (associés à R.I.S.φ 3). Quant aux élèves mobilisés sur la physique (associés à R.I.S.φ 4) à l'exception de la réussite scolaire, les éléments mobilisateurs sont identiques à ceux des élèves fortement mobilisés (associés à R.I.S.φ 1), mais la nature de la mobilisation est différente et reste à approfondir. Par ailleurs, les élèves les moins mobilisés reconnaissent à l'enseignant une grande influence sur leur rapport aux savoirs, par le biais de son rapport à la physique, de son rapport à l'élève et de la qualité perçue de ses explications. Enfin, on peut constater que l'influence de ces facteurs est dépendante des types de rapports entretenus par les individus avec les savoirs de la physique.

D'autres études sur les attitudes⁷ (voir Venturini, 2004 pour une revue) envers les sciences ou sur la motivation⁸ (voir par exemple Ames, 1992 ; Meece, 1991 ; Pintrich et Schunk, 1996, p. 325 ; Schunk, 1991), ont évalué l'influence de l'environnement scolaire sur la mobilisation des élèves. Les résultats qu'ils font apparaître sont difficiles à comparer avec ceux qui sont présentés ici, notamment parce qu'ils sont obtenus avec des publics différents sur les plans de l'âge, de la nationalité, du système d'enseignement, et aussi parce qu'ils concernent souvent les sciences et non pas la physique (dans le cas des attitudes) ou ne sont pas spécifiques d'un contexte disciplinaire particulier (dans le cas de la motivation). Il n'en demeure pas moins que des points communs apparaissent, qui confortent les résultats qui sont présentés. Cette constatation est intéressante car il est possible dans une certaine mesure d'agir sur ces facteurs. Une autre partie de l'étude, non reprise ici, montre en effet, que d'autres facteurs (rapport au savoir scolaire, projet professionnel, représentation de l'utilité sociale de la physique...), sur lesquels on a moins de prise, ont aussi une influence.

Cependant, d'autres questions restent encore en suspens, par exemple, y a-t-il des facteurs prépondérants par rapport à d'autres ? D'autres facteurs de l'environnement scolaire comme le curriculum, le travail de groupe, les types d'évaluation... ont-ils de l'influence ? Cette prépondérance ou cette influence, si elles existent sont-elles communes à tous les élèves ou spécifiques de certains ? Que se passe-t-il pour des élèves dont le rapport aux savoirs de la physique n'est pas aussi proche des rapports idéaltypiques que ceux du groupe étudié ? L'étude de ces phénomènes est donc encore loin d'être terminée, et le rapport au savoir offre, pour les examiner, un cadre intéressant pour qui souhaite prendre en compte la spécificité du sujet (Caillot, 2001) tout en privilégiant une entrée par le savoir disciplinaire.

Références bibliographiques

ALEXANDRE Victor, 1996, "Les attitudes, définition et domaines", in Jean-Claude DESCHAMPS et Jean-Léon BEAUVOIS, *La psychologie sociale, tome II, Des attitudes aux attributions : sur la construction sociale de la réalité*, pp. 23-40, Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble.

AMES Carole, 1992, "Achievement goals and the classroom motivational climate", in Judith MEECES et Dale SCHUNK (ed.), *Students perception in the classroom*, pp. 149-183, Hillsdale (NJ), Erlbaum.

⁷ Par attitude, on peut entendre « *disposition, tendance à répondre d'une certaine manière face à certains stimuli* » (Oppenheim, 1992, p 174). On peut consulter Alexandre, (1996) pour d'autres définitions.

⁸ Dans le cadre des approches sociocognitives de la motivation, Viau (1994, p. 7) définit celle-ci comme « *un état dynamique qui a ses origines dans la perception qu'un élève a de lui-même et de son environnement et qui l'incite à choisir une activité, à s'y engager et à persévérer dans son accomplissement afin d'atteindre un but* ».

CAILLOT Michel, 2001, "Y a-t-il des élèves en didactique des sciences ? Ou quelles références pour l'élève", in André TERRRISE, (ed.) *Didactique des disciplines, les références au savoir*, pp. 141-155, Bruxelles, De Boeck.

CHARLOT Bernard, BAUTIER Elisabeth et ROCHEX Jean-Yves, 1992, *Ecole et savoir dans les banlieues et ailleurs*, Paris, Armand Colin.

CHARLOT Bernard, 1997, *Rapport au savoir : Éléments pour une théorie*, Anthropos, Paris.

CHARLOT Bernard, 1999. "Le rapport au savoir", In J Bourdon et Claude Thélot (dir.) *Education et formation : l'apport de la recherche aux politiques éducatives*, pp. 17-34, Paris, Editions du CNRS.

MEECE Judith, 1991, "The classroom context and student's motivational goals", in M.L. MAHER et Paul. R. PINTRICH (eds.), *Advances in motivation and achievement*, 7, pp. 261-286, Greenwich, CT, JAI Press.

OPPENHEIM A. N. (Bram), 1992, *Questionnaire Design, Interviewing and Attitude Measurement*, Londres and New York, Continuum, 2nd edition.

PINTRICH Paul. R. et SCHUNK Dale H., 1996. *Motivation in education: theory, research and applications*, Englewood Cliffs, Prentice Hall.

PORCHET Maurice, 2002, *Les jeunes et les études scientifiques : les raisons de la désaffection – un plan d'action*, Rapport à l'attention du Ministre de l'Education Nationale, disponible à www.education.gouv.fr/rapport/porchet.pdf.

SCHUNK Dale H., 1991, "Self-efficacy and academic motivation", *Educational Psychologist*, n° 26(3 et 4), pp. 207-231.

VENTURINI Patrice et ALBE Virginie, 2002, "Rapports à la physique d'étudiants issus d'un DEUG Sciences de la matière", *Dossiers des Sciences de l'Education* « Didactique des disciplines scientifiques et technologiques : concepts et méthodes », 8, pp. 11-22.

VENTURINI Patrice, 2004, "Note de synthèse - Attitudes des élèves envers les sciences : le point des recherches", *Revue Française de Pédagogie*, 149 (à paraître).

VENTURINI Patrice, 2005 "Rapports idéal-typiques à la physique d'élèves de l'enseignement secondaire", *Didaskalia*, 26 (à paraître).

VIAU, Rolland, 1994, *La motivation en contexte scolaire*, Québec, Éditions du Renouveau Pédagogique Inc. (De Boeck distributeur Europe).

Mesures, nombres et ordres de grandeurs en seconde

VIGNES Michel, MCF didactique des sciences, LIRDEF - IUFM, Montpellier, France.
en collaboration avec BRONNER Alain, MCF didactique des mathématiques, LIRDEF

Cet article présente quelques éléments d'une recherche débutante, ils sont le fruit d'une première phase strictement exploratoire. Le contexte étant défini, le cadre théorique n'est encore qu'esquissé à grands traits, la méthodologie d'ensemble est pour une bonne part prévisionnelle. Les premiers résultats présentés sont bien entendu partiels.

Contexte et cadre théorique

Les premières semaines d'enseignement de la classe de seconde (de détermination) représentent un moment charnière important de la scolarité notamment dans les enseignements et les apprentissages scientifiques. Ce moment particulier dans la « carrière élève » nous semble privilégié pour faire une étude sur l'articulation des compétences espérées, exigibles et/ou exigées en mathématique et en sciences physiques. Depuis de nombreuses réformes la classe de seconde est l'occasion d'approfondir en mathématique la connaissance des différents types de nombres rencontrés au collège, du point de vue la nature et des écritures. Les dernières réformes insistent particulièrement sur la différenciation des pratiques de calcul exact et de calcul approché. Dans ce cadre les objets valeur exacte, valeur approchée, ordre de grandeur, écriture scientifique, puissance de 10 forment le paysage de cette séquence. La grande innovation des programmes de physique de 1999 consiste à les organiser autour de « concepts transversaux ». L'un des cinq points importants des programmes, « le monde observable s'étend de l'infiniment petit à l'infiniment grand », vise la mise en place d'une échelle des distances des objets constituant l'univers. Ce premier chapitre « de l'atome aux galaxies », « consacré à une grandeur fondamentale : la longueur » propose de « mettre l'accent sur diverses compétences liées à la langue française, à l'outil mathématique et à l'expérimentation ». Les compétences concernant les ordres de grandeurs, la notion de précision d'une mesure, la détermination d'un nombre correct de chiffres significatifs sont directement liées aux activités d'expérimentation mettant en jeu diverses techniques de mesurage, sans qu'aucun lien avec le programme de mathématique ne soit évoqué. Ce parti pris, défendable en soi, conduit à passer totalement sous silence des notions telles que valeur exacte d'une grandeur, valeur approchée de la mesure, encadrement, probabilité d'appartenir à l'intervalle...

Dans l'étude des relations entre l'enseignement du numérique et l'enseignement de la physique, trois questions apparaissent :

- le rôle de la quantification dans la construction des grandeurs physiques ;
- les relations entre activité de mesurage et modélisation ;
- les rapports entre valeur exacte, mesure, incertitude...

Construction des grandeurs

L'enseignement au collège et au lycée adopte traditionnellement une position « réaliste » : chaque objet possède « en soi » une série de grandeurs, à chacune correspond à un instant donné une « valeur vraie » unique que la mesure tente d'approcher (Coelho, 1993). La question se pose de la pertinence pour l'enseignement d'une approche « opérationnaliste »

des grandeurs, où grandeur physique et procédé de mesurage s'établissent simultanément. La notion de « valeur vraie » perd toute signification et chaque mesure est fondamentalement imprécise. La grandeur est alors décrite par un ensemble-mesure (ensemble de nombres liés à l'unité). Gonella, cité par Coelho (Coelho, 1993) qui soutient ce point de vue précise toutefois que la « valeur vraie » définie comme concept idéal reste utile pour l'enseignement. Cela pose le problème des relations entre la mesure et les notions de valeur exacte et valeur approchée envisagées dans le cours de mathématique.

Mesurage, mesure, incertitude...

Même si certaines problématiques peuvent être transférées vers d'autres domaines du programme de sciences physiques (introduction de la mole...) nous nous intéressons exclusivement à une grandeur de base, mesurable, rationnelle (admet la proportionnalité) : la longueur. Les distorsions entre les approches en mathématique et en métrologie de la longueur sont inévitables. L'exemple de la diagonale du rectangle, incommensurable en mathématique et mesurable en physique (longueur du plan incliné...) est typique. Les notions de valeur exacte, valeur approchée (calculatrice) en mathématique et celles en physique de « valeur vraie », de mesure et d'incertitude doivent être impérativement différenciées. Malgré un travail permanent de clarification de la part des métrologues, de nombreuses ambiguïtés subsistent dans le vocabulaire employé, notamment dans l'enseignement secondaire. Pour la classe de seconde, nous proposons les choix suivants : la mesure est l'information à transmettre, le mesurage l'action de mesurer. Entre « erreur » et « incertitude », nous privilégions le concept plus général d'incertitude. Une grande majorité d'études portant sur l'enseignement de la mesure (Moreau, 77) (Journeaux, Séré, 1995) préconisent depuis longtemps l'introduction d'un traitement statistique des incertitudes et la définition de l'intervalle de confiance, ceci aussi bien dans l'enseignement secondaire qu'universitaire. Toutefois ces activités semblent rester les « mal aimées » (Maruani, 1996) des enseignants, du moins en classe de 2^{nde}. Les métrologues préfèrent « exactitude » à « précision », à condition de ne pas la référer à une « valeur vraie » inconnue. Enfin, la notion d'ordre de grandeur est clairement introduite dans les programmes de seconde, notamment dans le cadre d'activités de classement par tailles. Plus ou moins liées à l'écriture scientifique des nombres et à l'usage des puissances de 10, les définitions proposées sont très diverses. Un effort de clarification et d'explicitation est nécessaire (Khantinc-Langlois, 2001). La longueur est une des premières grandeurs rencontrées, dont l'élaboration progressive débute dès l'école élémentaire, cependant de nombreux aspects restent à résoudre en fin de collège et en 2^{nde}. Les premières activités de mesurage se font dans le champ perceptif immédiat, à échelle humaine. Quand on aborde les domaines microscopique et astronomique, de nouveaux problèmes se posent. La diversité des unités (nm, cm, m, km, UA...) en usage dans les manuels et le cours de physique selon le domaine, la multiplicité des techniques et instruments de mesurage ne favorisent pas la construction d'une seule et même définition de la grandeur. Les difficultés des élèves dans la comparaison des tailles, avec parfois des confusions entre l'objet et l'image qui en est fournie nous semble un indice. Si l'on fait l'hypothèse que pour les élèves, les activités de mesurage participent à la construction de la grandeur physique, alors l'ensemble des activités de conversion d'unités, d'écriture scientifique, de détermination de l'ordre de grandeur pourraient avoir pour fonction l'unification d'un ensemble disparate de mesures en une seule grandeur : la longueur.

Mesure, mesurage et modélisation

S'intéresser à la mesure conduit à rechercher les « opérations de pensée en jeu dans les activités expérimentales » (Brenas, 1992). Envisager la dimension d'objets de l'infiniment

petit à l'infiniment grand oblige à aborder la question des relations entre mesure et activité de modélisation. Quand on évalue la dimension d'une molécule (expérience de Franklin), d'un atome quel est le statut de cette molécule, de cet atome pour les élèves ? Aujourd'hui, le « schéma de la modélisation » proposé par J.L. Martinand (Martinand, 1994), inspiré des travaux de G. Vergnaud (Vergnaud, 1987), nous semble le plus adéquat pour réfléchir à la place des mesures de longueur au sein des activités de modélisation prônées dans les programmes de 2^{nde}. Les activités de mesurage participent de la phénoménographie. Les ressources nécessaires relèvent de la matrice cognitive. Mais accéder à la mesure suppose dans de nombreux cas une représentation de l'invisible, de l'inaccessible, dans ce cas quelle place conférer à la mesure dans les interrelations entre le référent empirique (l'objet « atome ») et l'élaboration interprétative, le modèle (un modèle d'atome) ?

Hypothèse

Ce travail ne s'inscrit pas dans le cadre d'une interdidactique. Le but n'est pas de définir des situations ou des activités de type interdisciplinaire mais d'analyser les tensions inévitables entre deux champs disciplinaires interrogeant les mêmes objets de savoir. Différentes notions apparaissent comme transversales et sont abordées simultanément en mathématique et en sciences physiques selon des perspectives décalées voire divergentes. Les usages, les enjeux, les modes d'approche voire les définitions en mathématique et en physique présentent des différences sensibles, par voie de conséquence, les exigences des enseignants de mathématique et de physique ne peuvent être les mêmes. La question qui se pose alors porte sur la transférabilité et la complémentarité des compétences concernées en classe de mathématique d'une part et en classe de sciences physiques d'autre part : mesure d'une grandeur ; valeurs exactes, valeurs approchées ; ordres de grandeurs ; puissances de 10 ; différentes écritures des nombres (décimale, fractionnaire, scientifique) ; incertitude ; chiffres significatifs. Nous formons l'hypothèse que les élèves peuvent être confrontés à deux mouvements en apparence contradictoires : gérer le cloisonnement des disciplines afin de respecter les spécificités de chacune ou bien gérer le décloisonnement afin d'assurer le transfert des compétences et ainsi la cohérence du savoir construit. Une question préliminaire apparaît donc : quelles connaissances spécifiques à chaque discipline les enseignants de mathématiques et de physique activent-ils face à ces notions ? Quels apprentissages envisagent-ils pour leurs élèves ? Quelles sont leurs attentes vis-à-vis des élèves dans le cadre de résolutions d'exercices, de problèmes ou de tâches expérimentales ?

Méthodologie

Cette recherche vise à la fois les professeurs de mathématique et de physique enseignant en classe de 2^{nde}. L'enquête doit porter tant sur le « dire » que sur le faire des enseignants. Outre une analyse rapide des programmes, la première étape d'une phase exploratoire, que nous présentons ici, vise à repérer les convergences et les divergences qui apparaissent dans les déclarations des professeurs de mathématique et de physique dans leur manière d'appréhender le numérique et la mesure dans l'enseignement de 2^{nde} ainsi que les difficultés principales de leurs élèves. Dans un deuxième temps, des entretiens croisés, réunissant un professeur de mathématique et un professeur de physique doivent permettre d'affiner le premier panorama obtenu. Une analyse des chapitres concernés dans les manuels scolaires, définitions des concepts, activités et exercices proposés doit clore la phase exploratoire.

Une deuxième phase doit permettre d'interroger les pratiques réelles de classe selon deux points de vue :

- étude à priori, à travers l'analyse des protocoles de travaux pratiques et/ou des situations de mise en activité des élèves, proposés par les enseignants ;
- étude à posteriori, à travers l'analyse des comptes rendus de TP et des productions d'élèves (résolutions d'exercices, de problèmes...).

L'observation de quelques séances de classes doit compléter cette étude.

Phase exploratoire : premiers résultats

Nous présentons ici quelques éléments tangibles de la première partie exploratoire, nous avons élaboré deux questionnaires avec de nombreuses questions communes pour les enseignants de mathématique et de sciences physiques.

Le « dire » des professeurs

Les questionnaires sont intitulés « mesures, nombres, ordres de grandeurs en classe de seconde », la référence aux programmes (BO HS N°6, août 99) est clairement mentionnée. Le questionnaire pour les professeurs de physique porte sur la séquence « mesures et ordres de grandeurs », celui pour les professeurs de mathématique sur la séquence « calcul ». Les réponses pouvaient être anonymes. Les questions communes portent sur : les types d'activités et leur durée ; les enjeux de la séquence ; l'intérêt pour la suite de l'année ; la progression mise en place ; les connaissances mathématiques indispensables, et parmi elles, celles acquises au collège, mal maîtrisées et retravaillées spécifiquement. Une question supplémentaire ne concerne que les professeurs de mathématique, elle porte sur les situations de physique qu'ils utilisent éventuellement en cours de mathématique.

Corpus

Après diffusion, notre analyse porte sur 11 réponses en mathématique, dont 7 professeurs titulaires et 4 professeurs stagiaires et sur 17 réponses en physique, dont 10 professeurs titulaires et 7 professeurs stagiaires. Les questionnaires ont dans un premier temps été analysés par discipline, sous forme de tableaux récapitulatifs que nous ne pouvons bien entendu pas reproduire en ces 8 pages. Si l'ensemble des réponses a été anonymé, les titulaires (Tn) et les stagiaires (Sn) ont été clairement identifiés. La première question a donné lieu à un tableau chiffré des durées par type d'activité et par professeur. Dans les autres tableaux, les propos de chaque professeur ont été retranscrits in extenso, puis analysés et comparés sur la base de mots clés revenant majoritairement au sein de l'ensemble des propositions. Nous avons traité conjointement les questions 2 et 3 (enjeux et intérêt de la séquence) afin de faire émerger cohérences et divergences ainsi que les questions 5 et 6 (connaissances mathématiques acquises ou à retravailler).

Question 1

Quelle durée consacrez-vous à cette séquence ? Dans ce cadre, quelle part accordez-vous, aux cours, aux activités documentaires, aux activités expérimentales (physique), aux exercices et problèmes (mathématique) ?

Mathématique

On note tout d'abord une grande variété au niveau du temps consacré à cette séquence : Cela peut aller de 3h à 12h et même 15h si on inclut l'aide individualisée. Globalement les professeurs stagiaires y consacrent nettement plus de temps. Au niveau de la répartition « Cours / activités / exercices » un peu moins de variations en pourcentage mais on peut noter cependant une variation non négligeable sur la part activité – exercices allant de 50% à 80%. Si on combine les deux entrées, on voit que certains élèves seraient confrontés à 2h de travail

en activité de résolution de problème tandis que certains pourraient en avoir jusqu'à 10h. Ces variations montrent ainsi des conditions quantitatives très différentes sur l'enseignement au niveau de cette première séquence.

Physique

La première évidence concerne la très grande diversité dans les durées consacrées à cette séquence qui correspond à un chapitre clairement défini dans les programmes de 1999 : « de l'atome aux galaxies », cela varie de 2,5h à 12h consacrées au chapitre. Il convient de comparer ces données aux horaires préconisés par le document d'accompagnement des programmes de physique de la classe de seconde. Pour ce chapitre, quatre progressions sont proposées dont les durées varient entre 9h et 12,5h. Donc un nombre important de professeur de physique consacre à ce chapitre un temps très court, largement inférieur à ce qui a été envisagé par le groupe d'experts concepteurs des programmes. Si nous regardons la répartition de ces horaires entre les différents types d'activités : cours, activités documentaires et activités expérimentales, de nouvelles tendances apparaissent. On s'aperçoit en effet que titulaires et stagiaires consacrent en moyenne un temps très proche des recommandations officielles concernant les cours. Les activités documentaires sont présentes chez tous les professeurs interrogés mais avec des durées en général faibles chez les titulaires et plus proches des propositions des experts chez les stagiaires. En revanche, les activités expérimentales sont inexistantes chez cinq personnes interrogées (4 titulaires et 1 stagiaire) et d'une durée largement inférieure à ce qui est préconisé pour cinq autres (2 titulaires et 3 stagiaires). Au total, seuls 4 titulaires sur 10 et 3 stagiaires sur 7 respectent approximativement l'horaire à consacrer aux activités expérimentales. On peut donc faire l'hypothèse que ce qui est en cause relève de la conception d'ensemble de ce chapitre par les professeurs de physique : chapitre introductif de type plutôt informationnel ; simple approche de quelques outils mathématiques focalisée sur leur manipulation ; véritable entrée dans l'univers des activités scientifiques, dans toutes ses dimensions ?

Question 2 et 3

Quels sont d'après vous les principaux enjeux de cette séquence ? Quel est l'intérêt de cette séquence pour la suite des activités de l'année en physique ?

Mathématique

La différenciation valeur exacte - valeur approchée semble apparaître comme un des premiers enjeux des professeurs de seconde ainsi qu'une meilleure connaissance des nombres et du concept de nombre en relations avec les différents ensembles de nombres. Le bon usage de la calculatrice, de ses limites et une prise de recul par rapport aux résultats affichés semblent aussi des enjeux importants pour la plupart.

Physique

Les professeurs interrogés ont très majoritairement distingué de manière claire les 2 questions sur les enjeux de la séquence et l'intérêt pour la suite de l'année. Parmi les enjeux, il en apparaît deux essentiels. La notion d'ordres de grandeurs est citée 10 fois, alors que la notion d'échelle des longueurs dans l'univers qui lui est directement liée dans les programmes n'est curieusement citée que 3 fois. En revanche les puissances de 10 servant à exprimer les ordres de grandeurs sont elles citées 9 fois. Le deuxième enjeu majeur, cité 10 fois concerne l'expression correcte du résultat, soit d'une mesure soit d'un calcul, intégrant la notion de précision. Là encore la notion liée, du moins en physique, du nombre de chiffres significatifs n'est évoquée que 4 fois. Apparaît ensuite un enjeu moins directement lié aux mathématiques mais important en termes d'introduction au monde des sciences physiques : la présentation de l'univers, de l'infiniment petit à l'infiniment grand, évoqué par 7 des professeurs interrogés. Le dernier enjeu qui revient chez 5 des enseignants consultés concerne la question des unités (de longueur) des multiples et des sous multiples ainsi que des conversions. Il ressort donc clairement que l'articulation entre compétences en mathématique et compétences en physique

est au cœur des enjeux de cette séquence, pour la grande majorité des professeurs de physique. Les professeurs interrogés considèrent les outils mathématiques comme représentant l'essentiel de l'intérêt de la séquence pour la suite de leur enseignement tout au long de l'année. Sont ainsi cités : 7 fois la maîtrise des unités et des conversions ; 6 fois la définition du nombre de chiffres significatifs d'un résultat ; 5 fois la manipulation correcte des puissances de 10. Arrivé à ce stade de l'analyse, nous pouvons dire que la majorité des professeurs de physique espère que leurs élèves de seconde seront en mesure de réinvestir dans des situations variées des compétences d'ordre mathématique revues ou construites à l'occasion de cette séquence.

Question 4

Pouvez vous décrire rapidement la progression que vous mettez en place pour cette séquence ?

Mathématique

Les progressions de cette séquence, telles qu'elles apparaissent dans le questionnaire des enseignants de mathématiques, présentent un socle avec une assez grande similitude. Presque tous citent les différents systèmes de nombres N , Z , D , Q , R et indiquent un travail sur les notions de valeur exacte et valeurs approchées. Beaucoup font référence à l'arithmétique des entiers et, notamment les nombres premiers. Le lien avec la calculatrice n'est cité que par la moitié des professeurs, soit directement, soit à travers les notions d'arrondi ou de troncature. Le contenu est conforme au programme. Aucun de ces thèmes ne fait référence à la physique.

Physique

L'analyse des réponses pose la question de l'explicite et de l'implicite, du formulé et du non formulé. Il serait trop rapide de considérer que tel aspect non cité par un professeur n'est pas abordé au cours des activités qu'il mène en classe. Toutefois, nous partirons de l'hypothèse que, ce que chaque enseignant énonce de sa progression représente ce qu'il estime pouvoir annoncer comme le cœur de sa progression. Le non formulé représentant éventuellement des activités connexes moins fondamentales à ses yeux (dans le « dire », ce qui ne préjuge pas du « faire »). Alors que les programmes incitent fortement à démarrer la séquence par une activité empirique d'établissement d'une relation d'ordre sur les tailles d'un ensemble disparate d'objets de l'univers, seuls 8 professeurs l'annoncent comme point de départ de leur progression. Cette entrée dans le monde de la matière à différentes échelles, censée être le socle d'une vision physico-chimique du monde présenté aux élèves ne semble donc pas être primordiale pour la majorité des enseignants de physique chimie. Conjointement, les activités expérimentales, mettant en œuvre diverses techniques de mesurage ne sont citées que par 8 enseignants. Ce double constat pose la question de la présentation aux élèves d'un lien entre méthodes et objets mathématiques et activités d'investigation du réel. Seuls 8 professeurs citent les notions de précision des mesures et de détermination du nombre de chiffres significatifs d'un résultat. Le choix des unités n'est évoquée que par 7 professeurs et celles des conversions par une minorité de 4. En revanche, un point revient très majoritairement (15) sous les appellations « puissances de 10, ordres de grandeurs ou écriture scientifique ». Il semble bien représenter un enjeu essentiel et une difficulté majeure à leurs yeux. La notion, centrale dans les programmes, de la constitution d'une échelle des longueurs dans l'univers, sous la forme d'un axe étalonné en puissances de 10 est évoquée par 12 professeurs.

Question 5 et 6

A votre avis, quelles connaissances mathématiques interviennent dans cette séquence ? A votre avis, quelles connaissances mathématiques sont indispensables en physique ? Parmi ces connaissances (décrites en 5), d'après vous, quelles sont celles : acquises au collège par la majorité des élèves, peu ou mal maîtrisées, que vous retravaillez spécifiquement ?

Mathématique

Nous rentrons véritablement avec ce champ dans l'articulation avec l'enseignement de la physique. Les puissances de 10 (et dans une moindre mesure les puissances en général) constituent la notion largement citée comme indispensable en physique par la plupart des enseignants de mathématique. Viennent ensuite les notions valeur exacte et valeurs approchées d'un nombre, leur différenciation, l'ordre de grandeur et l'écriture scientifique. En fait, on retrouve ici toute la panoplie du calcul approché. Les enseignants de mathématique semblent considérer que tout ce cadre conceptuel et technique est important pour la physique, même si peu d'entre eux exemplifient ou argumentent leurs choix.

Physique

Au hit parade des notions mathématiques importantes, les puissances de 10 sont plébiscitées par 16 enseignants. Assez étrangement la notion d'échelle des longueurs n'y est jamais associée. Viennent immédiatement derrière tous les problèmes d'unités, de conversions, de multiples et de sous multiples, cités par 9 enseignants. L'usage raisonné de la calculatrice n'est évoqué que par un seul professeur. Les notions considérées comme mal maîtrisées par les élèves sont : les puissances de 10, (14 fois), les problèmes de conversions, (5 fois). A noter pour finir que jamais aucun professeur de physique n'évoque une éventuelle coordination avec le professeur de mathématique sur ces difficultés et qu'ils cherchent tous à les résoudre tant bien que mal dans le cadre de leurs cours.

Question 7

Utilisez-vous des situations de physique pour vos activités dans cette séquence ? Pouvez-vous donner quelques exemples ? D'après vous, ces exemples sont-ils étudiés en classe de physique en seconde ?

Mathématique

Sur l'échantillon des professeurs interrogés, une moitié introduit des situations physiques : ordre de grandeur de la masse d'un corps, de sa distance à la terre (planètes) ; distances entre planètes ; poids des planètes ; force de gravitation ; calcul de la masse d'un électron par la formule de Lorentz ; dimensions (et charges) d'un atome, électron, proton (puissances). On peut se demander quelles sont les raisons de ces choix : connaissance personnelle, propositions des manuels, possibilités que présentent les notions, par exemple présence de formules permettant certains calculs. Des formules comme celle de Lorentz présentent de nombreuses variables et autorisent diverses manipulations entre données connues et inconnues. Cette utilisation semble un prétexte au calcul exact ou approché par la manipulation de formules et variables, sans que le sens des grandeurs physiques et de leurs relations ne soit véritablement présent dans le travail en classe de mathématique. Cela ne remet pas en question notre hypothèse du cloisonnement des disciplines et de la responsabilité laissée à l'élève d'opérer seul l'articulation des connaissances. Par contre une autre moitié semble se refuser à l'emploi de telles situations ou bien n'en voit pas l'intérêt.

Eléments de discussion

Les résultats de cette première enquête aboutissent au constat d'une grande ignorance réciproque chez les professeurs, des programmes et des pratiques de l'autre discipline. Dans les cas extrêmes un rejet des cadres conceptuels de l'autre domaine peut même être clairement exprimé afin de « ne pas mélanger les genres ». Dans tous les cas, le cloisonnement entre les deux enseignements est la règle. En physique on tend à se « bricoler » des outils ad hoc tandis qu'en mathématique les situations de physique ne sont qu'un « habillage » sans intérêt en lui-même. Le deuxième point marquant réside dans les écarts importants que l'on constate sur les

durées consacrées à ces activités, de 3 à 12 heures dans les deux disciplines. Au-delà d'une lecture très « personnelle » des programmes par les professeurs, les raisons d'une telle disparité restent à clarifier. Si la majorité des enseignants des deux disciplines s'accordent sur l'importance comme point d'articulation entre les deux domaines des puissances de 10 et des ordres de grandeurs, il n'est pas certains que leurs modes d'approche favorisent les transferts de compétences pour les élèves. Enfin concernant la problématique du calcul approché, les deux catégories d'enseignants divergent fortement : valeur exacte / valeur approchée et utilisation de la calculatrice pour les professeurs de mathématique ; précision de la mesure et nombre de chiffres significatifs cohérent avec l'expérience pour les professeurs de physique. A ce stade, il apparaît que l'articulation mathématique / physique ne se fera pas sur des situations communes, mais sur des enjeux autour des notions d'incertitude, de calcul approché, d'ordres de grandeurs, de puissance de 10. C'est par une gestion raisonnée par les professeurs des usages respectifs de ces contenus mathématiques et scientifiques que les élèves pourront construire des relations entre les deux disciplines.

Références

BRENASIN Jacqueline, 1992, « La signification de la mesure dans une activité expérimentale », *BUP*, Paris, n°740

COELHO Suzana Maria, 1993, « *Contribution à l'étude didactique du mesurage en physique dans l'enseignement secondaire : description et analyse de l'activité intellectuelle et pratique des élèves et des enseignants* », Thèse de doctorat, Paris, Université Paris7, UF de didactique des disciplines.

JOURNEAUX Roger, SERE Marie Geneviève et WINTHER Jean, 1995, « La mesure en terminale scientifique », *BUP*, Paris, n°779.

KHANTINE-LANGLOIS Françoise, 2001, « Quelques réflexions à propos de l'ordre de grandeur », *BUP*, Paris, n°835.

LEVY-LEBLOND Jean Marc, 1996, « *Aux contraires. L'exercice de la pensée et la pratique de la science* », Paris, Gallimard.

MARTINAND Jean Louis, 1994, « Quels enseignements peut-on tirer des travaux dans la perspective du développement d curriculum ? Notes pour la recherche », in Equipe INRP/LIREST, *Nouveaux regard l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*, Paris, INRP, pp. 115-125.

MARUANI Alain, 1996, « La mesure : repères, problématiques et enjeux », *BUP*, Paris, n°787.

MOREAU René, 1977, « Exploitation d'une série de mesures », *BUP*, Paris, n°596.

VERGNAUD Gérard, 1987, « Les fonctions de l'action et de la symbolisation dans la formation des connaissances chez l'enfant », in Jean PIAGET, Pierre MOUNOUD et Jean Paul BRONCKART (Eds), *Psychologie*, Encyclopédie de la Pléiade, Paris, Gallimard, pp. 821-844.

Démarche de problématisation autour d'une préparation de cours sur les phases de la Lune

VILLERET Olivier, Maître de Conférences, IUFM Pays de la Loire, ANGERS, FRANCE

Introduction

Comme le dit Michel Fabre (Fabre 1999) « Dans nos sociétés complexes (...) le vocabulaire de la problématisation devient envahissant. Désormais, l'adaptation se pense dans le paradigme du problème. Il n'est pas étonnant que l'épistémologie contemporaine, comme d'ailleurs la psychologie cognitive ou la psychologie du travail fassent de la problématisation un objet privilégié d'étude ». A l'école, il y a une véritable injonction à problématiser. D'une part, les programmes et instructions incitent les enseignants à mettre en place des situations d'apprentissage permettant aux élèves de résoudre des problèmes voire de les poser et de les construire (situations-problèmes, débats scientifiques, TPE, IdD...). D'autre part, l'échec des modèles applicationnistes en formation d'enseignants et la montée en force des paradigmes de la pensée des enseignants (praticien réflexif...) obligent à considérer l'enseignant comme quelqu'un qui problématiser sa pratique. En formation initiale, des dispositifs comme l'analyse de pratique et le mémoire professionnel tentent de prendre en compte cette dimension. La question actuelle de la formation est de savoir comment aider les enseignants à problématiser leurs pratiques en vue d'emmener leurs élèves à problématiser. La recherche présentée dans cet article se centre sur un dispositif mis en place en formation initiale des enseignants de lycée-collège en Physique-Chimie.

L'année de préparation au CAPES Physique-Chimie (PLC1) comprend des enseignements à l'Université et des enseignements à l'IUFM (Groupe d'Intégration). Un des objectifs de ce Groupe d'Intégration est de préparer à la prise de fonction qui doit avoir lieu au mois de septembre suivant l'obtention du concours. Pour répondre à cet objectif on utilise une pédagogie faite d'études de cas et de mises en pratique sur le terrain. Dans cette étude, nous étudions un groupe de trois étudiants chargés de préparer un cours sur les phases de la Lune que l'un d'entre eux va devoir réaliser devant une classe la semaine suivant cette préparation. Nous nous proposons d'étudier ici en quoi cette activité de préparation de cours amène le groupe d'étudiants à entrer dans une démarche de problématisation.

Cadre théorique

Les démarches de traitement de problèmes, de problématisation, se développent dans le domaine des apprentissages scolaires et dans celui de la formation professionnelle. Des interrogations se font jour sur la spécificité de cette démarche de problématisation. Se pose alors la question des critères qui permettent de qualifier une démarche de problématisante. La problématisation, en formation d'enseignants se différencie-t-elle de la démarche réflexive proposée par Schön ? (Schön 1983), (Schön 1996). Il existe actuellement divers modèles théoriques connus pour la démarche de problématisation. Celle de John Dewey (Dewey 1993 [1938]) où il décrit les opérations intellectuelles de l'enquête, celle de Popper (Popper 1997) qui essaye de cerner les caractéristiques de la problématisation scientifique. Certains travaux s'effectuent dans le cadre d'une psychanalyse de la connaissance esquissée par Bachelard (Bachelard 1990 [1949]). Nous nous situerons pour cet article dans le cadre

théorique définit par le séminaire problématisation de l'IUFM des Pays de la Loire animé par Michel Fabre et Christian Orange (Fabre et Orange 1997), (Fabre et Orange 2001-2003).

Pour Michel Fabre la problématisation est un processus qui amène à déterminer la position d'un problème puis à le construire pour le résoudre. Un problème étant posé, le processus de problématisation conduit à distinguer deux dimensions : celle des données et celles des conditions de ce problème, sous un certain registre de pensée ou d'action, en vue d'établir des pistes de solution.

a) Les **conditions** du problème : ce sont les **nécessités** dont il faut absolument tenir compte dans la construction du problème pour qu'une solution soit possible. Les conditions ont à voir avec la « fermeture » du problème.

b) Les **données** du problème : ce sont les éléments que se donne le sujet pour construire son problème. Les données sont sélectionnées en fonction de leur pertinence à faire avancer le problème et leur adéquation aux conditions du problème. Les données ont à voir avec l'« ouverture » du problème car il y a toujours possibilité de prendre en compte ou non les données.

Les conditions et les données sont sélectionnées en fonction d'un but dans un contexte problématique.

Question de recherche

Préparer un cours en commun, voilà une activité intéressante pour des étudiants n'ayant jamais enseigné. Nous allons étudier dans cet article si cette tâche permet au groupe d'étudiants d'entrer dans une démarche de problématisation. C'est-à-dire si elle permet au groupe de mettre en évidence des conditions (des nécessités) qui ferment le problème et des données qui ouvrent le problème et permettent des choix. Nous analyserons ces deux dimensions de « conditions » et de « données » aux niveaux pédagogique, didactique, et aussi au niveau de ce qui se joue dans le groupe du point de vue communicationnel.

Méthodologie

Contexte général

L'activité comporte trois phases, une phase de production où chaque groupe « fabrique » une séance, une phase de réalisation de la séance et une phase d'analyse de pratique (réflexive) autour de ce qui a été fait.

Phase 1 : Les neuf étudiants de la préparation CAPES sont répartis en trois groupes de trois étudiants (libre choix par affinités) travaillant dans des salles différentes avec interdiction de communiquer. Les trois groupes travaillent sur le même sujet mais indépendamment. Chaque groupe désigne celui ou celle qui réalisera le cours la semaine suivante.

Phase 2 : Les trois élus réalisent ensuite leur séance successivement devant trois classes réelles pendant une matinée (au fond de salle se trouvent en position d'observateur le formateur, l'enseignant habituel de la classe et les huit autres étudiants).

Phase 3 : Analyse de pratique (de type didactique et pédagogique) avec le formateur, l'enseignant titulaire de la classe et les neuf étudiants. Retour réflexif sur la préparation et le cours, analyse des écarts entre le prévu et le réalisé, propositions d'améliorations...

On étudie plus spécialement dans cet article la première phase c'est-à-dire la préparation du cours. La consigne était la suivante : « La semaine prochaine, vous vous rendrez au Collège

Chevreul où vous ferez un cours de cinquante cinq minutes en classe de 4^{ème} sur le thème des « Phases de la Lune ». Vous disposez de trois heures pour préparer ce cours par groupes de trois (répartition à votre convenance). Les groupes travailleront sans interactions afin de présenter des choix éventuellement différents. Vous désignerez dans chaque groupe celui ou celle qui fera effectivement le cours ».

Dans le cas de cette préparation le formateur (qui est aussi l'auteur de l'article) ne peut répondre qu'à des questions générales sur la classe (nombre d'élèves, lieu du cours, contenus étudiés lors des derniers cours, contenus qui seront étudiés après ce cours). Il peut également apporter du matériel à la demande des étudiants (lampes électriques, maquette du système Soleil-Terre-Lune, boules de polystyrène etc.). Par contre il ne doit répondre à aucune question sur les contenus scientifiques ni donner son avis sur les choix didactiques et pédagogiques.

Un groupe est filmé en temps réel pendant sa préparation. Les trois étudiants sont repérés par les lettres A, B, C. Les échanges sont transcrits. Le corpus analysé contient 1530 prises de parole.

Résultats

Macrostructure de l'activité

Bonne communication dans le groupe, à la fois verbale (beaucoup de répliques faites de phrases courtes) et non verbale. On peut décomposer l'activité des étudiants en douze phases (durées proportionnelles aux prises de paroles sauf pour la phase 12 où les répliques sont plus longues puisque l'étudiant A fait un cours). Préparation de type spiralaire, on revient sans cesse sur les mêmes problèmes pour les rediscuter ou les compléter.

Phase 1 [000-066]	Le groupe se penche sur les livres, premier tour d'horizon, ils donnent leurs premières idées.
Phase 2 [067-175]	Le groupe se structure, désigne une secrétaire, début de structuration de la manipulation type « découverte » qui débutera le cours.
Phase 3 [176-286]	Essai de la manipulation en 3 dimensions. [176-234] avec une petite lampe, puis [240-286] avec rétroprojecteur.
Phase 4 [287-396]	Retour pour noter les conclusions de la manipulation, préparer l'avant (questions préliminaires) et l'après manipulation (cours).
Phase 5 [397-415]	Consultation de livres pour essayer de trouver d'autres idées.
Phase 6 [416- 540]	Idée de faire un tableau pour clore l'expérience. On revient sur tous les points que l'on restructure.
Phase 7 [541-631]	Préécriture définitive. A nouveau on revient sur les mêmes points.
Phase 8 [632-1235]	Ecriture définitive. Cette fois prise de décision quant à ce qu'il convient de faire.
Phase 9 [1237-1338]	Lien avec les exercices. Un cours sert aussi à résoudre des problèmes, quels types de problèmes ? Recours aux livres.
Phase 10 [1339-1378]	Choix de l'étudiant qui fera le cours.
Phase 11 [1379-1415]	Moment de détente du groupe
Phase 12 [1416-1525]	Répétition du cours, les autres étudiants jouant le rôle des élèves.

En analysant le corpus on repère la mise en évidence de conditions (nécessités, impossibilités) et de données à la fois du point de vue pédagogique, didactique, et de la gestion-communication.

Conditions pédagogiques

Savoir où l'on va

Les étudiants se rendent compte qu'il faut absolument posséder un plan structuré afin de savoir où l'on va même si pendant le cours il peut y avoir du changement. Ils proposent d'écrire explicitement ce qu'ils vont dire (les consignes par exemple...).

Avoir un discours clair et précis, linguistiquement correct

Ils prennent conscience que leur discours n'est pas forcément clair (si les pairs ne comprennent pas bien, comment les élèves vont-ils comprendre ?), que leur débit de parole n'est pas forcément adapté, que leurs dessins sont loin d'être explicatifs et que leur orthographe laisse à désirer.

Savoir gérer le groupe classe

Ils constatent qu'il va falloir s'adapter à ce qui se passe, rebondir sur les situations, motiver le groupe (« Que faire si la classe n'est pas active ? ») et aussi anticiper la durée de l'activité (avec l'idée qu'il faut prévoir plus d'activité au cas où on aurait fini très vite).

Rester cohérent avec le cours du titulaire de la classe

Ils prennent conscience que leur cours doit s'intégrer par rapport à ce qui a été fait avant et ce qui se fera après.

Données pédagogiques

Anticiper la gestion du groupe classe

Ils se rendent compte qu'on peut anticiper ce qui va se passer

- par la possibilité de choisir le nombre d'élèves impliqués dans les activités
- par la possibilité d'utiliser différents supports (chronophotographies, transparents),
- par l'utilisation ou non d'une pratique sociale de référence (celle du chercheur) en faisant utiliser un cahier de laboratoire pour motiver les élèves.

Ils découvrent qu'on peut imaginer la situation de classe, visualiser l'action à venir par la pensée. Qu'il y a là un moyen pour prévoir et faire des choix.

Utiliser la vie quotidienne

Ils découvrent qu'on peut être efficace en utilisant des exemples de la vie quotidienne pour faciliter la compréhension.

Conditions didactiques

Savoir où l'on va (objectifs, moyens)

Ils découvrent qu'il est important d'avoir un (des) objectif(s) bien précisé(s). Ils se rendent compte qu'il faut absolument définir qui fait quoi et à quel moment « Si tous font l'expérience ça va être le bazar ».

Résoudre les contraintes techniques

Ils se rendent compte qu'il faut bien spécifier le matériel des manipulations, savoir réaliser les conditions techniques du noir, régler les problèmes de visibilité, spécifier la place de chacun pour une bonne vision de la manipulation. Ils s'assurent que matériel utilisé sera utilisable le

jour J. Ils s'entraînent pour réaliser correctement les phases de la Lune (PL, DQ ...), réaliser les éclipses.

Prendre conscience de l'obstacle didactique que constituent les représentations

Ils se rendent compte de l'importance du travail sur les « représentations » (les leurs et celles des élèves). L'étudiant A pense qu'on ne peut pas voir la Lune en plein jour : « Elle nous dit qu'elle voit la Lune en plein jour (rires) », se pose des questions lorsqu'il voit sur un livre que « Si la Lune est parfois visible dans la journée pourquoi le Soleil n'est-il jamais visible la nuit ? »...

Il font émerger (sans les travailler cette fois) leurs propres représentations de ce qu'est un élève de 4^{ème} « C'est pas qui sont bêtes mais ... », « La révolution (de la Lune), 1789 voilà ce qu'ils vont te sortir ! », du rôle du prof : « Les élèves ne devraient pas savoir, s'ils savent déjà c'est pas drôle »).

Comblent ses lacunes au niveau des connaissances scientifiques exigibles en 4^{ème}

Prise de conscience (douloureuse) de leurs lacunes qui posent des problèmes dans les exercices « Déjà il faut qu'on comprenne la question ! ».

Non seulement ils ne savent pas mais en plus ils évacuent les problèmes avec des arguments pour le moins fallacieux (qui seront analysés dans la phase d'analyse de pratique) :

« On définit 4 phases principales... parce que c'est plus facile », « Tu leur dit c'est pour... être simple », « Ce sont les 4 plus importantes »... (pour qui ?).

Comme ils ne voient pas la différence entre durée de révolution de la Lune autour de la Terre et lunaison ils vont jusqu'à répondre « Les élèves en savent moins que nous, donc on peut dire n'importe quoi », « On va dire rotation en 28 jours... » ou bien ils déclarent que la question est hors sujet (pas au programme) « On fait pas les éclipses », « Ils ne vont pas aller jusque là, c'est quand même vachement compliqué », « Ils ne poseront pas la question », « Ils ont des difficultés à voir dans l'espace » (l'étudiant aussi c'est le problème). La bonne question est parfois posée « Est-ce que nous on a compris ? ».

Bien sûr ils se proposent de régler le problème : « On comblera nos lacunes à la maison avant de faire le cours », car « il faut être blindé », « on a intérêt à regarder », « y'en a toujours un pour demander pourquoi y'a pas une éclipse à chaque tour ».

Remarque : les étudiants savent quand même des choses. Ils sont capable de

- Dire des choses intéressantes et montrer des choses

Le problème de la face cachée n'en est pas un pour eux. Ils expliquent bien qu'on voit des phases parce que la Lune n'émet pas sa propre lumière. Ils montrent qu'à chaque heure d'une journée la phase de la Lune reste inchangée.

- Réfuter des idées

L'idée d'une lune (astre des nuits) géostationnaire émise par l'un d'eux est réfutée.

- Savoir jouer le rôle d'élève en répondant à côté.

Lorsque pendant le « cours simulé » ils sont en situation d'élèves, ils répondent astucieusement pour obliger leur camarade à réagir en prof. Par exemple à la question « Qu'est ce que c'est pour toi la Lune ? », ils répondent en sachant que c'est faux « Ben, la Lune c'est une étoile ».

Données didactiques

Possibilité de faire des choix didactiques

Comme pour le point de vue pédagogique, ils découvrent qu'ils sont maîtres de la structure du cours (nombre de questions, libellé, activités, exercices...). Au début leurs objectifs sont flous. Petit à petit ils précisent leurs objectifs « faut-il parler ou pas de la Lune ? », « faut-il parler de l'éclipse ? », la structure de leur cours devient plus réfléchie « quelle activité pour démarrer ? », « dans quel but ? », « qu'est ce qui sera fixe, qu'est ce qui bougera, doit-on faire bouger la Terre ou la fixer dans la manipulation ? » « la fixer ? Mais alors... que faire des élèves qui pensent que la Terre doit tourner (car elle tourne) », « peut-on bouger la tête quand on fait la Terre ? »...

Ils discutent le choix du niveau de détail, distinguent le fondamental de l'accessoire, « dans le livre, ils mettent en plus, l'absence d'atmosphère, la couleur noire de son ciel et la présence à la surface de nombreux cratères... qu'est ce qu'on met ? ». Ils peuvent choisir la durée des activités, utiliser les outils didactiques de leur choix « faire un tableau pour résumer l'expérience ».

Privilégier situation de recherche par rapport à l'écoute passive

Ils travaillent la question du cours magistral, pensent qu'il faut rendre l'élève acteur de son apprentissage « c'est eux qui doivent chercher et pas le prof », conviennent qu'il faut savoir accepter des réponses « divergentes » aux questions soit disant « ouvertes »...

Résoudre les problèmes didactiques dus aux contraintes des « modèles » choisis.

Comme par exemple celui du Soleil ponctuel avec petite lampe, celui de la sortie de la zone d'éclairement du rétroprojecteur, la difficulté de vision dans l'espace (phénomène en dimension 3 expliqué sur un cahier en dimension 2). Le fait également de ne pas utiliser un modèle matériel contraire à la réalité « que la taille de la Lune soit plus grosse que la Terre ne change rien au niveau des phases » « oui mais quand ils se souviendront du cours ils penseront que la Lune est plus grosse que la Terre ».

Utilisation des livres comme source d'idées

Dans les livres on découvre des activités intéressantes non prévue : « le calendrier » qui va à la fois permettre une reconnaissance de symboles et permettre des prévisions (NL suivante).

Remarque : Des problèmes n'ont pas été mis en évidence ou résolus d'une manière superficielle. Il sera nécessaire de les traiter lors de l'Analyse de Pratique.

- Choix du nombre de phases à étudier

On a là le problème didactique de la représentation discontinue d'un phénomène continu. Le choix du découpage doit être motivé et expliqué aux élèves. En fait ici ils ne savent pas ce qu'est une phase. « Pourquoi ne choisir que 4 positions ? », « Je choisis 6 phases ».

- Etude fine du cycle de la Lune

Ils ne pensent pas au sens de révolution de la Lune/ Terre. Ils vont dans le mauvais sens ce qui donne une erreur au niveau du cycle lunaire, ils évacuent alors le problème du premier et du dernier quartier. Aucun argument ne vient ici étayer le découpage du cycle en 4 semaines. L'aspect conventionnel de l'origine du cycle n'est pas étudié. Pourquoi le choix de l'origine du cycle en PQ ? Problème également autour de l'espacement des phases.

- Utilisation du tableau blanc et codage pour la face éclairée

Coder la face éclairée sera plus difficile si le tableau est vert.

Conditions dans la gestion du groupe

Autostructuration

La discussion en groupe a permis des échanges fructueux. Ils ont bien vu la nécessité d'autostructurer le groupe et d'avoir un secrétaire qui prend en note les avancées du groupe.

Développement d'une attitude de réflexivité

Par un regard critique sur son travail.

Données dans la gestion du groupe

On ne pense pas forcément pareil

Ils ont bien vu qu'on peut penser différemment (ils n'avaient pas toujours le même point de vue).

Limites du travail en commun.

Ils ont aussi touché du doigt les limites du travail en commun. « Echanger c'est bien, mais après chacun construira comme il veut ».

Quelques points seront à travailler dans l'analyse de pratique. Exemples : prises de décision après argumentation sur le type majoritaire « Vous êtes deux donc on le fait » et aussi des prises de décision après argumentation sur le type compromis « Alors on parlera de 4 phases... principales ».

Conclusion

On aura eu deux parties dans cette préparation de cours, une exploration libre des conditions et des données, puis une phase de décision pilotée par la solution (il faut choisir puisqu'il y a un cours à faire). Un grand nombre de points ont été mis en évidence par les étudiants. Beaucoup de conditions ont été mises en exergue et un grand nombre de données travaillées. L'ouverture-fermeture (par les données et les conditions) que nous avons pu observer sur ce corpus et qu'il faudrait analyser plus finement constitue un nœud possible de la problématisation. Lorsqu'un des étudiants dit « Bilan, on a rien écrit en fin de compte » cela peut vouloir dire que la discussion n'a pas abouti à cause des données travaillées qui ont ouvert le champ des possibles mais quand on lui répond « Oui mais maintenant on sait ce qu'on veut » on voit que grâce à ce travail de mise en évidence des conditions et des données, des choix ont été rendus possibles et qu'on sait à présent où l'on va. Le cours a été problématisé, c'est-à-dire qu'on s'est donné les moyens de faire des choix raisonnés (pas au sens scientifique du terme bien sûr mais au sens de ce qu'il convient éventuellement de faire). On notera tout de même que la problématisation est ici incomplète puisque des problèmes sont laissés de côté (ou évacués avec des motifs plus ou moins recevables). Mais ces manques seront traités plus tard (lors de la troisième phase). Le cours qui a suivi a été de bonne qualité et la trame générale définie durant ce travail a été suivie, il y a eu simplement des compléments scientifiques et l'étudiante qui l'a réalisé savait bien où elle allait. La phase d'analyse de pratique qui a suivi le cours a montré que les conditions et les données qui avaient été mises en évidence et discutées ont été conscientisées. On peut penser qu'il y a eu problématisation partielle (mais importante) du problème. Cette activité s'est révélée intéressante puisqu'elle a permis aux étudiants de bâtir une problématique, de les amener à penser des solutions raisonnées au geste professionnel fondamental qu'est la préparation d'un cours.

Bibliographie

- BACHELARD Gaston, 1970 (1949) *Le rationalisme appliqué*, Paris, PUF.
- DEWEY John, 1993 (1938), *Logique. La théorie de l'enquête*, Paris, PUF.
- FABRE Michel et ORANGE Christian, 1997, « Construction des problèmes et franchissement d'obstacles », *ASTER*, Paris, INRP, n°24 pp 37-57
- FABRE Michel, 1999 *Situations-problèmes et savoir scolaire*, Paris, PUF.
- FABRE Michel et ORANGE Christian (coord). *Actes du séminaire Problématisation de l'IUFM des Pays de la Loire, Nantes 2001-2002, et 2002-2003.*
- POPPER Karl, 1997, *Toute vie est résolution de problèmes, questions autour de la connaissance de la nature*, Arles, Actes sud.
- SCHÖN Donald A., 1983, *Le praticien réflexif. A la recherche du savoir caché dans l'agir professionnel*, Montréal, Les éditions logiques.
- SCHÖN Donald A., 1996, *Le tournant réflexif, Pratiques éducatives et étude de cas.* Montréal, Les éditions logiques.

Les difficultés des enseignants face à l'introduction de l'éducation sexuelle au Portugal : influences du sexe, de la religion, et de plusieurs autres paramètres

ANASTÁCIO Zélia, CARVALHO Graça et CLÉMENT Pierre IEC (Université du Minho, Portugal) et LIRDHIST (Université Lyon 1, France)

Contexte

L'introduction de l'éducation à la sexualité au Portugal se heurte à des difficultés persistantes. La loi n° 120/99 indique que la sexualité humaine et la promotion à la santé sexuelle doivent être traitées à partir de l'école primaire. Les connaissances scientifiques, les compétences, les valeurs et les attitudes à développer ont été définies par le Ministère de l'Education (CCPES et al, 2000).

Cependant la majorité des enseignants du Primaire n'applique pas ces directives, et ne traite toujours pas l'éducation sexuelle. Notre projet de recherche est d'analyser les conceptions des enseignants du Primaire pour identifier ce qui les empêche d'assumer ces enseignements malgré les nouveaux programmes et directives ministérielles.

Clément (1998) a proposé d'analyser les conceptions comme une interaction entre trois pôles : connaissances scientifiques (K), systèmes de valeurs (V) et pratiques sociales (P). Nous procéderons ainsi pour analyser les conceptions des enseignants portugais sur l'éducation sexuelle. Notre hypothèse est que l'acquisition, la maîtrise et la mobilisation de connaissances scientifiques, par les enseignants, dans ce domaine d'enseignement, sont en forte interaction avec leurs systèmes de valeurs (convictions religieuses, philosophiques, morales, ...), et leurs pratiques individuelles et sociales. Dans une première étape de notre recherche, ces interactions ont été mises en évidence à partir d'un questionnaire original conçu à cet effet.

Méthodologie

Cette première phase de notre recherche est actuellement terminée. Le présent travail ne peut, en deux pages, qu'en présenter une infime partie. Un long questionnaire exploratoire a été soumis à 486 enseignants de l'école primaire au Portugal de façon à croiser les informations relatives à leurs déclarations sur leurs pratiques et opinions sur l'éducation sexuelle (12 questions, d'une demie page chacune, relatives à ces variables dépendantes) avec leurs caractéristiques individuelles (13 questions). Ce questionnaire a été élaboré à partir de l'analyse d'incidents survenus dans des écoles portugaises sur la sexualité des enfants ; ainsi qu'à partir de débats sur ces thèmes lors d'actions de formation continue d'enseignants du primaire. Les réponses ont été analysées avec le logiciel SPSS. Le tableau 1 ne présente qu'une partie des résultats ainsi obtenus, à partir d'un test de Chi² croisant 10 des caractéristiques individuelles des enseignants avec leurs réponses à 4 des 12 questions :

- * Les difficultés qu'ils expriment dans les quatre domaines proposés par le programme pour l'éducation sexuelle ;
- * Les thèmes précis qui leur semblent les plus difficiles à introduire dans leurs enseignements ;
- * Leurs principales craintes relatives à la mise en oeuvre de l'éducation sexuelle ;
- * Leurs principaux appuis pour les soutenir dans la (non) mise en oeuvre de ces enseignements.

Résultats

Les résultats présentés (tableau 1) indiquent des différences statistiques nettes qui mériteraient d'être discutées plus longuement. Signalons quelques résultats particulièrement intéressants :

- * Pour deux des quatre domaines du programme d'éducation sexuelle, ainsi que pour certains thèmes précis liés au plaisir, les femmes expriment plus de difficultés que les hommes, et les personnes âgées plus que les jeunes.
- * Les difficultés dans les quatre domaines sont moins importantes chez les enseignants qui ont suivi des cours de formation continue, et leurs craintes sont un peu différentes de celles de leurs collègues.

* Les enseignants qui sont catholiques et qui se déclarent pratiquants font plus référence que les autres aux divers appuis dont ils pourraient bénéficier.

Discussion

Ces résultats montrent que, au Portugal, tous les enseignants du Primaire n'éprouvent pas les mêmes difficultés face à l'introduction de l'éducation sexuelle dans leurs enseignements. L'influence du sexe et celle de la religion sont d'autant plus importants que, au Portugal, la majorité des enseignants du Primaire sont des femmes qui pratiquent la religion catholique. L'influence positive du suivi de stages de formation continue est encourageante. De tels stages mériteraient d'être développés. La connaissance des conceptions et difficultés des enseignants aidera à mieux les cibler pour favoriser l'introduction de l'éducation sexuelle à l'école primaire au Portugal.

Tableau 1: Les items qui, dans 4 questions, diffèrent en fonction de paramètres contrôlés.

	Sx	Ag	Qa	Ts	Mt	Cfc	Cfe	Ae	Re	Pr
Difficultés face aux quatre domaines de l'E.S.										
- corps en croissance	*	*	*	ns	*	ns	**	*	ns	ns
- expressions de la sexualité	**	*	*	*	ns	*	***	ns	ns	ns
- relations interpersonnelles	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***	*	ns	ns
- santé sexuelle et reproductive	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	**	ns	ns
Difficultés vis-à-vis de thèmes spécifiques										
- anatomie des organes génitaux	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns
- localisation des organes de plaisir	*	ns	ns	ns	*	**	ns	ns	ns	ns
- sexualité dans une perspective reproductive	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	**	ns	ns
- sexualité dans une perspective de plaisir	*	ns	ns	ns	**	*	*	ns	ns	ns
- relations affectives	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	**	ns	ns
- relations érotiques	**	*	ns	*	**	ns	ns	*	ns	ns
- pornographie	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
- homosexualité	ns	*	ns	*	**	*	ns	**	ns	ns
- exhibitionnisme	ns	ns	ns	*	*	*	ns	**	ns	ns
- pédophilie	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns
- abus sexuels	ns	ns	ns	ns	ns	**	*	*	ns	ns
- coït	***	ns	ns	ns	*	*	*	**	ns	ns
- identité sexuelle	ns	*	ns	ns	*	**	ns	ns	ns	ns
- différences du corps	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*
Craintes										
- réactions des auxiliaires à l'école	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
- réactions du directeur de l'école	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
- réactions du président du groupe d'écoles	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
- réactions des parents des élèves	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
- réactions du prêtre	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
- conséquences juridiques	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
- mentalité des parents d'élèves	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*
- mentalité des élèves	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
- mentalité des personnes de la communauté	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
- le fait d'être un milieu conservatif	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
- n'être pas à l'aise	ns	ns	*	ns	ns	**	**	ns	**	**
Appuis										
- collègues	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	*
- directeur de l'école	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	*	*
- président du groupe d'écoles	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
- parents d'élèves	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
- auxiliaires à l'école	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	*
- prêtre	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
- psychologue scolaire	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	***	*
- assistante sociale	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	**	**
- justice	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
- direction régionale de l'éducation	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
- centre de zone éducative	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*

Légende : Sx = sexe; Ag = Age; Qa = Qualification académique; Ts = Temps de service; Mt = Milieu de travail; Cf = Cours de formation; Ae = Avoir des enfants; Re = Religion; Pr = Pratique religieuse. * = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p<0,001

Bibliographie

CCPES, DGS, APF, RNEPS, 2000, *Educação Sexual em Meio Escolar. Linhas Orientadoras*, Lisboa, Editorial do Ministério da Educação.
 CLÉMENT Pierre, 1998, La Biologie et sa Didactique "Dix Ans de Recherche", *Aster*, 27, pp.56-93.
 Lei nº 120/ 99 de 11 de Agosto, *Diário da República*, 1, Série nº 186, pp. 5232-5234.

L'enseignement de la reproduction et de la sexualité humaine dans les programmes du secondaire, de 1950 à nos jours

BERNARD Sandie et CLEMENT Pierre, LIRDHIST (Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique et en Histoire des Sciences et des Techniques), Equipe Didactique de la Biologie et de l'Environnement, Université Claude Bernard – Lyon 1, 69622 Villeurbanne Cedex, France

Les recherches en Didactique de la Biologie sur l'éducation à la sexualité humaine ont jusqu'ici surtout porté sur le SIDA et sur la nécessaire éducation préventive à ce propos (citons, parmi des centaines de travaux, Motta 1996, Marzin 2001, Saccadura 2002).

Notre projet est d'analyser la façon dont ce thème a été introduit dans l'enseignement secondaire en France, par une approche historique qui compare les programmes (et les textes ministériels officiels qui précèdent ces programmes) durant ces 50 dernières années.

En effet, durant ces années, les pratiques et valeurs liées à la sexualité ont profondément évolué. Comment, et avec quels délais, ces évolutions se sont-elles ou non inscrites dans les programmes du secondaire à l'occasion de ses réformes successives ?

Après un long silence des programmes et manuels, qui n'osaient aborder que la sexualité des plantes et de certains animaux, c'est avec un délai de 5 ans que les mouvements en faveur d'une libération sexuelle de mai 1968 ont finalement permis un renouvellement avec la circulaire de 1973 : « Information et éducation sexuelles ». « L'information sexuelle » correspond à des cours de biologie, tandis que « l'éducation sexuelle » a un caractère facultatif, en dehors des heures de cours. Cette arrivée de nouvelles connaissances, plus centrées sur la reproduction que sur la sexualité humaine, ne se fait cependant qu'en 1976 dans les programmes.

Ce « délai didactique » a été beaucoup plus rapide quant à l'apport de connaissances sur le SIDA. La publication par le New England Journal of Medicine d'études sur un syndrome d'immunodéficience acquise appelé AIDS date de 1981. La médiatisation en France se fait en 1985, date qui coïncide avec l'introduction immédiate du terme SIDA dans les programmes du lycée : sans doute pour une recherche d'efficacité en matière de prévention.

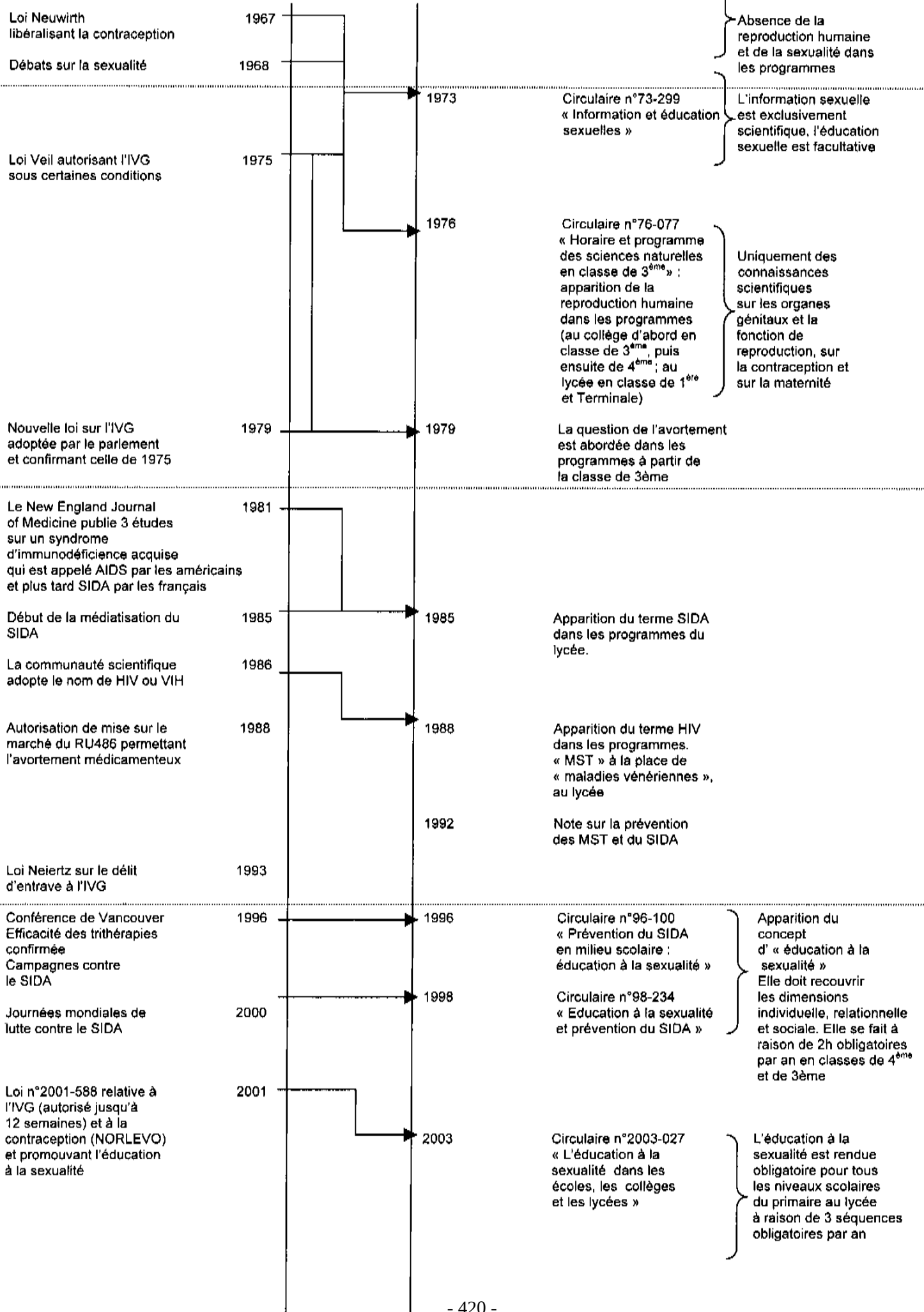
C'est à partir de 1996 qu'apparaît le concept d'« éducation à la sexualité » : au-delà de « l'information sexuelle », il semble impératif de développer une éducation à la responsabilité, dans une perspective de prévention des comportements à risque des élèves.

Toutes ces innovations des programmes restaient cependant limitées à un modèle bio-médical de la santé (curatif ou préventif). Les perspectives de l'OMS sur la promotion de la santé n'ont été introduites que plus récemment encore, avec une éducation à la sexualité moins restreinte à ses dimensions biologiques.

Des hypothèses peuvent être émises pour tenter d'expliquer la rapidité ou la lenteur de ces évolutions des programmes, dont les principales étapes sont résumées dans le tableau qui suit.

Principales innovations scientifiques, sociales et législatives

Principaux textes sur l'éducation à la sexualité dans le secondaire



Les conceptions des lycéens tunisiens sur la tectonique des plaques

BOUGHANMI Youssef, doctorant en didactique de la biologie-géologie, ISEFC, Tunis
ORANGE Denise, Maître de conférences, IUFM des Pays de la Loire, CREN, Université de Nantes

Introduction

En Tunisie, les sciences de la Terre ne sont enseignées au collège et au lycée qu'en 8^e année de base, 1^{re} année secondaire et 2^e année secondaire (élèves de 15 à 17 ans). En 2^e année secondaire, les objectifs spécifiques du programme officiel sont : l'élaboration d'un modèle de la structure du globe terrestre, la construction de la notion de plaques lithosphériques et l'explication de la genèse des chaînes de montagnes (subduction, collision). Comment les élèves qui ont suivi cet enseignement expliquent-ils des phénomènes géologiques tels que les séismes et les volcans ?

Question de recherche

Les élèves tunisiens mobilisent-ils une conception locale, centrale ou globale dans leurs explications des phénomènes géologiques ? Nous émettons l'hypothèse selon laquelle les conceptions des élèves pourraient constituer un obstacle à la mobilisation de la Théorie de la tectonique des plaques pour expliquer des phénomènes géologiques tels que les séismes et les volcans.

Méthodologie

Sept questions ont été posées à 61 élèves de 2^{ième} année secondaire, après l'enseignement de la Théorie de la tectonique des plaques. Dans le présent exposé, nous ne traitons que des trois questions suivantes :

Question 1 : A quoi sont dus les séismes ?

Question 2 : Pourquoi y a-t-il des volcans dans des régions du monde et pas dans d'autres ?

Question 3 : Quels phénomènes géologiques la tectonique des plaques permet-elle d'expliquer ?

Analyse des résultats

Question 1

Moins de la moitié des élèves (26/61) ont utilisé la Théorie de la tectonique des plaques pour expliquer l'origine des séismes. Certains élèves évoquent le rapprochement des plaques lithosphériques comme cause de déclenchement des séismes. D'autres parlent de la subduction, de la collision ou de l'expansion océanique comme phénomènes majeurs pouvant déclencher un séisme. Ces expressions renvoient à la Théorie de la tectonique des plaques, mais les élèves n'approfondissent pas leurs explications. Plus de la moitié des élèves (35/61) n'évoquent dans leur explication, ni la Théorie de la tectonique des plaques, ni aucune notion liée à cette théorie. Ils mobilisent une conception locale dans leurs réponses. Ils pensent que l'existence d'une cassure dans une roche ou l'existence du magma dans une région du monde peut déclencher un séisme. Il s'agit d'un raisonnement simple de type une cause (cassure) entraîne un effet (séisme).

Question 2

Seulement 19 élèves sur 61 ont recours à la tectonique des plaques pour expliquer la répartition des volcans à la surface du Globe. Certains d'entre eux font du rapprochement des plaques et de la dérive des continents des conditions explicatives de la répartition des volcans. 42/61 élèves lient la répartition des volcans à la présence des séismes ou du magma dans la région et/ou à la présence de montagnes volcaniques. Evoquer les séismes, pour expliquer la répartition des

volcans, est d'un certain intérêt vu que les deux phénomènes géologiques peuvent se trouver souvent dans la même région du monde. Cependant les deux phénomènes peuvent se produire indépendamment. Comme pour les séismes certains élèves mobilisent une conception locale pour expliquer la répartition et l'origine des volcans.

Question 3

A cette question, seulement 4 élèves sur 61 indiquent que la théorie mobiliste permet d'expliquer les séismes, alors que dans la 1^{re} question, ils étaient 21 à faire le lien. 5 élèves lient les volcans à des causes tectoniques. Ces écarts dans les réponses des élèves renvoient certainement à des explications plus complexes. Nous pensons à l'influence que peut induire le cloisonnement des chapitres lors de l'enseignement. A leur niveau les élèves de 2^e année secondaire (16/17 ans) devraient être capables d'établir les liens nécessaires.

Discussion

Jean-Louis Roubaud (2001), dans sa recherche sur les représentations d'étudiants de 1^{re} année IUFM (PE1), conclut que la Théorie de la tectonique des plaques n'est pas comprise comme une théorie liant les différents phénomènes géologiques. Il pense qu'il est difficile de faire des grandes classes de conceptions comme celles avancées par Christian Orange (1995) : conception locale, centrale et globale. Nous avons remarqué, pour notre part, que la majorité des élèves mobilise une conception locale. Christian Orange (1995) propose de faire évoluer les conceptions des apprenants par trois étapes séparées de périodes "*d'apprentissages normaux*" (Kuhn, 1972). Pour mieux adhérer à la conception globale, il nous semble plus aisé que les élèves du niveau étudié aient une conception centrale. Le référentiel avancé par Christian Orange (1995) est fort intéressant pour identifier et catégoriser les conceptions des élèves dans le but de les faire évoluer. Une formation des enseignants en histoire des sciences, en épistémologie et en didactique serait importante pour donner une signification aux conceptions mobilisées par les élèves.

Conclusion

La Théorie de la tectonique des plaques n'est pas, pour ces lycéens tunisiens (2^e année secondaire), un modèle unificateur pour expliquer un certain nombre de phénomènes géologiques, tels les séismes et volcans. Pour certains élèves les séismes sont dus à des cassures qui se produisent au niveau des roches. Pour d'autres la présence de chaleur dans une région du monde cause un volcan. Comme l'a montré Denise Orange (2003), il s'agit d'un raisonnement simple du type, une cause entraîne un effet. Nous avons remarqué que la notion du temps est quasi-absente dans les productions écrites des élèves. Or « le message géologique possède à la fois une dimension spatiale et une dimension temporelle » (Claude Allègre, 1983, p.322). Ne serait-il pas plus fructueux de travailler les notions de « temps » et « d'espace » et leur usage par les lycéens afin de comprendre certains phénomènes géologiques ?

Bibliographie

ALLEGRE Claude, 1983, "L'écume de la terre", Paris, Fayard.

BOUGHANMI Youssef, 2004, "Conceptions et registres mobilisés dans la modélisation en Sciences de la Terre : l'exemple de la tectonique des plaques par des élèves tunisiens de la 2^e année secondaire", Mémoire de DEA, ISEFC de Tunis.

ORANGE Christian, 1995, "Volcanisme et fonctionnement interne de la terre : repères didactique pour un enseignement de l'école élémentaire au lycée. Représentations et obstacles en géologie" Aster, INRP : Paris, n°20, pp.85-104.

ORANGE Denise, 2003, "Utilisations du temps et explications en sciences de la terre par les élèves de lycée : Etude dans quelques problèmes géologiques", Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de Nantes.

ROUBAUD Jean Louis, 2001, "La tectonique des plaques des en première année d'iufm : une théorie globale ?", actes des deuxième journées scientifiques de l'ARDIST, Carry.

Points de vue d'enseignants du supérieur sur les technologies

BOURAS Adel, Doctorant, ISET de Nabeul et ISEFC Tunis, Tunisie - ENFA Toulouse, France.

ALBE Virginie, Maître de conférences, ENFA, Toulouse, France.

Alors que les jeunes vivent aujourd'hui dans un monde que Fourez (2002) qualifie de « techno-nature », il semble que l'éducation actuelle ignore la nature des technologies et les liens entre sciences et technologies mais concerne avant tout des contenus déconnectés de tout contexte socio-historique et dont la finalité principale consiste à dévoiler les lois de la nature (Désautels et Larochelle, 1989), cette dernière apparaissant comme a-technologique. Des auteurs ont montré que les élèves méconnaissent les modes de construction des savoirs technologiques et leur articulation avec les savoirs scientifiques et les évolutions sociales (Gigling et al. 2000). Dans une étude sur les connaissances d'étudiants techniciens supérieurs des Instituts Supérieurs des Etudes Technologiques en Tunisie, nous avons montré que le sens technologique du concept de filtrage était méconnu par les étudiants alors que les mathématiques associées à l'étude des filtres électriques étaient maîtrisées (Bouras, 2002). Nous nous sommes alors interrogés sur l'enseignement des filtres électriques dans les ISET. En effet, comme le souligne Lebeaume (1999), en raison de leur jeunesse, les enseignements technologiques semblent souvent réalisés en référence aux enseignements scientifiques. De plus dans le cas des ISET, les enseignants technologues sont pour la plupart titulaires de maîtrise en sciences et n'ont eu que peu de contacts avec l'industrie. Dans ce contexte, la technologie peut être conçue comme le souligne Ginestie (1994) comme une modélisation des techniques. Nous avons alors tenté de cerner les points de vue épistémologiques d'enseignants technologues dans les ISET. De nombreux travaux ont concerné les points de vue d'enseignants (Guerra-Ramos et al. 2003 ; Haidar, 2002) et d'élèves sur les sciences (Abd-El-Khalick et al. 2000 ; Désautels et Larochelle, 1989). A notre connaissance, aucune étude n'a concerné les points de vue d'enseignants de technologies de l'enseignement supérieur. Des études ont suggéré que des individus peuvent développer une collection d'idées sur la nature des sciences et exprimer différents points de vue dans des contextes différents, plutôt qu'ils possèderaient un profil épistémologique permanent mobilisé dans toutes les situations (Driver et al. 1996). Collins et al. (2001) ont utilisé le terme « ideas-about-science » et Larochelle et Désautels (1987) ont développé l'idée d'« épistémologie en action ». Dans ce cadre, notre étude porte sur les « connaissances épistémologiques » d'enseignants du supérieur en considérant ce terme comme un raccourci pratique pour signifier les connaissances sur les technologies comme une pratique, sur la nature et le statut des savoirs scientifiques et technologiques, que des individus utilisent en différentes situations. Nous nous sommes centrés sur les questions de recherche suivantes : Quels sont les points de vue sur les technologies, d'enseignants dans un institut de formation de techniciens supérieurs ? Comment perçoivent-ils les relations entre sciences, technologies et sociétés ? Comment interviennent dans leurs discours sur les aspects sociaux et culturels ?

Différentes méthodologies ont été utilisées pour explorer les points de vue d'enseignants : tests écrits et questionnaires, observations de classe, entretiens, et à la fois observations de classe et entretiens. Les questionnaires sont critiqués parce qu'ils ne peuvent rendre compte du fait que les idées sur les sciences des enseignants sont des éléments construits en fonction des contextes et évoluent en fonction du temps (Koulaidis et Ogborn, 1989). Nous avons exploré à partir d'entretiens les points de vue de trois enseignants de génie électrique ayant accepté d'y participer. Les questions posées sont inspirées de Fourez (1994, p30 et p202) et portent sur les modes d'élaboration des savoirs technologiques, les relations entre sciences,

technologies et sociétés et l'idée de culture technologique. L'analyse des discours indique que les technologies sont essentiellement perçues par ces enseignants comme des sciences appliquées dont la finalité est le progrès et la consommation. Les liens que les enseignants expriment entre technologies, sciences et sociétés présentent des degrés de complexité divers. Toutefois, tous considèrent que les technologies influencent les individus et les sociétés sur le plan socio-économique. Les influences sociales, historiques et culturelles sur l'élaboration des technologies sont différemment estimées par les enseignants interrogés : d'aucune influence à une influence certaine et porteuse de valeurs. Or, comme le soulignent Fourez et al. (1997) « toute technologie procède de - et engendre- une organisation sociale ». Un enseignant développe un point de vue critique sur les développements et les finalités des technologies, notamment leur impact social. Il évoque l'importance de porter un jugement critique et éthique sur les technologies afin de favoriser le développement d'une culture technologique du citoyen à l'échelle individuelle et collective. Pour les autres enseignants interrogés, l'idée de culture technologique est mal définie.

Bibliographie

- ABD-EL-KHALICK Fouad et LEDERMAN Norman, 2000, "The influence of history of science courses on students' views of the nature of science", *Journal of Research in Science Teaching*, n°37, pp. 1057-1095.
- BOURAS Adel, 2002, *Enseignement de la technologie dans les ISET*, DEA de l'Université de Tunis.
- COLLINS Sue, OSBORNE Jonathan, RATCLIFFE Mary, MILLAR Robin et DUSCHL Richard, 2001, "What ideas-about-science should be taught in school science ? A Delphi study of the expert community", in : actes de la Conference de l'AERA (April 10-14 Seattle).
- DESAUTELS Jacques et LAROCHELLE Marie, 1989, *Qu'est-ce que le savoir scientifique ? Points de vue d'adolescente et d'adolescentes*. Ste-Foy, Les Presses de l'Université Laval.
- DRIVER Rosalind, LEACH John, MILLAR Robin et SCOTT Phil, 1996, *Young people's image of science*, Buckingham, Open University Press.
- FOUREZ Gérard, 1994, *Alphabétisation scientifique et technique, essai sur les finalités de l'enseignement des sciences*, Bruxelles, de Boeck.
- FOUREZ Gérard, ENGLEBERT-LECOMTE Véronique et MATHY Philippe, 1997, *Nos savoirs sur nos savoirs*, Bruxelles, De Boeck Université.
- GIGLING Max, GARNIER Catherine et MARINACCI Lynn, 2000, "La perception de la science et de la technologie chez des élèves du secondaire", in : actes du 68^{ème} congrès de l'Acfas (Montréal, 15-19 mai 2000).
- GINESTIE, Jacques, 1994, "L'enseignement de la technologie : perspectives et questions actuelles", in : actes du colloque Techno 1994 (Montpellier, IUFM).
- GUERRA-RAMOS Maria Teresa, LEACH John et RYDER Jim, 2003, "Ideas-about-science in Mexican primary school : curriculum requirements and teachers' thinking. Preliminary findings", in : actes de ESERA Conference (Noordwijkerhout, August 19-23, 2003).
- HAIDAR Abdullateef, 2002, "Emirates secondary school science teachers' perspectives on the nexus between modern science and arab culture", *International Journal of Science Education*, n° 24, pp. 611-626.
- KOULAUDIS Vasilis et OGBORN Jon, 1989, "Philosophy of science : an empirical study of teachers' views", *International Journal of Science Education*, n°11, pp. 173-184.
- LAROCHELLE Marie et DESAUTELS Jacques, 1987, *Qu'est-ce qu'une connaissance dite scientifique ? Les modèles spontanés d'adolescent-e-s*, Montréal, Cirade.
- LEBEAUME, Joël, 1999, *Perspectives curriculaires en éducation technologique*, Mémoire d'HDR, Université Paris Sud.

Quel est l'impact de l'enseignement de sciences de la vie et de la terre sur les savoirs, les comportements et les attitudes des élèves du secondaire marocain dans le domaine de la prévention du SIDA ?

KHZAMI Salah-eddine*, Ecole Normale Supérieure, Marrakech, Maroc.

*** Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique, Education et Formation (LIRDEF), Montpellier 2.**

Introduction

Au Maroc le thème du sida est traité dans les programmes de sciences de la vie et de la terre actuellement en vigueur à tous les niveaux scolaires : primaire, collège et lycée. L'un des objectifs cognitifs de cet enseignement est l'acquisition d'une information qui éclaire les divers aspects de la maladie du sida. Il s'agit aussi de faire prendre conscience à l'élève d'une stratégie de prévention contre le sida afin qu'il l'applique pleinement et librement à sa propre vie. Par ailleurs, la prévention du VIH permet de façon décisive de réinscrire concrètement une éducation à la citoyenneté qui incarne les valeurs de la lutte contre toutes les discriminations et toutes les formes de précarité, pour un égal accès de tous à la prévention, aux stratégies d'autoprotection et à la prise en charge.

Nous cherchons à évaluer les connaissances des élèves à propos de l'action du VIH sur le système immunitaire, des modes de contamination du virus et les symptômes de la maladie. Ceci afin de savoir si ces connaissances sont correctes et assez développées. Et dans ce cas, ont-elles favorisé des comportements de tolérance envers le malade du sida ou non ? Ont-elles permis une prise de conscience par rapport au risque sida ?

Nous avons effectué une enquête exploratoire par questionnaire composé de 5 questions (1 question ouverte et 4 questions fermées). Le questionnaire a été soumis à 398 élèves (dont 200 garçons et 198 filles) de la 2^{ème} année du baccalauréat (la terminale), section sciences expérimentales, à la fin de l'année scolaire, juste après le cours sur l'immunologie et avant l'examen du baccalauréat.

Résultats

Question 1 : Comment agit le VIH sur le système immunitaire ?

L'action du VIH sur le système immunitaire	Répondants (N : 398)	Garçons (N : 200)	Filles (N : 198)
Description des différentes étapes de l'infection	4%	5%	3%
Destruction des T4 par le VIH	62%	80%	75%
Réponses erronées	17%	10%	5%
Aucune explication	17%	5%	17%
Total	100%	100%	100%

Tableau n° 1 : Les réponses des élèves à la question sur le rapport entre VIH et système immunitaire.

Question 2 : Quels sont les symptômes de la maladie ?

Symptômes	Fréquence (nombre de fois cité)
Grande fatigue	148
Apparition de maladies opportunistes	141
Grippe aiguë	131
Gonflement chronique des ganglions lymphatiques :	124
Apparition d'infections au niveau de la peau et des muqueuses	105
Diarrhées graves	85
Amaigrissement	78
Fièvre	59
Cancer de la peau	30
Pus urétral, écoulement sanguin, apparition de douleur pendant que le malade urine	10

Tableau n° 2 : Les symptômes du sida énumérés par les élèves

Question 3 : Quels sont les différents modes de contamination par le VIH que vous connaissez ?

Modes de contamination	Répondants	Garçons	Filles
Les rapports sexuels, la transfusion sanguine, la transmission materno-fœtale, la contamination postnatale par l'allaitement	44%	34%	10%
Les relations sexuelles illégales (hors mariage), par le sang, la transmission materno-fœtale, la contamination post natale par l'allaitement	31.4%	25%	75%
L'utilisation d'instruments tranchants non stérilisés	15.4%	12%	3%
La salive	3.3%	21%	2%
La serviette, la cuillère du malade.	2.5%	4%	7%
Pas de réponse	3.4%	4%	3%
Total	100%	100%	100%

Tableau n°3 : Les réponses des élèves à la question sur les modes de contamination.

Question 4 : Considérant un malade atteint du sida : Que vous inspire-t-il ?

	Elèves	Garçons	Filles
De la pitié	51%	58%	44%
De la compassion, de la tristesse, du regret, de la douleur	15%	10%	6%
De la répugnance, des reproches	25%	17%	32%
Un sentiment normal	5%	10%	6
De la peur	4%	5%	12%
Total	100%	100%	100%

Tableau n°4 : Les réponses des élèves à la question 4.

Question 5 : Comment faites-vous pour vous protéger de la contamination ?

Les moyens de protection	Garçons	Filles
Rien	4%	2%
Le préservatif	30%	10%
La fidélité et le préservatif	34%	24%
La fidélité	12%	60%
L'abstinence	20%	4%
Total	100%	100%

Tableau n°5: Les moyens de protection utilisés par les élèves contre le sida.

Discussion

Les résultats de notre recherche mettent en évidence une conception guerrière qui apparaît dans les explications des élèves sur l'action du virus VIH sur le système immunitaire. Nous avons repéré un ensemble de termes faisant appel à l'image de la lutte, du combat : attaque, agression, envahir, tuer, citadelle...

Nous avons constaté qu'au niveau des symptômes les élèves en citent plusieurs dont certains sont effectivement ceux de l'infection par le virus du sida, alors que d'autres sont ceux d'une infection bénigne.

Par ailleurs nos résultats ont montré que les modes de contamination du VIH sont connus par la plupart des élèves.

Nous avons cependant noté que des élèves citent les relations sexuelles illégales (hors mariage) comme mode de transmission du virus VIH. La majorité des filles évoque ce type de relations comme mode de contamination.

Nous pouvons conclure à ce niveau que nos résultats semblent indiquer une connaissance assez approfondie des élèves en ce qui concerne le sida.

Qu'en est-il de leurs comportements et leurs attitudes ?

Les résultats relatifs à cette dimension ont montré que les attitudes envers les malades sont plutôt positives alors que certains élèves expriment la peur, la condamnation et l'intolérance.

Des élèves semblent juger le malade du sida par rapport à des normes sociales. Le concept de "faute" se retrouve surtout chez les filles qui jugent le malade du sida. Les conséquences de cette "faute" sont pour certains élèves une sorte de punition.

Pour un groupe d'élèves, il y a conscience de risque et prévention par préservatif. Derrière cette stratégie de prévention se profile une contradiction qui pose problème : l'islam ne légitime pas la sexualité pré conjugale, et par conséquent l'utilisation du préservatif est illicite, comment ces jeunes musulmans vivent-ils cette contradiction ?

La fidélité est choisie par les filles plus que les garçons comme moyen de prévention. Comment peut-on expliquer ce résultat ?

La fille semble vouloir prouver à la société qu'elle est digne de confiance, adaptée aux exigences de son milieu social, respectueuse des tabous. Elle veut prouver aussi sa chasteté et sa pureté.

Il semble que la majorité des élèves marocains (garçons et filles) ont, d'une part acquis des connaissances et d'autre part, sont conscients de la dangerosité de la maladie du sida qui dépend fortement de la probabilité pour un individu d'entrer en contact avec le virus et du mode de son transmission (voie sexuelle essentiellement).

Nous sommes arrivés à la conclusion que la connaissance semble indispensable dans l'orientation des choix individuels et collectifs. Nous pouvons dire que l'adoption par un individu d'attitudes et pratiques préventives saines et efficaces semble être reliée entre autres variables, au niveau de connaissances sur une maladie donnée. Seulement, l'approche didactique choisie par l'enseignant paraît déterminante. On ne peut donc pas se contenter d'apporter aux élèves des informations sur un thème (sida par exemple) ni de leur prescrire des comportements sains. On les aidera plutôt à se construire une opinion, à partir des messages ou des désirs souvent contradictoires. On leur permettra de découvrir ce qui influence leurs comportements : les expériences personnelles, les habitudes familiales et culturelles, la peur de la sanction, l'envie de faire comme les autres, le goût du risque, etc.).

Index des mots-clés

Les numéros renvoient à la première page de la contribution dans laquelle figure le mot clé.

Acide	273	Couleur	233
Acides et bases	277	Curriculum	217, 423
Actualisme	265	Débat	101
Analyse d'un texte scientifique	277	Débats	241
Analyse de l'image	277	Décisions	13
angle	249	Déficience acquise (sida)	425
Animal	109	Déficience humaine (vih)	425
Apprentissage	53, 69, 77, 167	Démarche expérimentale	117
Apprentissage extra	21	Démarche scientifique	125
Apprentissage scientifique	355	Développement d'outils	93
Arbres phylogénétiques	293	Développement durable	159
Argumentation	241	Didactique	175, 301, 385, 175
Astronomie	409	Didactique de la Biologie	419
Autoconfrontation croisée	101	Didactique des sciences	331
Base	273	Différenciation conceptuelle	151
Causalité	61	Difficulté scolaire	355
Champ magnétique	33	Discipline de service	183
Changement d'état	85	Dispersion	233
Chimie	117, 143, 277	Dispositif didactique	25
Chirurgie orthopédique	385	Données	409
Cinématique	205	École	377
Cm2	109	École élémentaire	249, 317
Cohérence	309	École primaire	225, 417
Compréhension	93	Écologie	175
Conception	21, 85, 167, 201, 233, 273, 309	Éducation	377
Conception centrale	421	Éducation à l'environnement	159
Conception de protocole	117	Éducation à la santé	417, 425
Conception des enseignants	417	Éducation à la sexualité	419
Conception globale	421	Éducation parentale	5
Conception locale	421	Éducation sexuelle	417
Conditions	409	EIAH	209, 385
Connaissances	45, 385	Électricité	151
Connaissances antérieures	143	Électrocinétique	339
Construire des nécessités	77	Électromagnétisme	33
Controverses	13	Électrotechnique	339
		Élèves	425
		Énergie	143

Enseignants	45	Le gène	201
Enseignement	69, 77, 205, 285, 377, 423	Lecture de schémas électriques	339
Enseignement de la physique	393	Liaison chimique chaleur	143
Enseignement de sciences de la vie et de la terre	425	Liaisons inter et intra moléculaires	85
Environnement	175	Lignées évolutives	293
Environnement scolaire	393	Logiciels de simulation	53
Épistémologie	13, 175, 285, 423	Lumière	309
Équilibre chimique	193	Lycée	265, 285
Espace de contraintes	101	Lycée professionnel	183
Étudiants	201	Lycéens	201, 241
Évaluation	93	Manuels scolaires	293
Évolution biologique	25	Mathématiques	249
Évolution buissonnante	293	Mécanique	93, 301
Évolution humaine	293	Médias	377
Expérimental	125	Mesures	401
Expérimentation	191	Milieu	125
Expertise	241	Modèle	301
Film	277	Modèle précurseur	355
Force	183	Modèle unificateur	421
Formation	331	Modèles	193, 273
Formation des enseignants	101	Musée scientifique	5, 53
Formation des maîtres	209	Neurosciences	241
Fossile	101, 225	Obstacles	191
Gabon	257	Obstacles aux apprentissages	417
Genre	417	Ombre et pénombre	21
Géologie	265, 317, 421	Ordinateur portable	69
Gestes	167	Ordres de grandeurs	401
Graphiques	205	Perception des sciences et des métiers scientifiques	347
Histoire	233, 309	Phases de la Lune	409
Histoire de l'éducation	419	Phénomènes sonores	355
Histoire des sciences	101, 175	Physique	45, 61, 77, 249, 285, 301
Hypermédia	277	Pratique de référence	217
Identité professionnelle	217	Pratiques des enseignants	69
Interaction parent-enfant	5	Prévention du sida	425
Interactions verbales	151	Primaire	159
Interdisciplinarité	249	Problématisation	77, 101, 265, 409
Interférences	309	Programmes d'enseignement	125
Invariant opératoire	33	Psychologie du développement	249
Jeunes enfants	53	Question socialement vive	377
Laboratoire distant	117	Questions socio	241
		Questions socio-scientifiques	347

Raisonnements	61	Vidéo	331
Raisonnements élèves	193	Virus d'immuno	425
Rapport au curriculum	423	Vivant	191
Rapport au savoir	217, 393	Volcans	421
Rapport au vivant	109		
Rapport aux savoirs	225, 423		
Rapport aux savoirs de la physique	393		
Rapport institutionnel	225, 285		
Rapport personnel	225, 285		
Réflexion épistémologique	25		
Réfraction	233		
Religion	417		
Représentations	317		
Représentations sociales	191		
Respiration	257		
Schème	33		
Sciences	209, 377, 423		
Sciences physiques	69, 183		
Scientifiques	241		
Scolaire	21		
Secondaire	233		
Segpa	355		
Séismes	421		
Simulation	301		
Situation de recherche	125		
Situation didactique	125		
Sixième	109		
Stagiaires	285		
Structure de la Terre	317		
Syndrome de l'immuno-déficience acquise	425		
Technologie	69, 183, 423		
Température	143		
Temps	265		
Théorie des champs conceptuels	33		
Tice	143		
Transdisciplinarité	401		
Transfert de compétences	401		
Transformation chimique	85, 193		
Transposition didactique	257, 293, 377, 419		
Université	309		

Sommaire

Communications

- De l'étude des interactions parents-enfants dans un contexte muséal scientifique
à une proposition d'intervention innovante auprès des parents
AILINCAI Rodica, WEIL-BARAIS Annick, CAILLOT Michel 5
- Rôle des points de vue épistémologiques d'élèves dans leurs prises de décision
sur une controverse socio-scientifique
ALBE Virginie 13
- L'apport d'une médiation interactive à l'apprentissage de la notion d'ombre
par des élèves Tunisiens
ALLANI Najoua 21
- Réflexions épistémologiques et statut scientifique de l'évolution biologique :
cas d'un enseignement en Tunisie
AROUA Saida, COQUIDÉ, Maryline, ABBES Salem 25
- Raisonnements des étudiants en électromagnétisme
BAGHERI-CROSSON Roja, VENTURINI Patrice, LEFÈVRE Richard 33
- Acquisition de $P = mg$ en classe de troisième.
Compréhension du phénomène physique et manipulation de la formule.
BALDY Elise 41
- Connaissances mises en œuvre par les enseignants de sciences physiques
pour la préparation d'un cours
BÉCU-ROBINAULT Karine 45
- Les logiciels de simulation dans les expositions scientifiques
pour jeunes enfants peuvent-ils être des outils de compréhension du réel ?
BERNARD François-Xavier, WEIL-BARAIS Annick, CAILLOT Michel 53
- Causalité et explications dans la physique enseignée et dans la pensée commune :
calculer et comprendre
BESSON Ugo 61
- Un ordinateur portable pour chaque élève : quelles influences sur les enseignements
scientifique et technologique au collège ?
BOILEVIN Jean-Marie, BRANDT-POMARES Pascale, RANUCCI Jean-François 69
- Apprentissage scientifique par problématisation en physique en terminale S
BRIAUD Philippe 77

- Liaisons inter et intra moléculaires et les transformations de la matière : le point de vue des élèves COKELEZ Ayteki, DUMON Alain	85
- Développement d'une banque d'exercices et de leur analyse pour l'enseignement des sciences au lycée COULAUD Marie	93
- Comment se construisent des problèmes au cours des débats « scientifiques » : étude comparée épistémologique et didactique à propos du concept de fossile. Place et rôle de l'enseignant dans la gestion des débats. CREPIN Patricia	101
- De l'école au collège, le rapport au vivant d'élèves de 10 - 11 ans DELL'ANGELO-SAUVAGE Michèle, COQUIDÉ Maryline	109
- Conception d'un protocole expérimental avec un logiciel dédié : apprentissages réalisés et difficultés rencontrées par des élèves de terminale S D'HAM Cédric, ERGUN Mustafa, GIRAULT Isabelle, MARZIN Patricia, SANCHEZ Éric	117
- La dimension expérimentale en mathématique : mythe ou réalité ? DIAS Thierry	125
- L'avancement de réaction en classe de première scientifique DUCAMP Christine, RABIER Alain	135
- L'articulation entre anciennes et nouvelles connaissances : énergie d'un système chimique enseigné au moyen d'un TICE ELBILANI Rania, LE MARÉCHAL Jean-François	143
- Argumentation et différenciation conceptuelle en sciences FILLON Pierre, PETERFALVI Brigitte	151
- Proposition d'une approche didactique pour une mise en perspective de l' « éducation à l'environnement pour un développement durable » à l'école primaire FORTIN Cécile	159
- Analyse vidéo de l'apprentissage des sciences par les élèves : l'apport des gestes et des éléments saillants de la situation. GIVRY Damien	167
- L'éducation relative à l'environnement au miroir de l'écologie HAMDI Ali	175
- Les sciences physiques dans leur fonction de service par rapport à la technologie au lycée professionnel JOUIN Béatrice	183
- Rapport à l'expérimentation sur le vivant animal et obstacles à l'apprentissage du concept « acte réflexe » KACEM Saïda, SIMMONEAUX Laurence	191

- Pourquoi une transformation chimique s'arrête-t-elle ? Les explications d'élèves de terminale S KERMEN Isabelle	193
- Le gène : conceptions d'élèves du lycée et d'étudiants Tunisiens et connaissances scientifiques actuelles KHATTECH Salouah, ORANGE Christian	201
- Les graphiques comme aide pour l'enseignement de la physique : cas de la cinématique dans l'enseignement secondaire tunisien LAMOUCHE CHEBBI Kaouthar	205
- Formations des maîtres en sciences : de la modélisation des situations didactiques comme fondement de la conception d'un Environnement informatique pour l'apprentissage humain (EIAH) adaptatif LAUBE Sylvain, GARLATTI Serge, LOISY Catherine, BENEY Michel, FOREST Dominique, KUSTER Yves	209
- L'enseignement des sciences physiques dans la série sciences et techniques de l'ingénieur spécialité arts appliqués LORILLOT Véronique, CAILLOT Michel	217
- Concept de fossile et rapport au(x) savoir (s) : une étude au cycle 3 de l'école primaire MAIRONE Corinne, DUPIN Jean-Jacques	225
- L'histoire des sciences comme outil de recherche et d'enseignement : exemple des couleurs obtenues par passage de la lumière à travers un prisme MAURINES Laurence	233
- Préfiguration d'un protocole de débat lycéen sur des questions socio-scientifiques relatives au développement des neurosciences MOLINATTI Grégoire	241
- Une approche interdisciplinaire du concept d'angle à l'école élémentaire à travers la notion de champ visuel : regards croisés didactico-psychologiques MUNIER Valérie, MERLE Hélène, DUSSEAU Jean-Michel, FAVRAT Jean-François, DEVICHI Claude, BALDY René, AUBERT Florence	249
- Enseignement de la respiration au lycée au Gabon, quels savoirs pour les professeurs ? NDONG Laurence, CAILLOT Michel	257
- Le principe de l'actualisme, pierre d'achoppement des lycéens confrontés à des problèmes de géologie historique ORANGE Denise	265
- Les acides et les bases : de la perception commune aux modèles scientifiques chez les élèves tunisiens OUERTATANI Latifa, AYADI TRABELSI Malika, DUMON Alain, SOUDANI Mohamed	273
- Influence de la nature du texte d'un film sur son utilisation par un apprenant PEKDAG Bülent, LE MARECHAL Jean-François	277

- L'élaboration du savoir en physique est-il un objet d'enseignement maltraité ? Analyse des relations entre rapport au savoir et pratiques déclarées chez des professeurs stagiaires en lycée PELISSIER Lionel, VENTURINI Patrice, TERRISSE André	285
- Introduction du concept d'évolution humaine buissonnante dans les manuels scolaires de sciences de la vie et de la Terre de terminale scientifique QUESSADA Marie-Pierre, CLÉMENT Pierre	293
- Simulation en mécanique au lycée : conception et analyse d'activités sur modèle RICHOUX Hélène, BEAUFILS Daniel	301
- La cohérence de la lumière et les interférences : histoire des idées et difficultés des étudiants ROMDHANE Intissar, MAURINES Laurence	309
- Représentations graphiques de la structure de la Terre par des élèves de l'école élémentaire : obstacles et perspectives ROUBAUD Jean-louis	317
- Les élèves en technologie : analyse de leurs propos sur ce curriculum SADJI Habib, LEBEAUME Joël	323
- Utiliser en formation des vidéos d'élèves : quels apports pour les enseignants ? SAINT-GEORGES Monique, RICHOUX Hélène	331
- Les résultats de la didactique sont-ils applicables aux élèves en formation professionnelle aux métiers de l'électricité ? SZCZYGIELSKI Christophe	339
- La perception des sciences par des lycéens est-elle modifiée par la présentation par des chercheurs de leurs travaux ? SIMONNEAUX Laurence, DUCAMP Christine, ALBE Virginie, SIMMONEAUX Jean, HIRTZLIN Nadine	347
- Adolescents en difficulté scolaire et apprentissage scientifique SIMONNET Etienne, WEIL-BARAIS Annick, CAILLOT Michel	355
- Points de vue d'élèves de seconde sur les modèles et la modélisation en sciences physiques TOIX Laurent	363
- Débat scientifique en classe, apprentissages scientifiques et problématisation à propos de la notion de fécondation humaine chez les élèves de 9 ^e année de base TRABELSI-NAJAH Nada	371
- Réforme 2000 des programmes de sciences de la Terre. Les questions d'environnement en classe de seconde : vers une éducation scientifique des citoyens ? URGELLI Benoît	377
- Conception d'un environnement informatique pour la formation des chirurgiens VADCARD Lucile	385

- Influence de quelques composantes de l'environnement scolaire sur le rapport entretenu par des élèves de seconde avec les savoirs de la physique VENTURINI Patrice	393
- Mesures, nombres et ordres de grandeurs en seconde VIGNES Michel, BRONNER Alain	401
- Démarche de problématisation autour d'une préparation de cours sur les phases de la Lune VILLERET Olivier	409

Posters

- Les difficultés des enseignants face à l'introduction de l'éducation sexuelle au Portugal : influences du sexe, de la religion, et de plusieurs autres paramètres ANASTACIO Zélia, CARVALHO Graça, CLEMENT Pierre	417
- L'enseignement de la reproduction et de la sexualité humaine dans les programmes du secondaire, de 1950 à nos jours BERNARD Sandie, CLEMENT Pierre	419
- Les conceptions des lycéens tunisiens sur la tectonique des plaques BOUGHANMI Youssef, ORANGE Denise	421
- Points de vue d'enseignants du supérieur sur les technologies BOURAS Adel, ALBE Virginie	423
- Quel est l'impact de l'enseignement de sciences de la vie et de la Terre sur les savoirs, les comportements et les attitudes des élèves du secondaire marocain dans le domaine de la prévention du SIDA ? KHZAMI Salaheddine	425

