



HAL
open science

Argumenter et mobiliser des connaissances scientifiques, par des lycéens libanais dans le cadre de débats sur des controverses socioscientifiques : c'est possible !

E. Rached, Pascale Kummer-Hannoun, Carla Khater, Virginie Albe

► To cite this version:

E. Rached, Pascale Kummer-Hannoun, Carla Khater, Virginie Albe. Argumenter et mobiliser des connaissances scientifiques, par des lycéens libanais dans le cadre de débats sur des controverses socioscientifiques : c'est possible!. 2012. hal-03967696

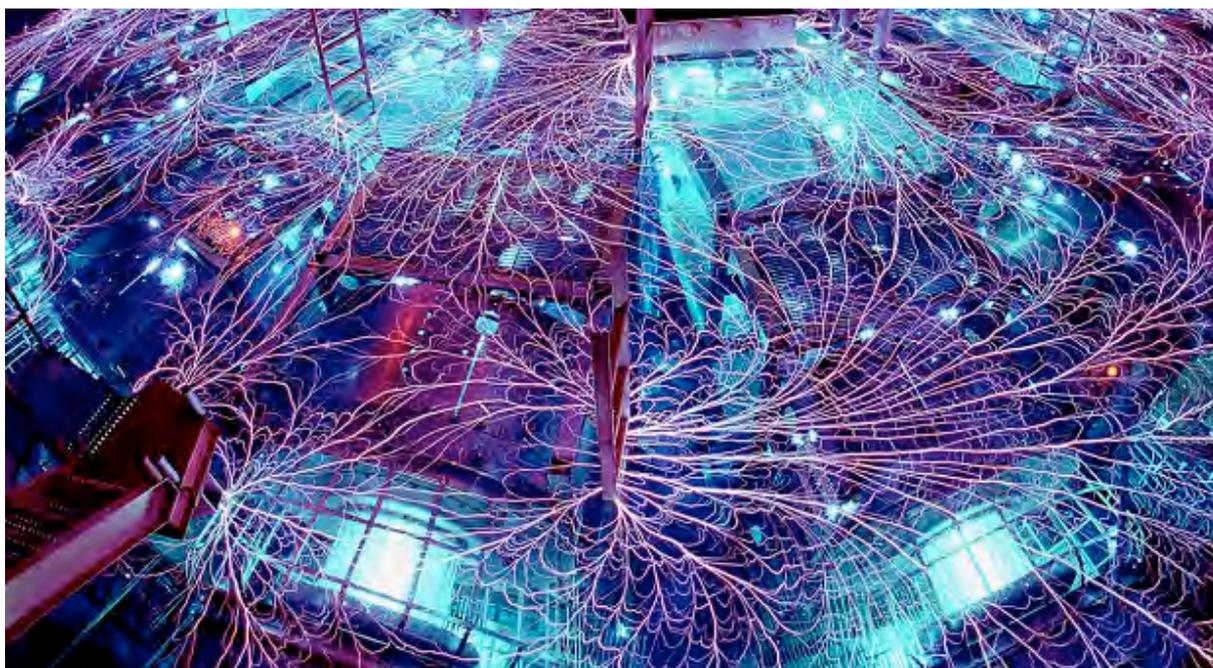
HAL Id: hal-03967696

<https://hal.science/hal-03967696v1>

Submitted on 13 Oct 2023

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

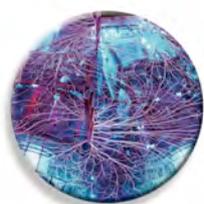
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



ACTES

des 7^e rencontres scientifiques de l'ARDiST

Bordeaux, les 14, 15 et 16 mars 2012



Sommaire des actes des 7^e journées scientifiques de l'ARDiST

Sommaire des actes des 7^e journées scientifiques de l'ARDiST	3
Introduction - Actes des 7^e journées scientifiques de l'ARDiST	7
<i>Patricia Schneeberger & Yann Lhoste, responsable du Comité d'organisation des 7^e journées scientifiques de l'ARDiST ; yann.lhoste@iufm-u.bordeaux4.fr</i>	
Composition du comité scientifique et du comité d'organisation des 7^e journées scientifiques de l'ARDiST	11

Communications

Analyse de simulations de la conduction électrique dans la pile électrochimique : modélisation de ce phénomène par les élèves.....	13
<i>Jean Paul Ayina Bouni, Olfa Soudani, Mohamed Soudani, Univ. de Lyon, S2HEP & Hippolyte Ntede Nga</i>	
Analyse épistémologique de la notion de biodiversité en sciences de la vie et de la Terre	21
<i>Marco Barroca-Paccard, Christian Orange & Denise Orange Ravachol</i>	
Réception et analyse d'une fiction contrefactuelle : une approche de la primauté de l'expérience à l'école maternelle	29
<i>Estelle Blanquet & Eric Picholle</i>	
Problématisation relative à la classification et l'évolution des végétaux chez des étudiants de master 2 se destinant à l'enseignement des SVT.....	37
<i>Robin Bosdeveix & Yann Lhoste</i>	
Intégration des TICE dans l'activité d'enseignement : enquête exploratoire dans le cadre de l'étude de la mise en œuvre de la démarche d'investigation.....	47
<i>Pascale Brandt-Pomares</i>	
Analyse didactique pragmatique et démarches d'investigation : l'action enseignante comme compromis	57
<i>Bernard Calmettes</i>	
Des cartographies de la controverse sur l'usage des pesticides : un préalable à la révélation d'indicateurs des points de vue d'enseignants en agronomie et d'élèves en bac pro CGEA et en BTS APV.....	67
<i>Nadia Cancian & Laurence Simonneaux</i>	
Modélisation praxéologique des pratiques enseignantes de mise en texte des savoirs en sciences de la Terre : cas d'une séquence ordinaire portant sur l'origine des matériaux volcaniques au collège.....	75
<i>Hanaà Chalak</i>	
Curriculum d'éducation scientifique et technologique et professionnalité des enseignants de l'école maternelle	83
<i>Frédéric Charles & Joël Lebeaume</i>	
Les conceptions sur l'Évolution d'enseignants de différentes confessions chrétiennes dans 16 pays.....	95
<i>Pierre Clément & Marie-Pierre Quessada</i>	

L’analogie, un mode de pensée en tension entre raison et obstacle à propos de fossiles d’ammonites	105
<i>Patricia Crépin-Obert</i>	
Reconstruire des connaissances professionnelles d’enseignants à partir de l’action en classe, une étude de cas en physique.	115
<i>David Cross</i>	
L’utilisation des logiciels de visualisation moléculaire : pour une mise en concordance entre monde scientifique et monde éducatif ?	123
<i>Stanislas Dorey & Maryline Coquidé</i>	
Enseignement du modèle de Lewis de la liaison de covalence en classe de seconde : pratiques déclarées des enseignants et difficultés des élèves.....	133
<i>Christine Ducamp & Alain Rabier</i>	
Connaissances et opinions des enseignants de l’Enseignement Agricole sur la chimie verte et le plan Ecophyto 2018.....	141
<i>Christine Ducamp & Laurence Simonneaux</i>	
Cohérence discursive du savoir enseigné : cas où l’enseignant utilise un dispositif TICE	149
<i>Suzane EL Hage, Christian Buty & Zeynab Badreddine</i>	
La liaison invariant(s) – concept comme stratégie didactique : le cas en Sciences physiques du concept d’élément chimique au lycée.....	159
<i>Pierre Fleury</i>	
La démarche d’investigation au collège en SVT : quels enjeux selon les enseignants ?.....	169
<i>Evelyne Fontaine & Michèle Dell’Angelo-Sauvage</i>	
Sur les traces des savoirs étudiés dans Mecagenius, un <i>Serious Game</i> en génie mécanique.....	177
<i>Michel Galaup & Catherine Lelardeux</i>	
Pratiques ordinaires d’écriture en sciences de la vie et de la Terre en Première et Terminale Scientifique	185
<i>Myriam Gaujoux</i>	
Travail collectif des professeurs et démarches d’investigation : une étude de cas dans l’enseignement de la chimie	195
<i>Rim Hammoud</i>	
Comparaison de séances mettant en jeu un savoir « traditionnel » et un savoir « controversé » : une étude de cas en Physique.....	203
<i>Nicolas Hervé & Patrice Venturini & Virginie Albe</i>	
Les connaissances des enseignants dans l’enseignement de la physique-chimie: une étude de cas en mécanique au collège	211
<i>Alain Jameau</i>	
Analyse des situations d’entrée à l’enseignement de la physique au collège en Côte d’Ivoire... ..	221
<i>Kouakou Innocent Koffi</i>	
Les intermédiaires graphiques dans l’activité de CAO en technologie au collège	231
<i>Patrice Laisney</i>	
Analyses complémentaires de l’évaluation de la culture scientifique dans le cadre de PISA pour les élèves français	241
<i>Florence Le Hebel, Pascale Montpied & Andrée Tiberghien</i>	
Analyser l’activité langagière d’élèves de CP-CE1 pour comprendre les fonctions de différents moments de la démarche d’investigation sur les apprentissages des élèves.....	251
<i>Yann Lhoste & Hélène Le Marquis</i>	

Étude exploratoire d'un scénario d'utilisation pour un environnement virtuel en 3D dans le cas de la relativité restreinte	261
<i>Clément Maisch, Cécile de Hosson & Isabelle Kermen</i>	
Représentations sémiotiques de Cram et de Newman en stéréochimie: quelques difficultés d'apprentissage au Bénin	271
<i>Destin Mangane & Isabelle Kermen</i>	
Mise en relation des difficultés des enseignants du premier et second degré et des caractéristiques des séquences d'investigation en sciences	281
<i>Corinne Marlot & Ludovic Morge</i>	
Analyse didactique des programmes français récents de SVT: cas de la plasticité et l'épigénèse cérébrales.....	289
<i>Lassaad Mouelhi & Mondher Abrougui</i>	
La réalisation d'une exposition traitant du déclin des abeilles : évolution de la prise en compte des controverses sous l'influence des acteurs.....	301
<i>Angélique Moreau, Catherine Bruguière & Éric Triquet</i>	
Participations à l'expertise collective d'une Question Environnementale Socialement Vive : apports et limites de divers dispositifs en formation d'enseignants de sciences	309
<i>Olivier Morin, Laurence Simonneaux & Jean Simonneaux</i>	
PCK des enseignants relatif au concept avancement chimique : Cas des enseignants de sciences physiques tunisiens de la classe quatrième année scientifique	315
<i>Ali Nouri & Chiraz Ben Kilani</i>	
Processus d'étayage d'un enseignant pour attaquer une conception erronée des élèves sur le concept de courant électrique dans un dispositif d'enseignement-apprentissage par problème au Bénin : Étude de cas en classe de seconde	323
<i>Eugène Oké & Philippe Briaud</i>	
Problématisation, argumentation et dynamique d'un débat en biologie à l'école : apport de deux analyses langagières complémentaires.....	331
<i>Christian Orange</i>	
Le couple problématique phénomène/événement en sciences de la vie et de la Terre : points de vue épistémologique et didactique.....	343
<i>Denise Orange-Ravachol</i>	
Les enseignants de technologie face aux démarches d'investigation prescrites dans le secondaire	353
<i>Martine Paindorge, Michèle Prieur & Réjane Monod-Ansaldi</i>	
L'apport de Vygotski à l'analyse de débats sur une Question Socialement Vive (QSV) relative aux nanotechnologies.....	361
<i>Nathalie Panissal & Emmanuelle Brossais</i>	
Les déterminants de l'action conjointe d'enseigner et d'apprendre la circulation du sang au CM2. Une analyse de cas en RAR.	371
<i>Éliane Pautal, Patrice Venturini & Patricia Schneeberger</i>	
Argumenter et mobiliser des connaissances scientifiques, par des lycéens libanais dans le cadre de débats sur des controverses socioscientifiques : c'est possible !	381
<i>Elie N. Rached, Pascale Hannoun, Carla Khater-Saouma & Virginie Albe</i>	
Modèles implicites dans les reformulations multimodales des enseignants	393
<i>Karine Bécu-Robinault & Kristine Lund</i>	
Analyse des difficultés rencontrées par des élèves de troisième pour mener une démarche d'investigation : cas d'un travail en SVT conduit dans le cadre du projet SCY	401
<i>Reinaldo Saavedra, Rachel Julien & Patricia Marzin</i>	

L'image des sciences au travers de l'histoire de la dioptrique dans l'enseignement secondaire tunisien : conceptions d'élèves de seconde après une séance innovante	413
<i>Mohamed Slaïmia & Laurence Maurines</i>	
Modéliser en physique à partir d'un album de fiction dans l'enseignement primaire	425
<i>Mohamed Soudani, Jean-Loup Héraud, Catherine Bruguiere & Éric Triquet</i>	
Démarche d'investigation, résistance des élèves et rupture du contrat didactique : difficultés d'enseignants débutants	433
<i>Eric Triquet & Jean-Claude Guillaud</i>	
Le protocole expérimental en TP. Un modèle pour étayer l'activité de conception d'une expérience.	441
<i>Claire Wajeman, Isabelle Girault, Cédric d'Ham & Muriel Ney</i>	
L'éducation à la sexualité (ES) dans les établissements privés et publics au Liban.....	449
<i>Assaad Yammine, Iman Khalil & Pierre Clément</i>	
The conceptual landscape: a new method to measure and to map the effect of instruction on secondary students' learning progress in evolution theory	457
<i>Jörg Zabel & Harald Gropengiesse</i>	

Posters

Équilibre et stabilité dans les systèmes commandés : difficultés d'élèves ingénieurs.....	467
<i>Michael Canu, Cécile de Hosson & Mauricio Duque</i>	
Didactique et représentations sociales de concepts scientifiques : le cas de l'« atome » chez des collégiens et lycéens.....	475
<i>Konstantinos Grivopoulos</i>	

Introduction - Actes des 7^e journées scientifiques de l'ARDiST

Patricia Schneeberger, responsable du Comité Scientifique des 7^e journées scientifiques de l'ARDiST ; patricia.schneeberger@jufm-u.bordeaux4.fr

Yann Lhoste, responsable du Comité d'organisation des 7^e journées scientifiques de l'ARDiST ; yann.lhoste@jufm-u.bordeaux4.fr

Au moment où le développement des sciences et des technologies représente un enjeu crucial pour nos sociétés (source de questions, d'angoisses, d'espoirs...), le contexte national (en lien avec les modifications des conditions de recrutement des enseignants) et international (comparaisons internationales des systèmes éducatifs nationaux : enquêtes PISA... ; diminution des effectifs d'étudiants dans les filières scientifiques et technologiques) met au devant la scène médiatique deux préoccupations :

- la baisse des performances des élèves en matière d'acculturation aux sciences et aux technologies ;
- les conditions et les stratégies d'enseignement et de diffusion des savoirs scientifiques et technologiques (y compris sur le champ de la formation).

La production de savoirs dans le champ de la didactique des sciences et des technologies est plus que jamais nécessaire pour conduire une réflexion approfondie sur ces questions à différentes échelles et mettre à la disposition de la société les éléments de savoirs qui doivent constituer des points d'appui à des discussions éclairées sur l'enseignement et la diffusion des savoirs scientifiques et technologiques que ce soit dans le cadre scolaire et universitaire (prescriptions institutionnelles, formation des enseignants...) ou hors l'école.

Les travaux, conduits par les chercheurs en didactique des sciences et des technologies qui vont se retrouver à Bordeaux pour les 7^e rencontres scientifiques de l'ARDiST du 14 au 16 mars 2012, engagent notre communauté scientifique dans cette perspective.

L'ARDiST a pour but de promouvoir la recherche portant tant sur l'enseignement disciplinaire que sur les enseignements non disciplinaires (éducation à la santé, à l'environnement et au développement durable...) et de contribuer à la diffusion des résultats de la recherche auprès des milieux scientifiques et professionnels concernés. L'ARDiST s'est également fixé comme mission de contribuer aux échanges entre les équipes et les laboratoires et de favoriser la formation à la recherche en didactique des sciences et des technologies. Les rencontres scientifiques de l'ARDiST, organisées tous les deux ans dans des lieux différents, représentent une manifestation importante qui participe à la reconnaissance de ce champ de recherche et fournit l'occasion de présenter des ouvertures à des didactiques d'autres disciplines. Après les rencontres organisées successivement à l'ENS de Cachan (1999), à Carry-le-Rouet avec l'IUFM d'Aix-Marseille (2001), à l'ENFA de Toulouse, (2003), à Lyon avec L'INRP (2005), à la Grande Motte avec l'IUFM de Montpellier (2007), à

Nantes avec l'IUFM des Pays de la Loire (2009), les septièmes rencontres de mars 2012 sont organisées à l'IUFM d'Aquitaine, Université Bordeaux 4.

Pour permettre aux chercheurs d'échanger sur les enjeux, les problématiques, les méthodes et les résultats des recherches, plusieurs modalités de travail ont été retenues :

- deux conférences plénières, confiées à des chercheurs invités :

Andrée Tiberghien (UMR ICAR, CNRS, Univ. Lyon 2, Ens. de Lyon – Ifè) :
L'évaluation internationale PISA : une source pour l'enseignement visant une culture scientifique ;

Maria Pilar Jiménez-Aleixandre (Université de Santiago de Compostel, Espagne) :
L'analyse des pratiques épistémiques et discursives en classe de sciences : argumentation et utilisation des preuves.

- quarante neuf communications sur des recherches (en cours ou récemment terminées) ou des synthèses de recherches ;
- un symposium regroupant sept communications de chercheurs d'équipes différentes travaillant autour de la problématique suivante : « *Les difficultés rencontrées par les enseignants de sciences et de technologie pour concevoir, réaliser et évaluer les séquences d'apprentissage par investigation* » ;
- un atelier de présentation de poster (recherches débutantes) ;
- une table ronde consacrée à l'évolution de la formation des enseignants et aux liens entre cette formation et la recherche et plus particulièrement la recherche en didactique des disciplines scientifiques et technologiques.

Le comité scientifique de ces septièmes rencontres a examiné (en double expertise) soixante-cinq propositions de communication produites par des chercheurs appartenant à des laboratoires différents (dont 19 laboratoires français). La plupart des communications émanent de France mais d'autres pays sont représentés : Allemagne, Cameroun, Colombie, Côte d'Ivoire, Grèce, Liban, Suède, Syrie, Tunisie. Après examen des expertises, le comité scientifique a finalement retenu quarante-neuf propositions¹ parmi lesquelles vingt-deux ont fait l'objet d'une réécriture importante. Chaque auteur, dont la communication a été retenue était en relation avec un des membres du comité scientifique afin de l'aider à prendre en compte les remarques des experts et, pour certains, à reprendre leur texte pour arriver à un article répondant aux normes scientifiques. Cette aide à l'écriture, qui est une des caractéristiques des rencontres scientifiques de l'ARDiST, s'appuie sur un travail de collaboration très utile pour les chercheurs débutants. Une séance de posters a également été prévue pour donner l'occasion à des doctorants en début de recherche de présenter leurs travaux et de bénéficier ainsi des remarques constructives de chercheurs plus expérimentés.

Outre les sept communications qui se rattachent au thème du symposium proposé par Ludovic Morge, plusieurs thèmes de recherche se dégagent de l'ensemble des communications retenues. Les communications ont été regroupées en différents ateliers (en tout 11 sessions) consacrés chacun à un thème différent

Dans les communications retenues, il apparaît que environ 40% des recherches prennent pour objet des éléments provenant soit des prescriptions institutionnelles (démarche d'investigation, l'utilisation des TICE, ...) ou des changements récents de curriculum (les éducations à, les liens entre les savoirs disciplinaires et les questions sociétales, ...). La problématique des pratiques enseignantes (en lien ou non avec les apprentissages des élèves)

¹ Taux acceptation : 75%

qui avait émergé lors du colloque de 2007 est encore représentée de façon significative. On retrouve également, en moindre nombre, des thèmes récurrents comme la modélisation, les apprentissages des élèves et quelques communications portant sur des approches épistémologique et/ou curriculaire.

Peu de recherches croisent des cadres théoriques différents si ce n'est quelques communications qui articulent didactique des sciences et des technologies (DST) et théorie de l'action conjointe en didactique ou DST et didactique professionnelle ou DST et didactique d'une autre discipline.

Il en résulte une grande diversité tant du point de vue des cadres théoriques convoqués que des méthodologies de recherche mises en œuvre. On peut relever quelques approches quantitatives à proprement parler, un nombre important d'études de cas portant sur des temporalités courtes et un ensemble de recherches qui s'appuient sur des études expérimentales sur de petits effectifs ou des approches qualitatives portant sur des corpus importants (à l'échelle de plusieurs semaines voire d'une année). Ces deux derniers types d'étude mériteraient d'être interrogés sur le plan méthodologique.

Nous tenons enfin à remercier les différents organismes qui nous ont aidés dans l'organisation de ce colloque :

- le Conseil Régional Aquitaine ;
- la ville de Bordeaux ;
- l'IUFM d'Aquitaine - université Bordeaux 4 ;
- l'université Bordeaux Ségalen – SFR Santé publique – Société – LACES, EA4140 ;
- l'Agence universitaire de la francophonie (AUF) ;

Composition du comité scientifique et du comité d'organisation des 7^e journées scientifiques de l'ARDiST

Comité scientifique

Responsable

Patricia Schneeberger, Univ. Bordeaux, IUFM d'Aquitaine, LACES, EA 4140

Membres

Joël Bisault, UMR STEF - IUFM Amiens Université Picardie Jules Verne

Catherine Bruguières, LEPS-LIRDHIS - IUFM de Lyon

Marjolaine Chatoney, UMR ADEF - Université de Provence

Cora Cohen Azria, CIREL - Université Lille3

Maryline Coquidé, UMR STEF - ENS Lyon IFE

Isabelle Girault, LIG - Université Joseph Fourier Grenoble 1

Yves Girault, MNHN/IRD Patrimoines Locaux - Museum d'Histoire Naturelle, Paris

Cécile de Hosson, LDAR - Université Paris Diderot

Yann Lhoste, Univ. Bordeaux, IUFM d'Aquitaine, LACES, EA 4140

Laurence Maurines, DIDASCO - Université Paris Sud

Grégoire Molinatti, LIRDEF - Université de Montpellier

Ludovic Morge, PAEDI - Université Blaise Pascal- Clermont-Ferrand

Guy Rumelhard, UMR - STEF

Jérôme Santini, ERTé DATIEF - Université de Nice-IUFM Célestin Freinet

Erica De Vries, LSE - Université Pierre-Mendès-France, Grenoble II

Karim Zaïd, CIREL - Université d'Artois IUFM

Comité d'organisation

Responsable

Yann Lhoste, Univ. Montesquieu Bordeaux 4, IUFM d'Aquitaine

Membres

Sami Abdelli, Univ. Montesquieu Bordeaux 4, IUFM d'Aquitaine

Stéphane Brunel, Univ. Montesquieu Bordeaux 4, IUFM d'Aquitaine

Franck Deroche- Gamonet, Univ. Montesquieu Bordeaux 4, IUFM d'Aquitaine

Camille Horsey, Univ. Montesquieu Bordeaux 4, IUFM d'Aquitaine

Caroline Kaspar, Univ. Montesquieu Bordeaux 4, IUFM d'Aquitaine

Jocelyne Liger-Martin, Univ. Montesquieu Bordeaux 4, IUFM d'Aquitaine

Eric Tattevin, Univ. Montesquieu Bordeaux 4, IUFM d'Aquitaine

Secrétariat

Claudia Boursier, Univ. Montesquieu Bordeaux 4, IUFM d'Aquitaine

Analyse de simulations de la conduction électrique dans la pile électrochimique : modélisation de ce phénomène par les élèves

Jean Paul Ayina Bouni, Univ. de Lyon, S2HEP ; ayinabounijp@yahoo.fr

Olf Soudani, Univ. de Lyon, S2HEP ; olfa.soudani@univ-lyon1.fr

Mohamed Soudani, Univ. de Lyon, S2HEP ; Mohamed.Soudani@univ-lyon1.fr

&

Hippolyte Ntede Nga, Univ. de Yaoundé 1, Ens Polytechnique de Yaoundé ; hntede@yahoo.com

Mots clés : Pile électrochimique, conduction électrique, modélisation, simulation.

Résumé : Notre étude porte sur la pertinence de la simulation dans la modélisation par les élèves de TS (17-18 ans, Fr) du fonctionnement des piles électrochimiques. Notre démarche associe d'une part une analyse didactique et épistémologique de deux simulations, chacune simulant le fonctionnement d'une pile avec un type particulier de jonction électrolytique qui lui confère un comportement expérimental très différent. D'autre part, des questionnaires et entretiens semi-directifs avec les élèves. Le visionnage de ces simulations semble permettre une évolution notable des conceptions d'élèves sur la circulation des porteurs de charges et le fonctionnement global de la pile. Les élèves préfèrent la simulation de la pile à pont salin non en référence aux connaissances scientifiques en jeu pour comprendre, mais à l'ergonomie dans la construction d'une simulation attractive et didactiquement efficace.

1. Position du problème

1.1. Contexte institutionnel et cadre théorique

Dans l'enseignement général des sciences physiques, il est d'usage de faire référence aux objets de l'environnement des élèves telles que les piles électrochimiques. C'est ainsi que dans la partie du programme de chimie de la classe de terminale scientifique (TS) (élève 17-18 ans) portant sur « *les piles, dispositifs mettant en jeu des transformations spontanées permettant de récupérer de l'énergie* », il est recommandé de « *Simuler l'évolution du comportement électrique d'une pile vers son état d'équilibre (décharge) en réalisant divers «états d'avancement» de l'évolution du système correspondant à des valeurs croissantes de l'avancement de la réaction mise en jeu* »². C'est dans ce cadre institutionnel que s'inscrit la présente étude.

Par ailleurs, le recours à la simulation se justifie théoriquement comme suit : L'approche des situations du monde, en l'occurrence les piles électrochimiques, pour permettre aux élèves de

² Extrait du BO N° 4 du 30 août 2001.

mieux les appréhender, s'appuie sur les principes suivants : Comprendre le fonctionnement d'une situation phénoménologique donnée, c'est le représenter par un modèle (Halbwachs, 1974). La modélisation est la construction d'un système de signes qui se substitue à la situation physique en question et permet de faire des opérations d'interprétation et de prévision (*ibid*). Par ailleurs, Peirce (1978), dans sa conception triadique du signe, met le signe iconique au cœur du travail scientifique de conceptualisation et de modélisation. La situation physique en électrochimie met en jeu deux phénomènes dynamiques interdépendants (conduction ohmique et conduction électrolytique) et pas seulement des aspects structuraux statiques. Ainsi, la simulation du phénomène apparaît comme étant le moyen le plus approprié pour « matérialiser » informatiquement le système de signes (le modèle) sous forme de signes iconiques mobiles. Elle assure ainsi une fonction d'imitation sémiotique (Schaeffer, 1999) du fonctionnement imaginé de la pile.

En simplifiant grossièrement, nous pouvons dire que la simulation (animation informatique) est un défilement par l'ordinateur de plusieurs images différentes du schéma (système de signes) de la pile prises les unes à la suite des autres à des instants différents, mais très proches, à la manière d'un dessin animé. Cela donne l'impression d'un déroulement continu dans le temps du fonctionnement de la pile. Cette fonction représentationnelle assure également (au moins lors des premiers pas de l'approche du phénomène), un renvoi en arrière vers son origine (la pile, l'original, imitée) (*ibid*). La question de la maîtrise des paramètres de la simulation ne se pose pas ici : Les élèves n'ont la possibilité de faire varier ni concentration, ni vitesse des porteurs de charges, ni résistance dans le circuit...). La simulation donne donc à voir un phénomène invisible à l'œil nu et contribue, de ce fait, à sa modélisation. Cette capacité à donner à voir réside dans le fait qu'elle opère une substitution sémiotique d'un système de signes (indiciaires et symboliques) (Peirce, 1978 ; Halbwachs (1974)) au dispositif expérimental, empirique.

Nous nous proposons d'analyser en quoi, dans quelle mesure, l'usage de la simulation d'une pile électrochimique contribue à la modélisation de cette dernière chez les élèves de terminales scientifiques.

1.2. Pile quotidienne versus pile « didactique »

Dans le cas de l'électrochimie, dont l'objet d'étude est principalement les piles électrochimiques, l'apprenant se retrouve face à un objet « didactique » (fig.2a, fig.2b)³ différent en tous points de vue de l'objet « quotidien » (fig.1). Ainsi, pour l'élève, le rapprochement entre les deux objets (didactique et quotidien) n'est pas immédiat.

En effet, pour un apparent se situant spontanément (et souvent) au niveau du registre des objets (perception immédiate), il n'y aurait aucun point commun entre ces deux objets :

- L'un, celui d'usage quotidien est compact, en un seul bloc (fort heureusement pour la commodité de son usage au quotidien), dont l'élève ignore non seulement la constitution, avant tout enseignement, mais aussi et surtout le principe de fonctionnement. Cet objet, bien pratique, reste donc une vraie « boîte noire », quelque part mystérieuse. De plus, il peut se présenter sous des formes géométriques, tailles et des capacités différentes, sans qu'il y ait forcément un rapport de proportionnalité entre ces trois caractéristiques (fig.1).

³ Photos des piles « objet didactique » montages réalisés lors de notre expérimentations



Figure 1. Images de piles d'usage courant

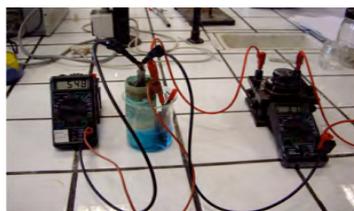


Figure 2a. Photos de la pile «objet didactique» en deux récipients emboîtés, dont celui de l'intérieur est poreux.

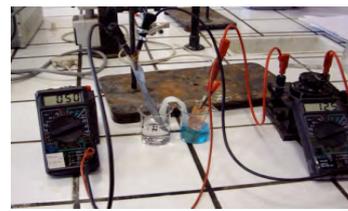


Figure 2b. Photos de piles «objet didactique» en deux béciers séparés par un pont salin

- L'autre objet dit didactique, se présente sous deux formes différentes : L'un est constitué de deux vases séparés soit par la porosité de l'un des deux vases qui serait alors placé dans l'autre, soit par une paroi poreuse, commune aux deux vases (fig.2a). L'autre est constitué de deux béciers séparés, un bécier contenant une solution (généralement solution d'ions métalliques (Mn^+) dans laquelle plonge une lame métallique (le métal M), l'autre bécier analogue au premier, mais avec un métal différent. Aux yeux d'un élève, les deux béciers sont reliés entre eux par une sorte de « tube » en U, monté à l'envers dans lequel il y a une troisième solution encore différentes des deux premières (et qui, étonnement, tiendrait dedans toute seule, sans couler dans les béciers) (fig.2b).

Chacune des deux piles (figure 2a, 2b) didactiques constitue une sorte de modèle analogique macroscopique des piles usuelles (figure 1) ; des imitations qui peuvent permettre d'en expliciter la constitution et d'en faciliter l'appréhension. A ce titre, la pile de la fig.2b joue aussi ce même rôle eu égard de la pile fig.2a, notamment en ce concerne l'électroneutralité. Malheureusement, elles ne sont pas toujours présentées ainsi. Comme nous l'expliquerons ci-dessous, de nombreux travaux s'intéressent à cet objet d'enseignement mettent en évidence des difficultés persistantes chez les élèves même après enseignement. Il y a donc besoin de pousser la modélisation au niveau microscopique pour comprendre le fonctionnement d'une pile.

1.3. Difficultés en électrochimie, et essais de remédiation

Les difficultés des élèves à comprendre les phénomènes électrochimiques d'une façon générale, et en particulier la conduction du courant électrique dans les piles électrochimique ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche partout dans le monde⁴. Plusieurs types d'approches ont été mises en œuvre pour essayer de comprendre les origines de ces difficultés et d'y remédier comme nous l'expliquerons ci-après.

Garnett et Treagust (1992a, 1992b) ont identifié des indicateurs sur les « raisonnements » des élèves en électrochimie en interviewant 32 élèves en fin de cycle du secondaire, après enseignement d'électrochimie. Ces derniers pensent que « *dans une solution, le courant électrique est dû à un flux d'électrons* », que « *Les électrons en solution sont attirés par des ions, et ils se déplacent alors en passant d'un ion à l'autre* ». Outre les problèmes qu'ils ont au sujet de la conduction électrique, certains élèves confondent les électrodes, leur polarité, ainsi que le nom des ions qui leur sont référés et le signe de la charge électrique portées par

⁴ Par exemple : De Posada, 1997 ; Closset, 1983 et 1989 ; Johsua et Dupin, 1993 ; Canal, 2006 et 2007 ; Bouraoui et Chatrette 1999 ; Goodstein, 1970 ; Soudani, 1998, Garnett & Treagust, 1992a, 1992b ; Ogude & Bradley, 1994 ; Al-Soudi, 1989 ; Sanger & Greenbowe 1997 et 2000 ; Schmidt, et al. 2003 et 2005...

ces derniers. Ces résultats ont été confirmés par Ogude et Bradley (1992, 1994) à travers un QCM auprès de 6900 élèves et étudiants. Ces recherches n'ont pas proposé de situations didactiques alternatives permettant de s'attaquer à ces conceptions pour les faire évoluer vers un état de connaissance satisfaisant du fonctionnement de la pile électrochimique.

S'appuyant sur les conceptions élaborées à travers les travaux précédents, Bouraoui et Chastrette (1999) ont conduit une étude dont l'objectif est de proposer des remédiations. Pour cela, ils ont mené une étude comparative en Tunisie et en France sur 83 élèves (16-18 ans) et étudiants (deuxième année universitaire en sciences) sur ces mêmes phénomènes. Ils ont exposé devant les élèves le montage expérimental d'une pile électrochimique en fonctionnement, accompagné de son schéma conventionnel, en faisant le lien entre les deux (une présentation rapide du modèle et de l'objet modélisé). Le résultat du questionnaire administré par la suite n'est pas probant, et ne présente pas une évolution notable des conceptions des élèves chez qui un usage abusif du « modèle électronique » de la conduction persiste.

La limitation de l'effet de cette approche sur les conceptions des élèves peut être prévisible. En effet, d'une part, le schéma fait déjà partie du modèle (un signe iconique du modèle), alors que celui-ci reste à construire par l'élève. Lui présenter un schéma tout fait, c'est lui postuler le modèle et l'inviter à faire « le grand écart », difficile à réaliser pour un apprenant souffrant des « handicaps » identifiés dans les recherches précitées ! D'autre part, le schéma est, par nature, figé ; sa construction ne rend pas toujours « visible » un phénomène dynamique, tel que le mouvement des porteurs de charges électriques dans la pile. Nous pensons, au contraire, qu'il serait plus pertinent de faire construire le schéma fonctionnel de la pile sur la base des expériences réalisées, faute de quoi schéma et montage expérimental resteraient deux mondes qui ne communiquent pas entre eux. La multiplicité, et multiplication, de registres constituent une variable didactique fondamentale dans l'élaboration des modèles, à condition que l'élève soit impliqué dans leur construction.

Sanger et Greenbowe (1997, 2000)⁵, dans une approche didactique de remédiation, ont opté pour une présentation du schéma figé d'une part, et une représentation dynamique sur informatique qu'ils appellent simulation d'autre part. Cette proposition s'est faite en deux temps : une première présentation de simulation sur la circulation des électrons dans les métaux, et une deuxième séquence sur la circulation des ions dans les solutions aqueuses d'ions métalliques et dans le pont salin. En procédant ainsi, ils pensaient que ce découpage dans le temps serait efficace en permettant aux apprenants de se focaliser sur un seul type de conduction électrique à la fois pour mieux le comprendre. En effet, les élèves semblent avoir mieux compris le phénomène de conduction dans chaque type de conducteur. Ce résultat, encourageant, montre concrètement que la simulation aide à la modélisation des phénomènes régissant le fonctionnement d'une pile électrochimique. Cependant, de leur aveu, ces auteurs ont été un peu surpris par le nombre élevé d'élèves encore indécis, et manifestant des difficultés à associer les deux parties dans un même circuit continu, et pensant que les électrons peuvent circuler librement en solution. S'ils soupçonnent et la qualité de la simulation, et le temps limité de sa présentation devant les apprenants, ils ne semblent pas remettre en cause la présentation « saucissonnée » de la simulation. Or, cela peut être une piste fort intéressante à explorer.

Par ailleurs, la piste d'une difficulté supplémentaire qui serait due à la jonction par pont salin (fig.2b) ne semble pas avoir été explorée dans ces travaux, c'est-à-dire qu'on ne s'est pas interrogé sur la pertinence d'une « maquette » de pile avec pont salin par rapport à une

⁵ Sanger et Greenbowe n'ont pas signalé une adresse web permettant de visionner les simulations en question.

maquette où la jonction est assurée par une paroi poreuse. C'est une autre question que nous proposons de traiter dans cette contribution.

S'inscrivant dans la continuité de ces travaux, notre approche pose deux hypothèses principales :

- la première concerne justement l'intérêt du caractère intégré de la simulation du fonctionnement des piles, par opposition à l'approche compartimentée utilisée par Sanger et Greenbowe (1997, 2000). Il conviendrait alors de sélectionner la simulation la plus appropriée à cet effet;
- la seconde concerne la comparaison de la pertinence didactique comparée entre les deux types de pile Daniell : celle à jonction par paroi poreuse et celle à jonction par pont salin. La deuxième pouvant apparaître comme modèle analogique exhibant davantage la circulation des porteurs de charge dans le pont salin.

2. Matériels et méthodes⁶

Nos matériels sont constitués de deux simulations du fonctionnement des piles, d'une part, et d'un questionnaire papier/crayon d'autre part. Nous avons pu répertorier, sur la toile, deux simulations qui remplissent les deux conditions suivantes : (1) l'une d'elle correspond à la pile didactique fig.2a. C'est une simulation proposée par un enseignant du secondaire, nommée Bruno HAAS⁷ (que nous avons désignée par le code SBH), et (2) l'autre correspond à la pile didactique fig.2b. C'est une simulation proposée par des enseignants universitaires sur le site de l'université en ligne⁸ (code : SUL).

Outre la correspondance aux deux piles didactiques, ces simulations remplissent les conditions d'acceptabilité et d'accessibilité développées par Tribollet et Fatet (2003)⁹ au sujet de l'analyse des ressources numériques (de vulgarisation ou didactique) disponibles sur la toile.

22 élèves de terminale scientifique (17-18 ans, Fr) choisis sur la base du volontariat, et ayant déjà suivi l'enseignement sur les piles relativement au programme officiel ont participé à l'expérimentation. Ils ont donc vu au moins une fois le dispositif Fig.2b. Nous leur avons soumis un questionnaire pré test, avant qu'ils ne commencent le visionnage des simulations. Puis, réparti en groupe de deux par poste d'expérimentation ils ont été invités à visionner librement sur ordinateur les simulations en question. Et enfin, nous leur avons soumis le même questionnaire que le prétest suivi d'un entretien semi-directif sur l'usage (leur préférence, impression) des deux simulations. Le questionnaire est un QCM formé de neuf questions, dont cinq portent sur la dynamique de la conduction : les types de porteurs de charges et leurs lieux de circulation. Les quatre autres questions sont axées sur les définitions; celles du courant électrique, de l'anode et de la cathode. Nous n'exposerons ici que le résultat obtenu selon les critères d'ordre conceptuels et de modélisation. En outre, nous verrons la manière dont les simulations ont été perçues par les élèves, ainsi que les effets sur leurs raisonnements.

⁶ Une partie de nos données sont puisées dans le travail de Ayina Bouni (2007).

⁷ Nous avons écrit à cet auteur qui nous a autorisés à citer son nom, son site web

http://www.ping.be/at_home/pile.htm

⁸ <http://www.uel-pcsm.education.fr/consultation/reference/chimie/solutaque/index.htm>.

⁹ <http://nte-serveur.univ-lyon1.fr/nte/logs/logntejanvier2002.htm>

<http://nte-serveur.univ-lyon1.fr/nte/mathsv/courant/evaluationoctobre2001.htm>

<http://nte-serveur.univ-lyon1.fr/nte/EMBRYON/tp2000/enquetebio.htm>

<http://www.educnet.education.fr/superieur/web-u.htm>

3. Quelques résultats et discussion

Conformément à notre corpus, nos résultats sont de deux natures : une analyse des simulations en question, d'une part, et une analyse des réponses des élèves d'autre part.

3.1. Analyse des simulations SBH et SUL

Si du point de vue chimique le phénomène électrochimique reste le même dans les deux types de piles (fig.2a, et fig.2b), la présence du pont salin semble mieux mettre en évidence les demi-piles en les séparant dans l'espace. Ceci pourrait, de ce point de vue, faciliter la compréhension (modélisation) du fonctionnement de la pile.

Nous avons par ailleurs comparé le fonctionnement réel de ces deux piles, et avons bien vérifié que la présence du pont salin présente un inconvénient expérimental majeur, à savoir l'énorme augmentation de la résistance interne de la pile (de l'ordre de 300 fois supérieure à celle d'une pile à jonction par paroi poreuse).

3.2. La simulation SBH

La SBH est élaborée en une seule séquence de 36 secondes. Elle démarre sur un schéma global non animé et offre (pour le chimiste ou étudiant averti) une vue d'ensemble de tous les signes iconiques représentatifs de la structure fonctionnelle de la pile (Fig.3). On voit également qu'il y a un seul électron mis en jeu qui circule à l'extérieur du conducteur ohmique, parallèlement à lui. Cela constitue une anomalie dans sa fonction imitative de cette conduction, non pas en ce qu'elle renvoie mal en arrière vers l'original imité, mais en ce qu'elle renvoie en avant vers ses effets (Schaeffer, 1999) sur la conceptualisation de l'électroneutralité. De plus, cette simulation n'est accompagnée d'aucun autre registre sémiotique qui pourrait aider l'élève à la suivre sans s'égarer de la conduction électrique.



Fig. 3 : Image de SBH



Fig. 4 : Image de SUL



Fig. 5 : Image de SUL, le fonctionnement étant plus avancé que celui de la fig.4

3.3. La simulation SUL

Cette simulation (fig. 4 et 5) comprend 55 séquences (dont 26 sont animées), en 3 minutes et 23 secondes, associant les observables macroscopiques, tels que l'augmentation de la masse de la plaque de cuivre, la diminution de celle de zinc, ou encore le changement couleur des solutions, et les aspects microscopiques (interprétations des premiers) pour lesquels elle est fondamentalement destinée.

On peut reprocher à cette simulation¹⁰ l'absence du caractère interactif à concevoir et à construire, qui permet à l'apprenant de s'exercer et de vérifier ses propres acquis.

¹⁰ En réalité ce n'est pas un reproche à la simulation en elle-même.

3.4. Analyse des réponses d'élèves

Le questionnaire utilisé ici repose sur des questions puisées dans les travaux précédemment cités.

Le pré-test donne, à quelques détails près, des résultats similaires aux résultats des travaux ici référencés. Par exemple, 40 % des étudiants manifestent des difficultés pour comprendre la circulation des électrons et des ions respectivement dans les conducteurs ohmiques et les conducteurs électrolytiques de la pile. Bien que les élèves aient déjà eu un enseignement sur cette partie de leur programme, ce résultat montre la prégnance des difficultés des élèves à identifier les porteurs de charges et leurs sites respectifs de circulation quand la pile débite. L'enseignement ne semble pas avoir ciblé ces difficultés pour les faire évoluer.

Le visionnage libre de la simulation a, semble-t-il, permis d'obtenir un résultat très encourageant au post test (mêmes questions que le prétest). En effet, 80 % des élèves de TS (mais pas 100% !) semblent avoir compris les sites de circulation des différents porteurs de charges électriques.

Interrogés sur la simulation qu'ils préfèrent, les élèves choisissent sans hésitation la simulation SBH. A la question « Pourquoi choisissez-vous la pile à pont salin ? », ils argumentent « qu'elle est plus claire, on voit mieux... l'autre [celle avec la paroi poreuse] est trop compliquée, Elle prend beaucoup de temps ». En effet, la SBH leur demande moins d'effort de concentration puisqu'elle dure moins d'une minute, en une seule séquence, d'autant plus qu'elle leur semble présenter exactement la même chose que la SUL, ce qui n'est pas le cas. Les élèves semblent faire abstraction de détails qui leur semblent secondaires, telles que les étapes de construction de la pile, et l'avancement de la réaction chimique sous-jacente, en référence aux transformations de la matière ainsi simulées. Par ailleurs on pourrait se demander si cette préférence ne serait pas influencée par la nature de l'enseignement qu'ils ont déjà reçu à ce sujet, et où la pile à jonction par pont salin est l'exemple didactique du programme.

4. Conclusion

Si la simulation joue un rôle important dans la modélisation des situations physiques, tel le fonctionnement de la pile électrochimique, il n'en reste pas moins que son statut au lycée est celui d'un moyen qui ne doit pas se confondre avec l'objectif (la modélisation). Les élèves ne participent pas à la construction de la simulation, ce qui est un travail intellectuel d'un tout autre genre qui pourrait permettre de comprendre ce qui distingue un modèle du réel de référence d'une part, et de la simulation elle-même d'autre part.

Les résultats du post test sont à prendre avec prudence, à relativiser notamment par rapport au pré test (qui a eu lieu après quelque temps de l'enseignement de ce thème) car le questionnaire a été administré juste après visionnage des simulations. Les élèves avaient donc encore la mémoire rafraîchie et imprégnée des images de simulation.

Mais l'intérêt de la simulation, et son effet sur l'évolution des conceptions des élèves reste indéniable. La préférence de la SBH pour les élèves laisse à penser qu'ils ne font pas seulement référence aux connaissances scientifiques en jeu pour répondre aux questions. Elle montre également l'importance des critères ergonomiques, et autres (le temps, le nombre de séquences, la netteté de l'image, la grandeur de l'image, la simplicité de l'image...) dans la construction d'une simulation didactiquement efficace et attractive.

Bibliographie

Ayina Bouni J.-P. (2007). « *Analyse de simulations de la conduction électrique dans les piles électrochimiques : Avantages, inconvénients et impact sur la modélisation de ce phénomène par les élèves* » Mémoire de M2R, Université C. Bernard Lyon1.

Bouraoui K. et Chastrette M. (1999). Conceptions d'élèves et étudiants français et tunisiens sur la conduction dans les piles électrochimiques. *Didaskalia*. n°14, p.39-60.

Deledal G. (1978). *Charles S. Peirce Ecrits sur le signe*. Paris : Seuil.

Garnett P.J. and Treagust D. F. (1992b). Conceptual difficulties experienced by senior high school students Electrochemical (galvanic) and electrolytic cells. *Journal of Research in Science Teaching*, n°29, p.1079-1099.

Halbwachs F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*. Delachaux et Niestlé, collection Zethos.

Sanger M.J. Greenbowe T.J. (2000). Addressing student misconceptions concerning electron flow in aqueous solutions with instruction including computer animations and conceptual change strategies. *International Journal of Science Education* Vol 22, n°5, p. 521-537.

Sanger M. J. and Greenbowe T.J. (1997). Students' Misconceptions in electrochemistry: Current Flow in Electrolyte Solutions and the Salt Bridge. *Journal of Chemical Education*. Vol 74, n°7, p.819-823.

Tribollet B. et Fatet J. (2003). Evaluation didactique de sites pédagogiques. *20e Congrès AIPU Sherbrooke*, 27-30 mai.

Analyse épistémologique de la notion de biodiversité en sciences de la vie et de la Terre

Marco Barroca-Paccard, Univ. de Nantes, IUFM des Pays de la Loire, CREN, EA 2661 ; marco.barroca-paccard@univ-nantes.fr

Christian Orange, Univ. de Nantes, IUFM des Pays de la Loire, CREN, EA 2661 ; christian.orange@univ-nantes.fr

&

Denise Orange Ravachol, Univ. de Nantes, IUFM des Pays de la Loire, CREN, EA 2661 ; denise.orange@univ-nantes.fr

Mots clés : SVT, second degré, biodiversité, développement durable, théorie de l'évolution.

Résumé : Le terme biodiversité est récent puisqu'il a été inventé en 1985 par Walter G. Rosen. Ce terme va rapidement se développer au sein des approches de développement durable. Depuis 2008, la biodiversité a fait son entrée dans les programmes de sciences de la vie et de la terre (SVT) de l'école primaire jusqu'au lycée. Pourtant les racines de ce concept sont anciennes et renvoient à l'apparition de la biologie comme discipline scientifique et à la théorie évolutive. Notre travail repose sur une analyse de nature épistémologique qui nous fournit des éléments de compréhension sur le traitement de la biodiversité au sein des SVT.

1. Introduction

L'expression « biodiversity » a été inventée par Walter G. Rosen en 1985 lors de la préparation du National Forum on Biological Diversity. En juin 1992, le sommet planétaire de Rio de Janeiro va faire de la biodiversité l'un des enjeux politiques majeurs sur la scène internationale. Au cours de ce travail, la diversité biologique est définie comme « *La variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes.* » (Article 2 de la Convention sur la diversité biologique, ONU, 1992). Depuis, le terme et le concept sont très utilisés parmi les biologistes, les journalistes et les dirigeants.

Au niveau du monde scolaire, la biodiversité était presque absente des programmes avant 2004. Mais depuis cette date, les programmes de sciences de la vie et de la terre (SVT) ont été réécrits du primaire jusqu'à la Terminale. Le mot biodiversité est largement présent dans ses programmes : deux fois pour le premier degré dans le programme de sciences (2008), 20 fois dans celui de SVT du Collège (2008), 15 fois dans celui de Seconde générale (2010) et 6 fois dans le programme de Terminale S (Octobre 2011).

On peut cependant se demander à quoi correspond ce mot biodiversité au sein des SVT. En effet, si ce terme est récent, la formidable diversité des organismes vivants a toujours constitué un sujet privilégié de réflexion en biologie. Des premières classifications scientifiques au développement actuel des études génétiques, l'organisation de la variabilité

naturelle reste une question fondamentale. L'arrivée récente du terme « biodiversité » semble signer un décalage des contenus scientifiques vers des préoccupations sociétales. Cette première impression demande toutefois confirmation et une analyse épistémologique et historique nous permettra de dégager des repères pour comprendre ce que recouvre la notion de biodiversité. Cette analyse nous permettra d'envisager des éléments de réflexion sur la manière dont la biodiversité s'intègre dans le curriculum français.

2. Biodiversités scientifiques

2.1. Biodiversité spécifique

La classification du vivant naît pleinement en tant que discipline scientifique grâce à Linné qui, en proposant la notion d'espèce, en construit une vision typologique. Cette typologie est d'origine divine et est immuable : « *Il y a autant d'espèces que de formes diverses produites dès le début par l'être infini* » (Linné, 1738 in Lecointre et al. 2009). Ainsi se construit une diversité biologique spécifique de type encyclopédique : il suffit d'identifier les types de chacune des espèces pour connaître la diversité biologique.

Bien que d'apparence simple, cette « biodiversité spécifique » pose problème notamment depuis les travaux de Terry Erwin qui traite un arbre de la forêt amazonienne avec un insecticide. Après avoir récupéré les arthropodes, il les trie et les classe (Erwin, 1982). Le nombre d'espèces atteint est prodigieux puisqu'un seul arbre contient à peu près autant d'espèces d'insectes que tout le continent nord-américain (Le Guyader, 2008). Avec cette expérience disparaît l'espoir d'un inventaire complet de la biodiversité. On perd même l'espoir de mesurer l'étendue du travail à effectuer car les estimations actuelles de la biodiversité varient de facteur 5 à 10 selon les auteurs.

2.2. Évolution et biodiversité

En parallèle de la difficulté pratique, la prise en compte de la dimension évolutive a aussi complexifié la situation. En effet, si Linné a réalisé une contribution majeure, sa vision typologique de l'espèce rejette toute variation hasardeuse au statut d'anecdote voir de monstruosité. Lamarck puis surtout Darwin et Wallace vont complètement remettre en cause cette vision en faisant de la diversité la base nécessaire à toute évolution (Gouyon, 2001). La vision statique vole en éclat pour une vision dynamique beaucoup plus complexe. La biodiversité devient ainsi l'équilibre entre le taux d'extinction des espèces et leur taux d'apparition par le processus de spéciation. Darwin explique longuement comment la diversité des espèces peut résulter de cet équilibre (1859/2008). La diversité intraspécifique qui était considérée comme anecdotique par Linné devient avec Darwin le véritable moteur de la diversité du vivant et c'est l'individu qui devient le niveau de base de la diversité. Cette approche individuelle est ensuite complétée par la variabilité génomique. Parallèlement se développe une vision plus écologique basée sur la diversité écosystémique, ou paysagère.

La vision évolutive modifie profondément la manière de classer le vivant. La classification devient phylogénique puis, avec le développement de la génétique, phylogénétique¹¹. Les

11 Le mot phylogénie a été construit en 1866 par Ernst Haeckel. Ainsi lors de la parution de « *L'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle ou la préservation des races favorisées dans la lutte pour la vie* » en 1859, Darwin parlait de «généalogie» comme nous parlerions aujourd'hui de «phylogénie».

ressemblances entre organisme prennent le statut d'indice d'une histoire évolutive commune. Cependant la première systématique évolutive va continuer à mêler la notion de groupes de descendance (appelés clades) avec la ressemblance générale des organismes qui résulte de la somme des modifications (appelée grade) (Tassy, 1986). Cette confusion va être critiquée par les tenants de la théorie « cladistique » de Hennig qui basent leur classification sur les seuls états dérivés des caractères. Dans le même temps naît une école phénétique utilisant des algorithmes de ressemblances qui se basent uniquement sur des critères de similitude. La phénétique considère tous les critères sur un pied d'égalité et se rapproche plus d'une classification que d'une phylogénie (*ibid.*). Le débat qui a fait rage entre ces deux écoles de classification phylogénétique au cours des années 1970 est aujourd'hui remplacé par un autre qui oppose les tenants de la méthode cladistique essentiellement morphologique à ceux qui utilisent une méthode probabiliste basée sur des séquençages génétiques et des modèles d'évolution moléculaire. Sans vouloir faire ici un historique de la classification phylogénétique, il apparaît que cette discipline recouvre depuis longtemps des méthodes et surtout des théories sous-jacentes très variées. Loin d'une classification phylogénétique unitaire, la situation actuelle est toujours celle d'un domaine en construction.

3. La notion de biodiversité au-delà de la biologie

En biologie, la biodiversité est avant tout la diversité du vivant. Mais la biodiversité est une notion qui dépasse le champ de la biologie. La biodiversité renvoie largement à l'idée de nature et prend ainsi une dimension particulière qui va connaître un développement important avec l'apparition des mouvements de protection de la nature (Cormier-Salem & Roussel, 2000; Blandin, 2010).

3.1. Biodiversité et protection de la nature

Si la protection de la nature a des racines anciennes, comme en témoigne par exemple la création en 1913 de l' « office international pour la protection de la nature », c'est au cours des années 1950-1960 qu'elle va prendre une ampleur très importante. Ce développement va conduire les thèses conservacionnistes à se développer rapidement comme en atteste la transformation en 1956 de l' « Union Internationale de Protection de la Nature » (UIPN) en « Union Internationale de Conservation de la Nature » (UICN). La conservation va largement s'appuyer sur une vision de la nature comme un patrimoine. Ainsi la création des parcs naturels régionaux français en 1967 parle de la sauvegarde du « *patrimoine naturel* » (Décret n°67-158 du 1er mars 1967). Cette vision patrimoniale dépasse le cadre de la protection de la diversité biologique et nécessite d'intégrer les enjeux sociaux, économiques, juridiques et politiques pour déterminer ce qui est patrimonial et ce qui ne l'est pas. Les sociétés humaines deviennent partie prenante car la vision patrimoniale nécessite qu'une instance scientifique, administrative ou collective lui attribue une valeur (Cormier-Salem & Roussel, 2000). Dès 1971, l'UNESCO lance le programme appelé *Man and Biosphere* (MAB) pour étudier les rapports entre l'Homme et la Nature et intégrer les activités humaines dans les actions de conservation.

Cette vision patrimoniale va se généraliser au début des années 1980 par la prise de conscience de l'ampleur des dégradations environnementales et par la mobilisation du grand public autour de la protection la forêt tropicale ou de quelques espèces emblématiques (Girault & Alpe, 2011). L'UICN et le « Programme des Nations Unies pour l'environnement » (PNUE) proposent une stratégie mondiale de la conservation en 1980.

Dans ce texte, la nature devient un patrimoine mondial qu'il convient de protéger de l'action de l'Homme. On passe ainsi à une vision planétaire de la protection de la diversité biologique.

Dans le même temps commencent à se développer les biotechnologies. La diversité génétique devient source d'intérêt scientifique et économique où « [...] l'exigence de conservation s'accorde avec l'exigence d'appropriation » (Aubertin, 2000, p.85). Les pratiques d'utilisation des ressources génétiques par certaines entreprises vont générer des tensions comme en témoigne l'apparition du terme de « biopiraterie ».

A la fin des années 1980, les mesures de conservation se retrouvent au cœur d'un enchevêtrement de phénomènes écologiques complexes et d'enjeux économiques sociaux et juridiques. C'est dans ce contexte qu'est créée, suite aux travaux de la commission Brundtland, la notion de développement durable et que naît la biodiversité.

3.2. Biodiversité et développement durable

Le mot « biodiversité », bien que créé en 1985, naît réellement sur la scène internationale lors du sommet planétaire de Rio de Janeiro en juin 1992. Au début, ce terme est plus utilisé dans le débat politique que scientifique mais il va s'intégrer au monde scientifique assez rapidement (Ghilarov, 1996).

Il serait faux de croire que le mot biodiversité est un simple toilettage sémantique, ce changement de vocabulaire est fondamental : « (...) il s'agit bien moins d'un changement de nom que d'un changement profond de paradigme qui va inclure tout à la fois des aspects scientifiques nouveaux et une vision gestionnaire de l'environnement » (Girault & Alpe, 2011, p. 392). La biodiversité est en effet marquée par le cadre du développement durable dans lequel elle se développe. Elle devient une question socio-scientifique qui va quitter le strict champ d'une épistémologie du concept scientifique pour articuler opinions et savoirs (Girault & Lhoste, 2010). Cette articulation n'est pas neutre dans le cadre du développement durable. La régulation marchande des ressources biologiques est ainsi actée comme en témoigne le premier article de la convention sur la diversité biologique (ONU, 1992) qui précise que « *Les objectifs de la présente Convention [...] sont la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses éléments et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques, notamment grâce à un accès satisfaisant aux ressources génétiques [...].* ». Plus récemment le Millenium Ecosystem Assesment, lancé sous l'égide de l'ONU en 2001, avait pour but de quantifier les services écosystémiques. Cette vision économiste de la nature a conduit à donner un prix à la biodiversité et à envisager une gestion dans le cadre économique libéral actuel (Girault & Alpe, 2011). Le développement durable a ainsi tendance à occulter les aspects éthiques, philosophiques et moraux au profit d'une vision techniciste. Pourtant « *La crise de la biodiversité n'est pas une crise technique, une inadéquation temporaire entre nos outils et les contraintes physiques de l'environnement. (...) En multipliant l'offre de solutions technologiques, on ne fait que détourner le regard : on s'évertue à chercher de meilleurs moyens sans jamais questionner les fins.* » (Maris, 2010, p. 199).

Au-delà de ces limites, l'intégration des concepts du développement durable porte aussi des visions renouvelées des rapports entre sciences et société. Ainsi les approches de gestion adaptative (adaptive management) se développent. Elles consistent à « apprendre en faisant », par une procédure itérative de rétroaction structurée (Allen *et al.*, 2011). Ainsi les mesures de protection vont modifier les connaissances et permettre d'envisager d'autres mesures qui elles-mêmes vont modifier les connaissances etc. Même s'il y a eu peu d'applications pratiques de l'approche dans son intégralité pour la conservation de la biodiversité, ces approches semblent pouvoir être une solution pour penser la gestion de la biodiversité (Keith *et al.*, 2011).

4. Éléments de réflexion sur l'intégration de la biodiversité en SVT

La richesse des notions associées à la biodiversité est le reflet d'une histoire épistémologique longue mais aussi du développement à la fin du XX^{ème} siècle des notions de développement durable qui ont conduit à complexifier la relation entre vision scientifique de la biodiversité et approches socio-scientifiques. Ce contexte socio-scientifique a été intégré récemment de manière explicite dans les programmes de SVT au collège et au lycée¹². Une rapide lecture permet de mettre en évidence une intégration de la biodiversité à la fois comme partie de l'éducation au développement durable et en tant que connaissance disciplinaire. A l'issue de notre analyse épistémologique, nous allons tenter de dégager quelques éléments de réflexion sur le traitement de la biodiversité au sein des SVT.

4.1. La biodiversité en tant que diversité biologique

Une des caractéristiques de l'approche de la diversité du vivant dans les programmes scolaires est la présence forte des approches de classification. Pour la classification du vivant, s'il est possible d'appliquer une recette pour construire des groupes emboîtés ou un arbre phylogénétique, la lecture et surtout la construction d'arbres selon des approches cladistiques impliquent de prendre en compte des aspects de la théorie évolutive comme les notions d'homologie et d'apomorphie. Face à cette situation, une tension se manifeste entre une contrainte épistémologique et une contrainte didactique (Lhoste & Gobert, 2009 ; Orange, 2009). En effet, si l'évolution est aujourd'hui le modèle intégrateur en biologie et en particulier quand on parle de biodiversité, sa complexité nécessite une progressivité des apprentissages et donc une programmation.

Les aspects évolutifs semblent constituer les conditions d'une construction d'un savoir scientifique d'autant plus que Denise Orange Ravachol (2007) a montré pour des écoliers et des professeurs des écoles stagiaires une tendance à se focaliser sur la classification comme produit et « à recourir à des critères contingents (on prend ceux-là mais on pourrait en prendre d'autres) et/ou en rapport avec d'autres problèmes biologiques ». De même, la variété des méthodes classificatoires peut être un sujet intéressant d'analyse. La construction de différents types d'arbres avec des approches variées conduit à gérer la complexité de la classification et le caractère pluriel des méthodes utilisées. Même si ceci ne peut résoudre totalement le problème, il semble intéressant de développer une approche plus problématisée des classifications vues comme produits et comme processus (Orange, 2000 ; Orange Ravachol, 2007).

4.2. La biodiversité en tant que composante du développement durable

Les relations entre activité humaine et biodiversité sont aussi très présentes dans les programmes. Cependant, cette notion recouvre des aspects de questions socialement vives qui ont tendance à brouiller les limites disciplinaires. La biodiversité est une question réellement triplement vive (Legardez & Simonneaux, 2006). En effet, si le réchauffement climatique par exemple ne fait plus débat au sein de la communauté scientifique, la dimension évolutive de la biodiversité est un sujet scientifiquement vif. Différents programmes de financement récents ont été mis en place pour mieux comprendre ces dynamiques évolutives de la biodiversité. De même, les exemples de tensions autour de la protection de la biodiversité dans la société sont extrêmement nombreux (loup, ours, gestion des pêches de poissons...).

¹² Les programmes évoqués sont les programmes actuellement en vigueur sauf pour la classe de Terminale S où nous utilisons le programme applicable à la rentrée scolaire 2012. Les références de ces programmes sont situées dans la bibliographie (MEN, 2008b & 2010 ; MENJVA, 2011).

Dans un tel contexte de vivacité, la tendance est naturellement de restreindre la complexité des questions par des approches plus techniques que réflexives. L'Homme est présenté comme gestionnaire des écosystèmes éludant souvent les problèmes de société que pose la protection de la nature. Cette réponse techniciste simplifie la situation et refroidit les « *savoirs chauds* ». De plus, la place de la classification phylogénétique dans ces approches semble peu importante ce qui peut conduire à une vision très fonctionnaliste au détriment des processus historiques (Lecointre, 2001). Enfin, ceci est renforcé en sciences par une tendance à la formalisation assertorique des savoirs dans les curricula (Orange, 2000). Si les savoirs ainsi construits sont beaucoup plus faciles à intégrer dans la pratique scolaire « classique », ils perdent en même temps ce qui en rend la présence nécessaire et peinent à s'imposer dans le contexte disciplinaire des SVT.

5. Conclusion

Si le terme biodiversité est récent, la biologie s'est construite en partie autour de l'étude et de la compréhension de la variabilité du vivant. Ainsi la biodiversité fait partie des éléments fondateurs des sciences de la vie et de la Terre. Malgré les difficultés, l'intégration de la biodiversité dans les programmes scolaires ne peut être facilement remise en cause car elle correspond à l'évolution contemporaine des sciences et de leur enseignement. Ainsi, au niveau scientifique se développent dans le monde des approches plurielles qui mêlent sociologie, sciences politiques, psychologie, biologie... Ceci semble bien préfigurer plus qu'une mode passagère et représente une évolution vers une intégration plus large des thématiques sociétales au sein des problématiques scientifiques. Ce contexte invite ainsi à mieux intégrer dans la biologie sa dimension « discipline scolaire » et « thématique sociétale ». Les éléments présentés dans cette analyse pourraient constituer la base de construction d'une grille d'analyse des curricula permettant de mieux comprendre les différentes dimensions de la biodiversité abordées au sein des SVT.

Si les conditions de problématisation des savoirs liés à la biodiversité restent à étudier, il nous semble que ce travail montre que la biodiversité est une thématique de choix pour avancer dans cette réflexion. En effet, elle porte à la fois un enjeu disciplinaire fort, un ancrage épistémologique complexe et une dimension vive liée à son importance actuelle. Alors que le réchauffement climatique a fait l'objet de nombreuses études (voir par exemple les travaux de Benoit Urgelli, 2009), il nous semble que la biodiversité a été moins abordée globalement et qu'il serait intéressant de continuer à travailler pour déterminer les conditions d'intelligibilité de ce concept en milieu scolaire.

Bibliographie

- Allen, C. R., Fontaine, J.J., K.L. Pope, K.L. & Garmestani, A.S. (2011). Adaptive management for a turbulent future, *Journal of Environmental Management*, 92(5), 1339-1345.
- Aubertin, C. 2000. L'ascension fulgurante d'un concept flou. *La Recherche numéro spécial*, 333 : 84-87
- Blandin, P. (2010). *Biodiversité : L'avenir du vivant*. Paris: Editions Albin Michel.

- Cormier-Salem, M.-C. & Roussel, B. (2000). Patrimoines naturels : la surenchère. - *La Recherche numéro spécial*, 333, 106-110.
- Darwin, C. (1859/2008). *L'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle ou la préservation des races favorisées dans la lutte pour la vie*. Paris: Flammarion.
- Erwin, T. L. (1982). Tropical Forests : Their Richness in Coleoptera and Other Arthropod Species. *The Coleopterists Bulletin*, 36(1), 74-75.
- Ghilarov, A. M. (1996). What does biodiversity mean—scientific problem or convenient myth?. *Trends in Ecology and Evolution*, 11, 304–306.
- Girault, Y. & Alpe, Y. (2011). La biodiversité un concept hybride entre science et gouvernance. *Développement durable et autres questions d'actualité: Questions socialement vives dans l'enseignement et la formation* (p. 383-401). Dijon: Educagri Editions.
- Girault, Y. & Lhoste, Y. (2010). Opinions et savoirs : positionnements épistémologiques et questions didactiques. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, (1), 29-66.
- Gouyon, P.-H. (2001). *Les harmonies de la Nature à l'épreuve de la biologie*. Paris: INRA.
- Keith, D. A., Martin, T. G., McDonald-Madden, E. & Walters, C. (2011). Uncertainty and adaptive management for biodiversity conservation, *Biological Conservation*, 144(4), 1175-1178.
- Le Guyader, H. (2008). La biodiversité : un concept flou ou une réalité scientifique ? *Courrier de l'environnement de l'INRA*, (55), 7-26.
- Lecointre, G. (2001). La biodiversité : au pays des aveugles le borgne est roi. *Comptes Rendus Palevol*, 10, 331-334.
- Lecointre, G., Fortin, C., Guillot, G., & Le Louarn-Bonnet, M.-L. (2009). *Guide critique de l'évolution*. Paris: Belin.
- Legardez, A., & Simonneaux, L. (2006). *L'école à l'épreuve de l'actualité : Enseigner les questions vives*. Issy les Moulineaux: ESF Editeur.
- Lhoste, Y. & Gobert, J. (2009). Le concept d'espèce, outil/obstacle pour comprendre l'évolution biologique : le cas d'une problématisation scolaire en première ES. *6ème rencontres de l'ARDiST*. Nantes.
- Maris, V. (2010). *Philosophie de la biodiversité Petite éthique pour une nature en péril*. Paris: Buchet/Chastel.
- MEN (Ministère de l'Éducation nationale). (2008a). Cycle des approfondissements - Programme du CE2, du CM1 et du CM2, Bulletin officiel spécial hors-série n° 3 du 19 juin 2008.
- MEN (Ministère de l'Éducation nationale). (2008b). Programmes du collège - Programmes de l'enseignement de sciences de la vie et de la Terre, Bulletin officiel spécial n° 6 du 28 août 2008.
- MEN (Ministère de l'Éducation nationale). (2010). Enseignement commun - Programme d'enseignement de sciences de la vie et de la Terre en classe de seconde générale et technologique, Bulletin officiel spécial n°4 du 29 avril 2010.
- MENJVA (Ministère de l'éducation nationale, de la jeunesse et de la vie associative). (2011). Programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de SVT Classe terminale de la série scientifique, Bulletin officiel spécial n° 8 du 13 octobre 2011.
- ONU (Organisation internationale des Nations Unies). (1992). Convention sur la diversité biologique. En ligne : <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-fr.pdf>

Orange Ravachol, D. (2007). Classifications biologiques et problématisations. *Recherches en éducation*, (3), revue du CREN en ligne <http://www.cren-nantes.net/spip.php?> (Actes des 3^e rencontres du réseau international Probléma Nantes, 19-20 juin 2006).

Orange, C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre* Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation. Nantes.

Tassy, P. (1986). Construction systématique et soumission au test: une forme de connaissance objective. In *L'Ordre et la diversité du vivant. Quel statut scientifique pour les classifications biologiques ?* (p. 83-98). Paris: Fayard.

Urgelli, B. (2009). *Les logiques d'engagement d'enseignants face à une question socioscientifique médiatisée* - Thèse ENS-LSH. Lyon.

Réception et analyse d'une fiction contrefactuelle : une approche de la primauté de l'expérience à l'école maternelle

Estelle Blanquet, Univ. de Nice Sophia-Antipolis, IUFM de Nice Célestin Freinet ; Univ. Genève, LDES ; estelle.blanquet@unice.fr

&

Eric Picholle, UMR 7336, LPMC, CNRS, Univ. de Nice Sophia-Antipolis ; eric.picholle@unice.fr

Mots clés : Littérature de jeunesse ; acculturation aux sciences ; modélisation ; physique aux cycles 1&2 ; démarche d'investigation.

Résumé : Les albums jeunesse fournissent un accès à la modélisation analogique et à la confrontation entre fiction et monde physique. Ils peuvent donc contribuer à l'apprentissage de compétences pré-scientifiques. Nous avons confronté des élèves de maternelle et de CP à une fiction contrefactuelle (Plouf ! de Philippe Corentin) lors d'une séquence en démarche d'investigation. Nous analysons les comportements induits ; plusieurs mois après l'exercice, ils s'avèrent toujours capables de naviguer consciemment et explicitement entre le monde physique et l'univers de la fiction et expriment majoritairement la primauté de l'expérience sur la fiction.

1. Introduction

La fiction, et plus spécifiquement la littérature de jeunesse, fait partie intégrante de la culture enfantine comme de celle des enseignants de maternelle. Elle a aussi sa place dans les programmes officiels, qui préconisent l'emploi d'albums pour développer compréhension de la langue et vocabulaire chez les plus petits. « *Outils incontournables pour construire, comprendre et dire le monde* » (Reuter, 2007), les récits peuvent aussi constituer un auxiliaire précieux pour l'apprentissage des sciences (La Map, 2006) ou plutôt, en maternelle, la « découverte du monde ». Dans cet esprit, on attend des élèves qu'ils progressent vers plus « *de rationalité [et] que la confrontation avec la pensée logique leur donne le goût du raisonnement* » (B.O.E.N. 2008). On sollicite leurs sens de l'observation, leur capacité à poser des questions et à adopter un autre point de vue que le leur.

En France (M.E.N., 2005 ; Coquidé & Giordan, 1997) comme à l'étranger (N.R.C. 2005, ScienceStart, 2011), les activités proposées aux jeunes élèves visent le plus souvent à développer les premiers éléments de la méthodologie scientifique, en implémentant typiquement la séquence : *Proposition d'une idée / Test / Conclusion*. Ils peuvent également être initiés à d'autres compétences utiles à l'apprentissage des sciences, comme la construction d'un positionnement énonciatif spécifique (Bernié, 2002 ; Jaubert, 2007 ; Klein, 2011 ; Blanquet 2011a).

Nous nous intéresserons ici à la capacité à naviguer entre une représentation et le monde physique qui nous entoure. Nous explorerons dans un premier temps les différents types de questionnement susceptibles de conduire à un travail en science à partir d'une histoire. Nous montrerons ensuite l'intérêt spécifique d'une histoire contrefactuelle pour travailler la

capacité de jeunes élèves de maternelle à naviguer entre le monde physique et une représentation. Enfin, nous présenterons les résultats obtenus avec des élèves de maternelle.

2. Contexte

On sait depuis Samuel Coleridge (1817) que c'est une forme de « suspension volontaire d'incrédulité » qui rend possible l'immersion dans un univers de fiction. Par contrat implicite entre un auteur et son lecteur, ce dernier accepte de ne pas rejeter d'entrée un monde dont il ne comprend pas tous les éléments ; de son côté, l'auteur s'engage à fournir au fil de l'histoire les éléments nécessaires à l'appréciation de ses prémisses. Les questionner *a posteriori*, y compris pour tenter de prendre l'auteur en défaut, peut être un jeu intéressant aussi bien au niveau de l'argumentation (Orange-Ravachol & Triquet ; 2007) et de l'analyse que d'une position énonciative qui favorise une acculturation aux sciences (Rebière & al., 2008).

Certaines de ces prémisses sont toutefois des conventions inhérentes au contrat de lecture. L'auteur n'en proposant le plus souvent aucune justification interne, la questionner présente peu d'intérêt pour une investigation de type scientifique. Ainsi, on sait depuis Esope que les animaux parlent volontiers dans les fables. Les enfants sont typiquement capables dès 4 ans d'identifier une convention littéraire de ce type (Wooley & Cox, 2007).

Il est en revanche toujours légitime de lancer une investigation sur la plausibilité d'un élément isolé présenté comme réaliste dans une fiction. Elle sera d'autant plus fructueuse que l'auteur se sera efforcé d'être précis. Si l'élément considéré s'avère plausible, on disposera de nombreux indices pour le vérifier, au prix éventuellement d'un travail spécifique de clarification (Bruguière & al. 2007). S'il résulte d'une erreur, celle-ci a des chances d'être pédagogiquement intéressante car reposant sur une subtilité ou une difficulté susceptible d'être partagée par les élèves (Soudani & al., 2011 ; Blanquet & Picholle, 2011a), quand l'identification d'erreurs par trop grossières n'apporterait pas grand-chose. Le jeu du *possible/pas possible* est alors un défi à la sagacité des élèves ; il est donc préférable de choisir des histoires présentant une incohérence interne assez subtile (ou savamment masquée par l'auteur) pour n'être pas perceptible au premier regard.

Nous qualifierons ici de “fiction contrefactuelle” un texte intégrant au moins un élément isolé (à l'exclusion donc des conventions littéraires) et présenté comme diégétiquement factuel dont le comportement s'avère incompatible avec les lois qui gouvernent le monde physique. En présence d'une dissonance de ce type, les élèves sont amenés, pour cerner le paradoxe, à réduire l'histoire à ses paramètres essentiels, c'est-à-dire à en produire un *modèle* simplifié (Ingham & Gilbert, 1991 ; Martinand, 1992 ; Schwartz & Lederman, 2005) ; à valider celui-ci en confrontant ses prédictions à certain des éléments de l'histoire ; et à en montrer l'incompatibilité avec d'autres. L'hypothèse implicite est que la physique de l'histoire « devrait » être la même que la nôtre (Bruguière & al. 2007). Avec les plus petits (école maternelle), le défi prend la forme de « *peut-on faire comme dans l'histoire ?* ». Même si le terme n'est pas prononcé, il s'agit alors d'en réaliser un modèle analogique (Blanquet & Picholle 2011b).

3. Questions de recherche

Les aller-retours entre représentations simplifiées et monde physique sont au cœur de la méthode scientifique ; rendre les élèves conscients de leur importance est l'un des nombreux objectifs de l'enseignement des sciences (B.O.E.N. 2008). Même si la distinction entre un système à l'étude et ses représentations simplifiées peut paraître tellement évidente qu'elle reste implicite dans le discours scientifique professionnel (Schwartz & Lederman, 2008), c'est une difficulté pour les jeunes élèves, et son intégration nécessite un travail non nul, de préférence explicite (Etkina & al., 2010 ; Tiberghien, 2009).

Pourrait-on commencer cet apprentissage dès la maternelle ? Alors que les modèles formels sont d'utilisation usuelle chez les collégiens et au-delà, ils sont clairement inadaptés aux très jeunes élèves. Les histoires sont en revanche un outil classique de la maternelle. On peut en particulier les reproduire en classe *via* une simulation. Il va de soi qu'on travaille alors à partir d'objets représentant les éléments de l'histoire sur lesquels on a choisi de se focaliser. Comme dans leurs jeux, les enfants font *comme si* : ils considèrent les accessoires introduits en classe comme *analogues* aux éléments de l'histoire. Une telle simulation analogique pourrait donc constituer le premier contact des enfants avec le concept de modélisation. Nous distinguerons ici le "modèle" abstrait, identifiant les éléments essentiels de l'histoire et en proposant des analogues, de la "simulation", processus concret de reproduction de l'histoire selon ce modèle.

Il est également important de noter que le modèle analogique ainsi construit est une représentation très simplifiée de l'univers de l'histoire, pratiquement réduit aux seuls éléments que l'on a choisi d'en étudier (Ingham & Gilbert, 1991). C'est cette simplification qui rend abordable le jeu des prédictions / vérifications et la confrontation rationnelle de la simulation à l'histoire. Les enfants ne peuvent faire l'économie d'une navigation entre l'univers fictionnel et sa simulation ; toutes proportions gardées, ils sont conduits à procéder comme des scientifiques.

Dans le cas d'une histoire contrefactuelle, une incohérence constatée par les élèves entre l'histoire et sa simulation peut les conduire à considérer les limites du modèle proposé par le maître et rend saillants les paramètres en jeu. La construction et l'énonciation d'un point de vue commun (Schneeberger & al., 2009) touche au cœur même de la notion de modèle.

La question à laquelle nous chercherons à répondre comporte donc deux volets :

- De très jeunes élèves peuvent-ils appréhender le fait que des lois différentes de celle du monde qui nous entoure gouvernent un univers fictionnel et comment réagissent-ils à cette dissonance ?
- Peut-on trouver des indices révélant que les jeunes élèves sont capables de naviguer entre différents mondes ?

4. Méthodologie



Toute histoire dans laquelle un phénomène physique permet de faire avancer l'intrigue et dont la plausibilité est facilement testable en classe est un bon candidat pour un travail en démarche d'investigation. Notre choix s'est porté sur l'album *Plouf!*, de Philippe Corentin (1991) dont le paradoxe physique, pourtant élémentaire, s'efface si bien devant la dynamique narrative qu'il en devient transparent (Corentin, 2011). Cet album extrêmement populaire parmi les enseignants de maternelle, apprécié des petits comme des grands, présente de plus la

caractéristique d'être facile à tester dans un contexte de classe. L'intrigue avance grâce à un dispositif technique simple (Soudani & al., 2011) : une poulie, une corde et un seau. L'histoire met en scène un loup qui, croyant voir un fromage au fond d'un puits, s'y retrouve piégé. Il parvient à remonter en piégeant un cochon. Le cochon piège à son tour des lapins qui se retrouvent au fond du puits avant d'être enfin remontés par le loup du début. Cette dernière étape est clairement contrefactuelle. Il est facile d'en construire une simulation analogique et de mettre en évidence cette impossibilité dans notre monde physique, les lapins étant plus lourds que le cochon et le cochon plus lourd que le loup.



Préalablement à l'étude présentée ici, de nombreux enseignants de cycle 1 et 2 ont fait vivre à leurs élèves une séquence sur *Plouf!* spécifiquement conçue pour travailler la capacité à naviguer entre deux mondes (Blanquet, 2010). A l'aide des éléments fournis par l'enseignant (poulie, bâtons, ficelle etc.), les élèves construisent leur propre maquette de puits, l'utilisent pour simuler l'histoire et sont conduits à constater que l'objet le plus lourd se retrouve toujours en bas. Tout au long de cette séquence, des discussions collectives portant sur la possibilité de reproduction de l'histoire ont favorisé l'expression des statuts respectifs du puits de l'histoire et de son modèle analogique. Nous avons dans un premier temps évalué cette séquence en observant des élèves faire vivre à de jeunes camarades ce qu'ils avaient eux-mêmes vécu avec leur maître.

La présente étude intervient très en aval, la construction des savoirs impliqués étant considérée par les enseignants comme acquise. Nous avons élaboré un questionnaire pour évaluer le comportement des élèves face à la dissonance.

Dans un premier temps, il était demandé aux enfants de raconter ce qu'ils avaient fait en classe et de justifier cet exercice. Des réponses spontanées du type : « *pour voir si l'histoire est possible* » ou « *si cela marche comme dans l'histoire* » établissent une distinction entre ce qui peut se passer dans l'histoire et dans la classe et montrent qu'ils comprennent qu'il s'agit de comparer ces deux univers. Si cela n'émerge pas dans la discussion, une question plus directive, du type « *Est-ce que l'histoire est possible ?* » (ou « *Est-ce que l'on peut faire comme dans l'histoire ?* ») permet d'évaluer néanmoins la capacité des élèves à identifier la dissonance et à la formuler de façon explicite.

On demandait ensuite s'il était « *embêtant* » que l'histoire soit impossible et d'expliquer pourquoi ils pensaient cela. Typiquement, la réponse « *ce n'est qu'une histoire et on peut faire ce que l'on veut dans une histoire* » indique non seulement une prise de conscience de la distinction entre différents mondes, mais aussi la compréhension de leur différence de nature. Nous demandions également si les élèves connaissaient d'autres histoires « pas possibles » : une réponse portant sur l'impossibilité d'un phénomène physique révèle la capacité à réinvestir le jeu du possible/pas possible dans d'autres contextes ainsi qu'à focaliser sur la physique en jeu ; inversement, une réponse insistant sur les conventions de la *fantasy* animalière porte à penser que les élèves n'ont pas intégré la nature du jeu. Enfin, il leur était demandé comment ils réagiraient face à des plus petits « *qui penseraient que l'on peut faire comme dans l'histoire* » : comment les aider à comprendre ? Un élève répondant que « *il faut leur faire essayer* » manifeste une réelle compréhension de l'intérêt de la modélisation.



Les élèves des trois classes de l'étude ont été interviewés par binômes, et systématiquement enregistrés (audio et vidéo) (Visa 2008). Douze interviews d'enfants de GS et dix de CP se sont révélées techniquement exploitables et ont été transcrites. Le matériel précédemment utilisé en classe était disponible et les réactions des enfants indiquent qu'ils se sentaient en confiance. Afin d'évaluer la robustesse des compétences acquises, une classe de GS a été filmée trois mois après la mise en œuvre de la séquence et une autre sept mois après.

Entre temps, ces élèves avaient eu l'occasion de travailler sur d'autres histoires « possibles », lors de séquences conçues dans le même esprit que *Plouf!*. Les élèves de CP ont été interviewés trois semaines après avoir vécu la seule séquence *Plouf!*

5. Résultats

Nous nous contenterons ici d'extraire les points les plus saillants de ces transcriptions. Le statut de ce qu'ils ont fait en classe reste flou pour trois binômes de CP, mais aucun de maternelle : ils ont fait des choses « *parce que tout le monde l'a fait* », « *parce que c'est la maîtresse qui l'a dit* », « *son idée c'était de faire un puits* ». Tous les autres, soit 19 binômes (CP & GS), distinguent explicitement le monde de l'histoire de ce qui peut se passer dans la classe ; ils ont compris l'exercice et sont en mesure de l'expliquer, quoique à des degrés divers. Des résultats non présentés ici indiquent que c'est parfois le cas, dans une moindre mesure, d'élèves de moyenne section de maternelle également.

Les questions proposées aux élèves se sont révélées discriminantes. L'analyse des transcriptions permet d'identifier les élèves capables non seulement de distinguer le monde fictionnel du monde qui nous entoure, mais aussi de naviguer entre les deux en donnant la primauté à l'expérience sur la fiction. Plus de la moitié des élèves (5/10 paires de CP et 8/12 de GS) donnent clairement et spontanément la primauté à l'expérience ; les autres (6/22) ne sont pas pleinement conscients de l'intérêt de cette navigation mais sont capables de la pratiquer sous la stimulation de questions directives. Un seul binôme (de CP) privilégie explicitement la fiction.

Parmi les expressions révélatrices du fait que de jeunes élèves sont capables de naviguer explicitement entre différents mondes, nous citerons :

« *Pour essayer de faire l'histoire en vrai (...) Ca marche pas trop, c'est la fin qui marche pas (...) En vrai il peut pas redescendre le loup alors que dans l'histoire il remonte (...) Ca peut marcher dans l'histoire mais en vrai ça ne peut pas marcher* »

« *Des histoires, on peut imaginer tout ce qu'on veut. Tant que c'est une histoire.* »

« *Ben, ils n'ont qu'à essayer et ils verront.* »

« *D'essayer c'est important, on peut savoir la réalité* »

Pour les autres binômes, les analyses révèlent que des difficultés persistent. Un élève (en CP) est ainsi convaincu de la primauté de la fiction sur l'expérience : « *mais en vrai ça devrait faire comme ça* » (l'enfant force à la main la descente du loup dans le puits). D'autres ont des difficultés à exprimer l'articulation du réel et de l'imaginaire (6/22) « *Parce que normalement il doit descendre si l'histoire, le loup, eh ben le loup il descend. Mais normalement il descend pas ici.* » D'autres encore restent sur les conventions de la fantasy animalière (5 binômes de CP, aucun en maternelle) « *déjà qu'il est habillé le loup et qu'il parle.* »

Sur vingt-deux paires d'enfants interviewées, treize ont pleinement donné du sens au travail réalisé et ont compris l'intérêt de tester les histoires dans notre monde à nous pour savoir si elles sont possibles. Même si une étude approfondie demeure nécessaire, il apparaît également, que la modélisation *répétée*, en classe, de référents fictionnels qui ne sauraient être confondus avec leurs analogues est susceptible de développer cette compétence à distinguer monde qui nous entoure et univers fictionnel.

Certaines réponses d'élèves de CP n'ayant vécu que la seule séquence *Plouf!* invoquent les conventions de la *fantasy* animalière. Le dépassement de cette difficulté par la totalité des élèves de GS considérés nous semble lié à un travail renouvelé sur la physique de différentes

histoires ; en effet, les élèves cherchent alors la plupart de leurs exemples dans les autres histoires étudiées en classe. D'autres facteurs pourraient néanmoins être impliqués, comme un éventuel changement du rapport aux histoires lié à un apprentissage plus approfondi de la littérature en CP.

Nous avons demandé à quelques binômes s'ils avaient des questions à poser à Philippe Corentin : aucune sur l'aspect contrefactuel de l'histoire, mais le souhait de lui faire partager « *que son histoire est très belle* ». Des élèves de GS ont également exprimé leur plaisir à essayer de faire comme dans l'histoire. Deux enseignants sur trois ont spontanément remarqué que des élèves focalisaient spontanément leur attention sur des phénomènes physiques (e.g. personnage qui ne peut pas respirer dans l'espace parce qu'il n'y a pas d'air) plutôt que sur les conventions littéraires lors de « lectures offertes » postérieures à ce travail.

6. Conclusion

Cette première étude qualitative établit que de jeunes élèves de maternelle sont capables d'appréhender l'idée qu'un univers fictionnel peut être gouverné par des lois différentes de celle du monde qui nous entoure. Après apprentissage, les élèves observés réagissent pour la plupart à cette dissonance en accordant à l'expérience la primauté sur la fiction.

Il semble par ailleurs relativement aisé d'identifier des marqueurs explicites de la capacité de navigation entre différents mondes, et ce dès la grande section de maternelle. Une telle navigation délibérée est au cœur de la méthode scientifique. La littérature de jeunesse semble donc un outil prometteur pour une approche précoce des compétences liées à la modélisation scientifique.

Toutefois, même si l'acquisition des compétences travaillées semble robuste à l'échelle de l'année scolaire, leur pérennité reste à établir au-delà. De même, l'impact de ce type d'apprentissage précoce, et en particulier son influence sur la capacité à manipuler des modèles scientifiques plus tard dans la scolarité, ne pourra être établie que par un suivi des élèves sur plusieurs années, dépassant largement le cadre de la présente étude.

Bibliographie

Bernié J.-P. (2002). L'Approche des pratiques langagières scolaires à travers la notion de « communauté discursive » : un apport à la didactique comparée ? *Revue française de pédagogie*, n°141, pp. 77-88.

Blanquet E. (2010). *Sciences à l'école, côté jardin. Le guide pratique de l'enseignant*. Nice : Somnium.

Blanquet E. (2011). La Démarche d'investigation, une chorégraphie de subjectivités collectives ? In *Les subjectivités collectives*. Actes des troisièmes journées Sciences & Fictions de Peyresq, Nice : Somnium, pp. 127-137.

Blanquet E. & Picholle E. (2011a). Déjantages, ellipses et incohérences formatives. *Science-Fiction : un outil pour l'enseignement des sciences à l'école ?* Actes des premières journées Science-Fiction et Enseignement de l'IUFM de Nice. Nice : Somnium, pp. 123-132.

Blanquet E. & Picholle E. (2011b). Inquiry-based analysis of early years children books: Developing skills for later science education. Conférence ESERA, 5-9 septembre 2011, Lyon, France.

B.O.E.N. (2008). Bulletin officiel du ministère de l'éducation. Vol. 3. France.

Bruguière C, Héraud J-L, Errera J-P, Rembotte X (2007). Mondes possibles et compréhension du réel. La lecture d'un album en cycle 2 comme source de questionnement scientifique. *Aster*, 44, pp. 69-106.

Coleridge, S. (1983). *Biographia Literaria (1817), The Collected Works*. Princeton : Princeton University Press.

Coquidé-Cantor, M., & Giordan, A. (1997). *L'Enseignement scientifique et technique à l'école maternelle*. Paris : Delagrave.

Corentin, P. (1991). *Plouf!* Paris : Ecole des Loisirs.

Corentin, P. (2011). Interview par Blanquet, E. *Science-Fiction : un outil pour l'enseignement des sciences à l'école ?* Actes des premières journées Science-Fiction et Enseignement de l'IUFM de Nice. Nice : Somnium, pp. 199-202.

Etkina, E., Karelina, A., Ruibal-Villasenor, M., David, R., Jordan, R., & Hmelo-Silver, C.E. (2010). Design and Reflection Help Students Develop Scientific Abilities: Learning in Introductory Physics Laboratories. *Journal of the Learning Sciences*, 19 (1), pp. 54-98.

Ingham, A.M., & Gilbert, J.K. (1991). The Use of analogue models by students of chemistry at higher education levels. *International Journal of Science Education*, 13 (2), pp. 193-202.

Jaubert M. (2007). *Langage et construction de connaissances à l'école*. Pessac : Presses Universitaires de Bordeaux.

Klein, G. (2011). *Trames & Moirés. A la recherche d'autres sujets, les subjectivités collectives*. Nice : Somnium.

La Map (2006). Aborder les sciences à partir d'albums de jeunesse. In lamap.fr [en ligne]. Consulté le 28/09/2011.

http://lamap.inrp.fr/?Page_Id=25&Action=1&Element_Id=984&DomainPedagogyType_Id=1

Martinand, J.-L. (1992). Présentation de l'ouvrage. In Martinand, J.-L. & al. (Eds.). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.

M.E.N. (2005). *Découvrir le monde à l'école maternelle : le vivant, la matière, les objets*. Outil pour la mise en œuvre des programmes 2002, Ministère de l'éducation nationale (DESCO) - Académie des sciences. Paris : CNDP.

N.R.C. (2005). *Mathematical and scientific development in early childhood: a workshop summary*. In National Academies.

Orange-Ravachol D. & Triquet É. (2007). Sciences et récit, des rapports problématiques. *Aster*, 44, pp.7-22.

Press Website [en ligne]. Consulté le 28/09/2011. <http://www.nap.edu/catalog/11178/html>.

Rebière, M., Schneeberger P. & Jaubert M. (2008). Changer de position énonciative pour construire des objets de savoirs en sciences : le rôle de l'argumentation. In C. Buty & C. Plantin (éd). *Argumenter en classe de sciences*. Lyon : INRP.

Reuter Y. (éd.) (2007). Récits et disciplines scolaires. *Pratiques*, n° 133-134.

ScienceStart (2011). The Cycle of scientific reasoning. In ScienceStart [en ligne]. Consulté le 28/09/2011. <http://www.sciencestart.com/Curriculum/Cycle.shtml>.

Schneeberger P., Rebière M. & Jaubert M. (2009). Construire un point de vue, faire évoluer la position énonciative : la germination au cycle 2. In P. Schneeberger & A. Vérin (éd). *Développer des pratiques d'écrit et d'oral en sciences*. Lyon : INRP.

Schwartz, R. & Lederman, N. (2008). What scientists say : Scientists' views of nature of science and relation to science. *International Journal of Science Education*, 30 (6), pp. 727-771.

Schwartz, R.S., & Lederman, N.G. (2005, April). Scientists' views of scientific models and modeling. Paper presented as part of the symposium "International perspectives of scientific models and modeling" at the Annual meeting of the American Educational Research Association, Montreal, Canada.

Soudani, M., Heraud, J.-L., Bruguière, C., Triquet, E. (2011). From fiction storybook to scientific modeling : an exemple in physics teaching at primary school. Conférence ESERA, 5-9 septembre 2011, Lyon, France.

Tiberghien, A. (2009). Design-based Research : case of a Teaching Sequence on Mechanics. *IJSE*, 32(17), pp. 2275-2314.

VISA, (2008). Consulté le 25/11/2011. <http://visa.inrp.fr/visa/presentation>

Wooley, J. & Cox, V. (2007). Development of Beliefs about Storybook Reality. *Developmental Science*, 10(5), pp. 681-693.

Problématisation relative à la classification et l'évolution des végétaux chez des étudiants de master 2 se destinant à l'enseignement des SVT

**Robin Bosdeveix, Univ. Paris Diderot - Paris 7, LDAR, EA 4344 ;
robin.bosdeveix@univ-paris-diderot.fr**

**Yann Lhoste, Univ. Bordeaux IV, IUFM d'Aquitaine ; Univ. Bordeaux, LACES,
EA 4140 ; yann.lhoste@iufm.u-bordeaux4.fr**

Mots clés : biologie, végétal, évolution, classification, obstacle, problématisation

Résumé : Les étudiants de master 2 se destinant à l'enseignement des SVT ne mobilisent le registre évolutif pour définir les végétaux qu'en très faible nombre. Pourtant les végétaux n'ont plus actuellement aucune valeur en systématique. Cette recherche exploratoire de didactique universitaire s'inscrit dans le cadre théorique de la problématisation et consiste en une étude de cas basée sur dix entretiens d'étudiants. Nous cherchons à comprendre comment des étudiants construisent des problèmes relatifs à la classification et l'évolution des végétaux en fin de formation universitaire à partir d'entretiens semi directifs. Les entretiens réalisés ont permis de dégager certains obstacles à la problématisation dont celui du « critère absolu » qui renvoie à l'obstacle essentialiste. Cet obstacle rend difficile l'entrée dans une explication phylogénétique pour définir un groupe systématique puisque les étudiants cherchent un critère définitoire exclusif qui ne souffre d'aucune exception pour classer les végétaux.

1. Introduction

Les végétaux constituent un objet d'étude majeur de l'enseignement universitaire en sciences de la vie. Il existe en effet des ouvrages, des enseignements de botanique alors même que le végétal n'est plus aujourd'hui un concept scientifique mais représente uniquement un concept quotidien (Vygotski, 1937/1998) au regard de problèmes de nature historique. La disparition du règne végétal est liée aux développements récents de la classification phylogénétique, qui a révélé le caractère polyphylétique des végétaux. Autrement dit les végétaux ne constituent pas un groupe valide au niveau systématique car ils désignent des organismes non issus d'un ancêtre commun exclusif. Les végétaux ont été longtemps rassemblés sur la base d'une ressemblance dont les recherches récentes (Selosse, 2008) montrent qu'elle a finalement été acquise plusieurs fois au cours de l'évolution de manière convergente : le chloroplaste assurant la photosynthèse. Nous avons réalisé une première enquête didactique afin d'analyser les conceptions relatives au concept de végétal chez 29 étudiants en fin de formation universitaire (master 2) se destinant à devenir professeurs de sciences de la vie et de la Terre (SVT). Deux méthodologies complémentaires (basées sur un questionnaire et la réalisation de carte conceptuelle) ont révélé que les étudiants définissent les végétaux dans un registre fonctionnaliste et très peu dans un registre historique pour reprendre la distinction des deux grands types de problèmes biologiques proposée par Mayr (1989, p. 111 ; 1998 p. 129). En

effet, seul un étudiant sur cinq mobilise dans notre étude le registre évolutif pour définir un végétal (Bosdeveix, 2011). Cette enquête préalable nous a conduit à mettre en œuvre une recherche visant à analyser le *processus de problématisation* chez ces étudiants de master 2 concernant l'évolution et la classification des végétaux. Notre enquête se base sur la réalisation de dix entretiens individuels, elle revêt donc un caractère exploratoire et correspond à la première étape d'une recherche de didactique universitaire dans le domaine de la biologie évolutive.

2. Cadre théorique

Cette recherche s'ancre dans le cadre théorique de la problématisation qui s'inscrit dans une approche rationaliste de l'activité scientifique (Bachelard, Popper, Canguilhem) où la construction de problème est un moyen d'accès à la connaissance scientifique. Suite aux travaux de Fabre (1999), nous pouvons décrire le processus de problématisation comme un double dédoublement :

- Le premier est « décrit par Bachelard comme un dédoublement des faits et de la théorie. Ce qui est déterminant, c'est que les idées explicatives et les faits, les théories et les faits sont toujours en liens, les faits ne sont pas indépendants de la théorie et réciproquement, « *pas de rationalité à vide, pas d'empirisme décousu* » (Bachelard, 1949/1998, p. 3) » (Lhoste & Peterfalvi, 2009, p. 82). Ce dédoublement entre faits et idées correspond pour les activités scientifiques à un dédoublement entre le registre empirique et le registre des modèles dans un registre explicatif donné (Orange, 1994).
- Le second correspond au *dédoublement entre l'assertorique et l'apodictique* qui « fait apparaître d'un côté ce qui relève de l'assertorique, ce qui est ainsi (les faits et les idées et les liens entre ces faits et ces théories) et sur un autre plan, ce qui relève de l'apodictique et qui fonde les idées en nécessité » (Lhoste & Peterfalvi, *id.*). En effet, si « *les explications perdent tout caractère de nécessité* », ce ne sont plus des savoirs scientifiques, mais de « *simples réponses factuelles qui se succèdent au hasard* » (Fabre, 1999, p. 194).

Ainsi pour Gobert & Lhoste (2011), « le processus de problématisation peut être décrit, dans le champ des sciences de la vie et de la Terre, à la suite d'Orange, comme la construction des conditions de possibilité des solutions explicatives d'un problème. Elle peut se réaliser « *à partir d'un problème explicatif perçu, par exploration critique des solutions possibles* » (Orange, 2005) ».

3. Méthodologie

3.1. Positionnement par rapport aux travaux existants

Les travaux relatifs à la problématisation se sont particulièrement intéressés aux *moments de controverses* en classe : Orange (2000, 2003), Orange-Ravachol (2003), Lhoste (2008). Certains épisodes permettent au chercheur de repérer les contraintes mobilisées par les élèves ainsi que les nécessités. Les nécessités correspondent à des construits nouveaux sur la base d'un raisonnement actuel, alors que les contraintes seraient des éléments, déjà-là, convoqués

dans un tel raisonnement. Le produit du processus de problématisation peut alors être représenté par un espace de contraintes en jeu dans le moment de débat étudié (Orange, 2000).

Cette recherche utilise une autre méthodologie, fondée sur des *entretiens* individuels semi-directifs. Les interventions du chercheur doivent permettre de faire expliciter le raisonnement de l'étudiant afin de comprendre comment il rend raison d'un phénomène (Bachelard, 1949) et d'accéder ainsi à la manière dont l'étudiant valide un possible en le rendant nécessaire (Canguilhem, 1965, p. 58). Dix entretiens ont été réalisés avec des étudiants volontaires au sein de la promotion de master 2 « Enseignement SVT ». Leur durée moyenne est de vingt minutes.

3.2. Construction préalable d'espaces de contraintes et nécessités de « référence »

Nous avons construit au préalable des espaces de contraintes de « référence » modélisant une problématisation possible au niveau universitaire concernant le problème sur lequel nous avons choisi de questionner les étudiants. Cette problématisation à priori doit orienter le questionnement du chercheur au cours de l'entretien et constitue une aide à l'interprétation des entretiens. Orange-Ravachol (2003, p. 121) a également construit des espaces de « référence » qu'elle nomme « esquisse de l'espace des contraintes pour l'expert », mais contrairement à nous, elle élabore cette modélisation grâce à des entretiens avec des chercheurs. Nos étudiants étant en seconde année de master, il nous faut construire des espaces de « référence », qui se situent à un niveau scientifique élevé. À ce niveau, les distinctions entre registre empirique et registre des modèles est de plus en plus difficile à établir puisque l'empirique est déjà très modélisé ; il est obtenu par une phénoménotechnique qui incorpore des théories scientifiques élaborées.

3.3. Problèmes scientifiques mobilisés lors de l'entretien

Le polyphylétisme des végétaux ayant été très peu exprimé dans les enquêtes préalables à l'entretien (questionnaire et carte conceptuelle), la conjecture qui sous-tend notre recherche est celle d'une faible mobilisation d'un questionnement évolutif des végétaux. Nous cherchons à comprendre comment les étudiants articulent certains éléments du registre empirique, comme la présence de chloroplastes au nombre de membranes varié (2, 3 ou 4), avec le registre des modèles, en référence aux mécanismes évolutifs et aux principes de la classification phylogénétique. Le premier thème introduit lors de l'entretien est celui de la classification des végétaux afin d'analyser si les étudiants ont conscience de la non existence du règne végétal dans la systématique actuelle. Un autre problème est ensuite introduit, celui de l'origine évolutive des plastes. L'objectif est d'analyser si les étudiants construisent la nécessité d'expliquer l'origine des plastes comme issus d'une endosymbiose. L'entretien doit également permettre de comprendre si les étudiants articulent le polyphylétisme des végétaux et l'origine convergente des plastes (endosymbiose primaire, secondaire, tertiaire). Enfin, un dernier problème est discuté durant l'entretien : comment expliquer l'existence de végétaux non chlorophylliens (comme l'orobanche ou la cuscute, holoparasites) alors que les végétaux sont définis comme des organismes chlorophylliens ? Ce problème est-il envisagé par les étudiants dans un cadre évolutif comme une perte secondaire de la chlorophylle ? Ce dernier thème a été introduit dans l'entretien car dans notre enquête préliminaire, 10 étudiants (37%) précisaient dans leur définition d'un végétal que certains végétaux ne sont pas chlorophylliens, sans aucune explication évolutive, ce qui nous a interpellé, puisque la photosynthèse (nécessitant la chlorophylle) est justement le critère de définition des végétaux en tant que groupe fonctionnel.

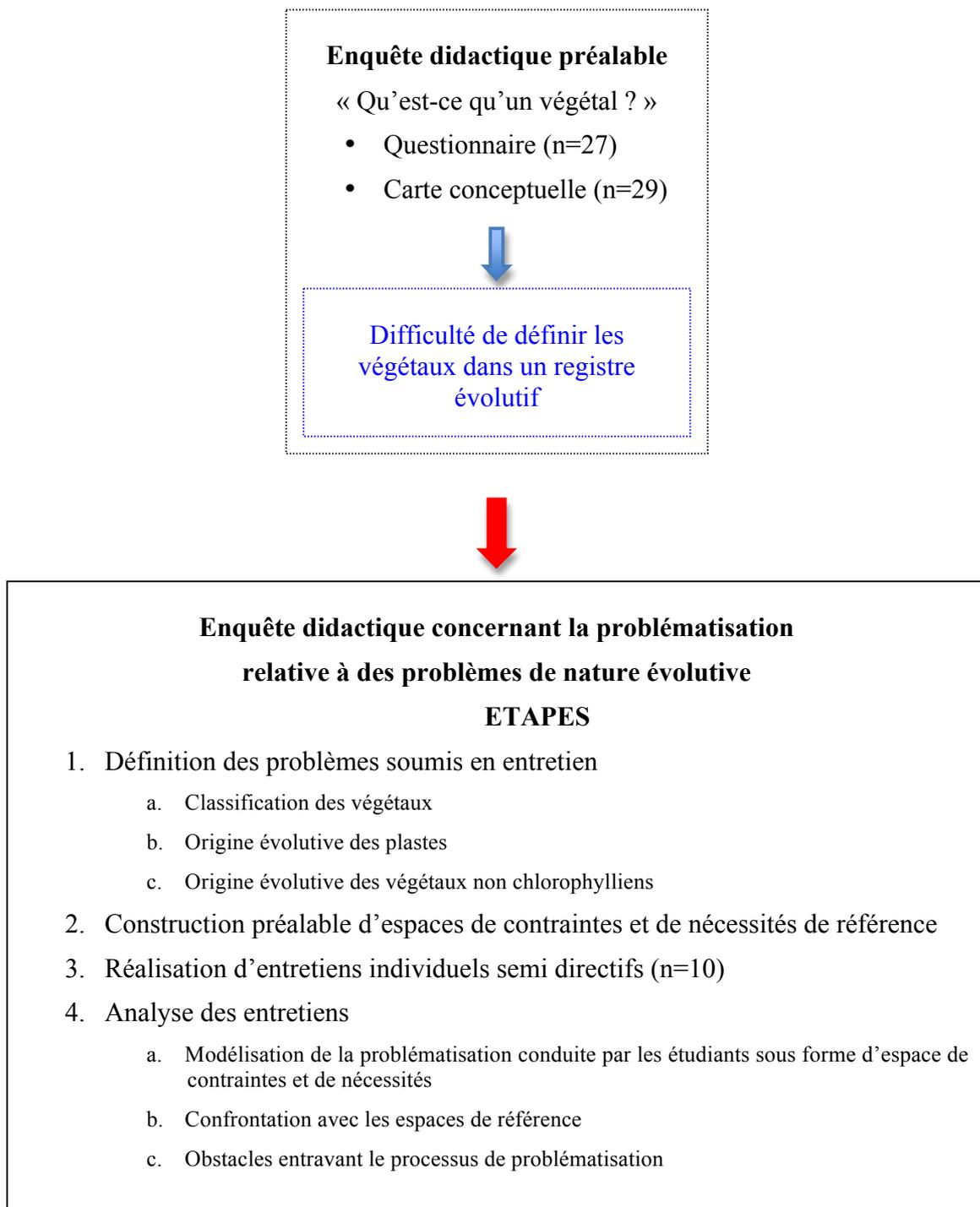


Figure 1. Diagramme présentant la méthodologie mise en place

4. Résultats

Notre étude de cas a permis de dégager un certain nombre de difficultés, dont certaines pourraient constituer des obstacles à problématiser l'évolution et la classification des végétaux.

4.1. Les difficultés posées par les végétaux non chlorophylliens (holoparasites) et l'obstacle du « critère absolu »

Les différents entretiens analysés ont tous mis en évidence, à des degrés variables, l'attachement à l'existence de végétaux holoparasites non chlorophylliens qui a été mobilisée comme une contrainte empirique empêchant de définir les végétaux par leur autotrophie et leur chloroplaste. Cela conduit les étudiants à nier la définition fonctionnelle des végétaux (organismes photosynthétiques réalisant la photosynthèse oxygénique) et à en construire une autre. Mais leur définition se révèle rapidement peu opérationnelle, s'attachant à trouver d'autres critères de regroupement, critères essentiellement cellulaires : paroi, vacuole et éventuellement plastes non chlorophylliens (dans le cas d'Elise), comme l'illustre les interventions 27 et 28 de l'entretien d'Elise.

27. Chercheur : (...) et donc quels caractères permettent de définir le végétal / si on reprecise / tout à l'heure tu as dit eucaryotes / ce sont des eucaryotes

28. Elise : qui ont la capacité d'être autotrophes vis à vis du carbone mais après il y a des végétaux qui sont / qui sont / qui sont complètement parasites d'autres plantes / et qui font pas forcément la photosynthèse / euh du coup **est-ce qu'on considère que végétal c'est l'autotrophie** / enfin que / je sais pas / **c'est peut être d'autres caractéristiques** quand même notamment la présence de plastes / mais après

La figure 2 rend compte de la problématisation construite par Elise, et que l'on a retrouvé de manière similaire dans plusieurs entretiens, pour définir les végétaux au regard de l'existence de végétaux non chlorophylliens.

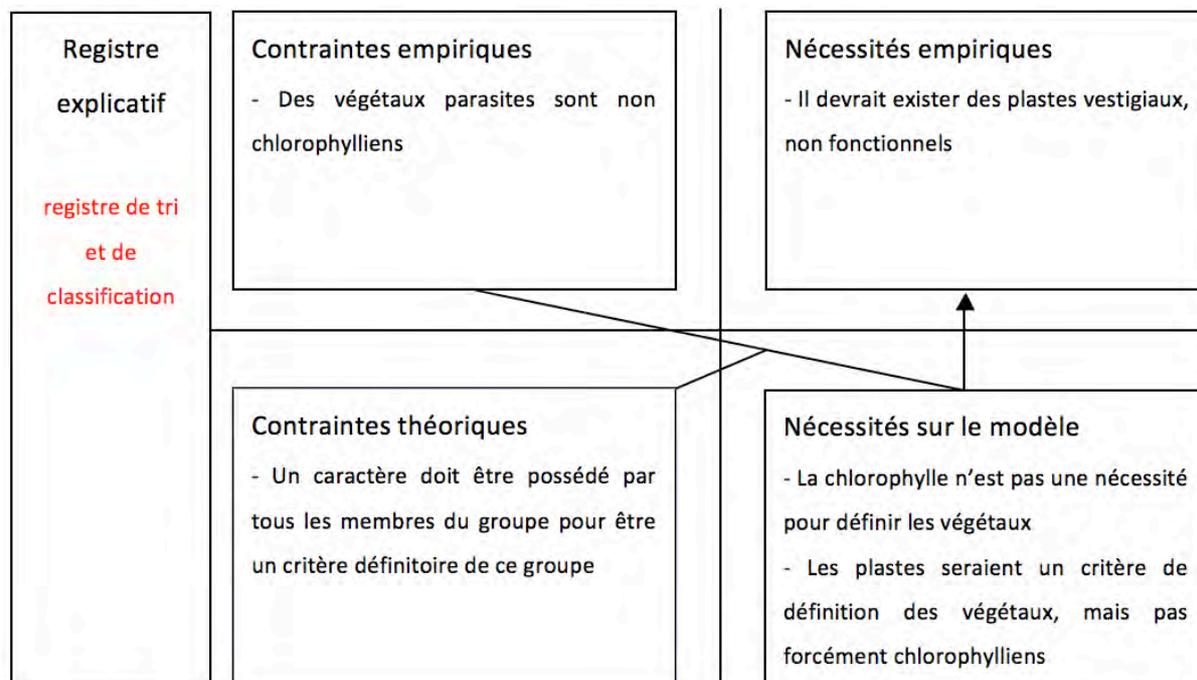


Figure 2. Espace des contraintes et des nécessités modélisant la problématisation d'Elise

Deux explications complémentaires peuvent être proposées pour interpréter ce résultat et pourraient renvoyer à des obstacles épistémologiques. La première réside dans *l'usage*

historique du terme « végétaux non chlorophylliens » qui provient de l'époque (récente) où les champignons étaient considérés comme des végétaux non chlorophylliens. Actuellement les champignons ne sont plus considérés comme des végétaux mais la définition historique persiste. La mycologie reste enseignée avec la biologie végétale par des botanistes. De nombreux ouvrages entretiennent encore cette ambiguïté historique. Si cela ne pose évidemment pas de difficulté aux chercheurs ayant conscience de la nature des différents taxons, cela semble encore en poser aux étudiants en fin de formation universitaire (master 2 enseignement).

La seconde explication correspond à la nécessité de trouver comme critère de définition d'un groupe un caractère présent chez **tous** les membres du groupe, ce qui témoigne de la confusion persistante entre tri et classification phylogénétique. Cet obstacle qui reste implicite mais qui stabilise en profondeur les explications des élèves lors des entretiens, nous proposons de le nommer *obstacle du « critère absolu »*. Il témoigne d'une mobilisation peu fonctionnelle du cadre explicatif phylogénétique qui se traduit par l'indétermination entre deux opérations différentes : le tri et la classification. Le tri suit une logique divisive fonctionnant de manière dichotomique par l'utilisation de critères binaires du type « qui a » / « qui n'a pas tel caractère ». C'est la logique utilisée pour identifier une espèce en utilisant une clé de détermination du type flore. La classification suit une logique agglomérative en regroupant les organismes sur la base du partage de caractères communs exclusifs par rapport aux organismes qui ne présentent pas ces caractères. Dans un registre phylogénétique, les caractères servant de base au regroupement d'organismes au sein d'un groupe monophylétique peuvent évoluer au sein d'un groupe. C'est ainsi que la chlorophylle disparaît par perte secondaire chez les Angiospermes holoparasites, sans que cela ne remette en cause la validité de ce caractère. Ainsi préciser le qualificatif « chlorophylliens » derrière le nom « végétaux » est redondant et donc inutile. Chercher un critère qui soit présent de manière absolue chez tous les organismes regroupés indique donc une confusion inconsciente entre le tri et la classification phylogénétique. De plus, l'obstacle du « critère absolu » que nous venons de caractériser renvoie probablement de manière plus générale à *l'obstacle essentialiste*. « L'essentialisme consiste à penser que les objets naturels sont intrinsèquement porteurs d'une essence idéale qui les transcende. L'idée, ou les concepts, ont une existence indépendante qui préexiste aux objets auxquels ils se rapportent » (Lecointre *et al.*, 2009, p. 24). La pensée essentialiste définit un végétal par des caractéristiques idéelles, immatérielles : un végétal serait par essence vert. La pensée essentialiste constitue donc un obstacle pour envisager l'évolution biologique.

L'analyse des entretiens a révélé deux autres obstacles qui entravent la problématisation dans un registre évolutif et que nous présentons ci-après.

4.2. Algues rouges et brunes : des végétaux non verts donc non chlorophylliens

Certains entretiens (comme ceux de Tom ou Elodie) montrent une problématisation ultra simpliste, décrite en figure 3 : « les algues rouges et brunes ne sont pas vertes, or la chlorophylle est verte donc les algues rouges et brunes ne sont pas chlorophylliennes ». De manière cohérente, ils expliquent ensuite leur nutrition comme étant hétérotrophe. Les végétaux étant définis par leur autotrophie, cela conduit à exclure ces algues des végétaux ! Cette conception empêche de considérer certaines algues comme étant autotrophes donc végétales. Elle traduit la prédominance du niveau macroscopique, constituant un élément du registre empirique sensoriel, face au registre théorique. Astolfi & Peterfalvi (1993, p. 109) parlent de *l'obstacle « primat de la perception sur la conceptualisation »*. Cet obstacle est peut être renforcé par certains enseignements de physiologie végétale à l'université dont les

modèles sont bien souvent uniquement des « organismes verts ». Il semblerait alors important de travailler cet obstacle dans les enseignements et de construire la nécessité de la présence de chlorophylles pour réaliser la photosynthèse chez tous les organismes photosynthétiques.

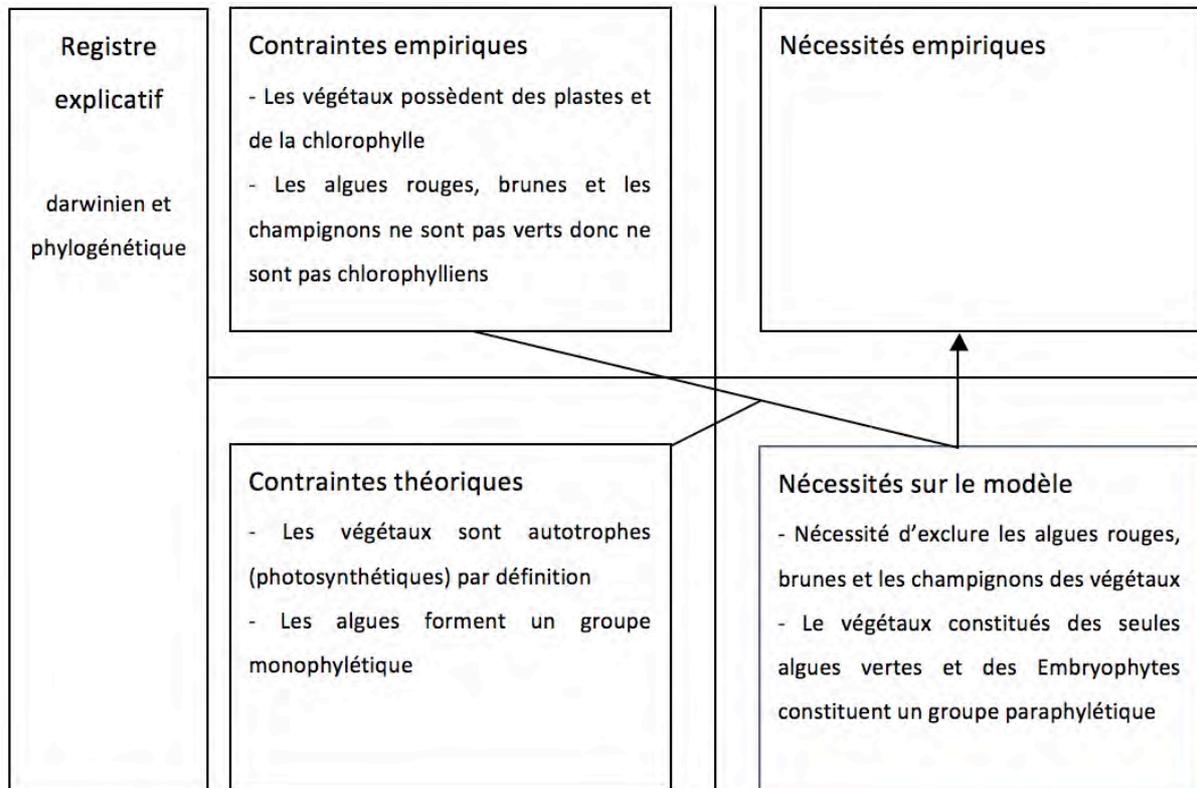


Figure 3. Espace des contraintes et des nécessités modélisant la problématisation de Tom

4.3. Difficultés causées par le terme « thalle »

L'appareil végétatif des algues et des champignons a été historiquement appelé thalle. Ce concept est défini de manière privative comme l'absence d'une tige feuillée (le cormus). L'entretien de Frédéric, dont un extrait est indiqué ci-après, montre que le concept de thalle permet à cet étudiant de définir dans un premier temps les algues, partageant ce caractère. Mais l'explicitation permise par les questions du chercheur a entraîné une remise en cause de la définition initiale des algues proposée par l'étudiant.

15. Chercheur : (...) et par rapport aux algues / qu'est ce que cela comprend et qu'est ce qui fait qu'on les regroupe dans les algues ?
16. Frédéric : algues c'est tout ce qui est constitué d'un **thalle** / euh donc il n'y a pas de cormus (...)
19. Chercheur : (...) donc les algues on les regroupe parce qu'elles ont un thalle c'est ça / c'est ça le point commun ?
20. Frédéric : ouais mais il y a aussi les algues / celles qui sont filamenteuses / je sais pas si on appelle cela un thalle / je pense pas (...)
21. Chercheur : ce serait quoi du coup le thalle alors ?
22. Frédéric : c'est en fait un double feuillet cellulaire / euh pas vascularisé //
25. Chercheur : (...) et donc les algues tu dis ça comprend quels / au niveau de la classification cela comprend quels groupes ? /
26. Frédéric : je saurais pas répondre à ça
27. Chercheur : quel type d'algues / quels exemples d'algues ?
28. Frédéric : ah bah algues rouges algues vertes filamenteuses / euh / il y a aussi les unicellulaires

29. Chercheur : donc t'as cité ensuite les végétaux unicellulaires / tu les mets dans les algues ou c'est indépendant ?

30. Frédéric : ah bonne question / euh non c'est indépendant / c'est indépendant / c'est indépendant du coup **je saurais pas comment définir une algue précisément**

Le concept de thalle, synonyme d'une totale vacuité, est nullement opératoire pour définir les algues, car il désigne tout et n'importe quoi tant au niveau structural qu'au niveau évolutif. Le concept de thalle donne une fausse image d'unité aux algues et n'aide pas à percevoir la vraie nature du groupe « algues » : un groupe fonctionnel mais polyphylétique. Le thalle semble donc constituer un *obstacle-facilité* au sens d'Astolfi & Peterfalvi (1993). C'est un terme « magique » qui peut donner l'illusion de désigner l'appareil végétatif des algues alors qu'en réalité il ne désigne rien et n'a aucune fonctionnalité en terme évolutif.

5. Conclusion

Notre étude étant limitée à dix entretiens, la portée de nos conclusions est par nature limitée et il faut se garder d'une généralisation hâtive. Des recherches complémentaires en cours portant sur un échantillon plus large permettront d'accéder à un niveau de généralité plus grand. Ces précautions étant prises, il convient de souligner que cette étude de cas a permis de pointer certaines difficultés à problématiser les questions relatives à l'évolution et la classification des végétaux chez des étudiants de master 2 « enseignement SVT ». Outre l'obstacle du « critère absolu », nous avons pu également montré lors des entretiens la persistance au niveau M2 d'obstacles décrits par certains chercheurs chez des élèves du secondaire. Citons notamment l'*obstacle transmutationniste* pour qualifier la conception très répandue assimilant l'évolution à la métamorphose d'un individu (Lecointre *et al.*, 2009, p. 162 et Lhoste & Gobert, 2009). Il s'agirait alors d'un obstacle-facilité (Astolfi & Peterfalvi, 1993) qui empêcherait de construire les mécanismes de l'évolution. Les schémas classiquement présentés pour expliquer l'endosymbiose pourraient renforcer implicitement cet obstacle transmutationniste. En effet, les flèches entre les différentes cellules pourraient laisser supposer qu'il s'agit d'évènements entre les mêmes organismes et non pas leurs descendants.

Bibliographie

Astolfi, J. P., & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, 103-141.

Bachelard, G. (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris: PUF.

Bosdeveix, R. (2011). *Le concept de végétal : analyse didactique chez des étudiants de master 2 se destinant à l'enseignement des SVT*. Mémoire de master 2 de didactique des disciplines, Université Paris Diderot - Paris 7.

Canguilhem, G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris: Vrin.

Fabre, M. (1999). *Situations-Problèmes et savoir scolaire*. Paris : PUF.

Gobert, J., & Lhoste, Y. (2011). Démarches d'investigation et problématisation en classe de SVT : Quelle mise en œuvre par des enseignants débutants ? (STEAM Grenoble).

Lecointre, G. (2009). *Guide critique de l'évolution*. Paris: Belin.

Lhoste, Y. (2008). *Problématisation, activités langagières et apprentissage dans les sciences de la vie. Étude de quelques débats scientifiques dans la classe dans deux thèmes biologiques : Nutrition et évolution. Université Nantes CREN*. Doctorat de didactique, <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00376892/fr/>

Lhoste, Y., & Gobert, J. (2009). L'espèce, outil / obstacle pour comprendre l'évolution des espèces : L'exemple d'une problématisation scolaire en première ES. (*Sixièmes rencontres scientifiques de l'ARDiST*, Nantes, 14 - 19 octobre 2009).

Lhoste, Y., & Peterfalvi, B. (2009). Problématisation et perspective curriculaire en SVT : L'exemple du concept de nutrition. *Aster*, 49, 79-108.

Mayr, E. (1989). *Histoire de la biologie: Diversité, évolution et hérédité*. Paris : Fayard.

Mayr, E. (1998). *Qu'est-ce que la biologie?* Paris : Fayard.

Orange, C. (1994). Les modèles de la mise en relation au fonctionnement. In *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Martinand J-L (dir.). Paris : INRP.

Orange, C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'éducation non publié, université de Nantes.

Orange, C. (2003). Débat scientifique dans la classe, problématisation et argumentation: Le cas d'un débat sur la nutrition au cours moyen. *Aster*, 37, 83-107.

Orange, C. (2005). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences De L'éducation, Pour L'ère Nouvelle*, 38(3), 69-93.

Orange-Ravachol, D. (2003). *Utilisations du temps et explications en sciences de la terre par les élèves de lycée : Étude dans quelques problèmes géologiques. Université Nantes CREN*. Doctorat de didactique, <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00480254/fr/>

Selosse. (2008). Que sont devenus animaux, végétaux et champignons ? In *Peut-on classer le vivant? Linné et la systématique aujourd'hui*. Prat, Raynal-Roques & Roguenant (dir.). (p. 225-233). Paris: Belin.

Vygotski, L. S. (1937/1998). *Pensée et langage*. Paris: Ed. La dispute.

Intégration des TICE dans l'activité d'enseignement : enquête exploratoire dans le cadre de l'étude de la mise en œuvre de la démarche d'investigation

Pascale Brandt-Pomares, Univ. de Provence Aix-Marseille, IUFM ; UMR P3 ADEF, Univ. Provence, Ens de Lyon - Ifé, GESTEPRO ; p.brandt-pomares@univ-provence.fr

Mots clés : Démarche d'investigation, TICE, activité d'enseignement, instrument, SVT, Physique-chimie, Technologie

Résumé : L'intégration des TICE dans les enseignements basés sur la démarche d'investigation est étudiée à partir d'un questionnaire administré auprès d'enseignants de sciences de la vie et de la Terre, de physique-chimie et de technologie. Les réponses, notamment à travers les affordances perçues par les enseignants, permettent de commencer à appréhender le rôle d'instrument que les TICE jouent dans l'activité d'enseignement

1. Contexte de la recherche : les TICE et la démarche d'investigation

En suivant les préconisations supranationales (OCDE, 2008) qui enjoignent les systèmes éducatifs à lutter contre la désaffection des élèves pour les sciences et technologies, de nombreux curriculums visent le développement d'une culture scientifique pour tous (Boilevin, 2010). En France, la démarche d'investigation apparaît dans les programmes du collège comme une méthode privilégiée pour l'apprentissage des sciences et de la technologie. (M.E.N, 2005). Sa mise en œuvre interroge l'évolution des pratiques d'enseignement (Boilevin, Brandt-Pomares, 2011).

Indépendamment de ces prescriptions, les technologies de l'information et de la communication pour l'enseignement (TICE) font aussi l'objet de multiples incitations institutionnelles ; équipements, certification B2I, développement d'applications dédiées (espaces numériques de travail, cahiers de textes numérique, sites web, logiciels,...). Corollaire du développement de potentialités technologiques qui évoluent et se diffusent dans la société, l'usage des TICE progresse aussi dans le système éducatif français. Au collège, le phénomène a dorénavant gagné tous les enseignements, même si les disciplines comme les mathématiques, les sciences et la technologie, sont traditionnellement plus concernées. Certaines parce que l'usage de l'informatique fait aussi l'objet d'enseignements spécifiques (tableur en mathématiques, CAO en technologie,...) (Brandt-Pomares, Boilevin, 2009, 2008). Au-delà des objets d'enseignement liés aux technologies de l'information et de la communication, les incitations concernent les TICE en tant que moyen d'enseignement, et ce, quelle que soit la discipline.

Mais du travail prescrit au travail réel se joue la manière dont les attentes institutionnelles, quelles soient en l'occurrence liées à la démarche d'investigation ou au TICE, se traduisent *in fine* dans leur mise en œuvre par les enseignants et en particulier, dans la relation indissociable entre ce qui est enseigné et la manière de l'enseigner.

2. Références théoriques

2.1. Activité instrumentée

Dans la psychologie soviétique, l'activité se caractérise par l'intentionnalité. Elle donne du sens aux actions du sujet et organise l'activité en fonction d'un but (Leontiev, 1974, 1975 ; Luria, 1979 ; Vernant, 1997 ; Vygotski, 1985). Nous considérons l'enseignement comme une activité. L'activité du professeur, finalisée par l'apprentissage des élèves.

L'activité constitue une structure hiérarchique dynamique à trois niveaux de relations entre le sujet et l'objet (Léontiev, 1975 p.119-120). Une activité est associée à un motif, une action à un but et une opération à des conditions nécessaires à son exécution. L'activité forme un tout dans lequel actions et opérations sont dans une relation dynamique qui permet aux actions de devenir des opérations au fur et à mesure de leur intégration.

Les processus mis en œuvre dans l'activité s'expliquent par l'emploi d'outils et l'application de moyens. Pour différents auteurs l'instrument recouvre des caractéristiques différentes qui ont pour trait commun de lui accorder une place de médiateur entre le sujet et l'objet. Simondon (1989), met en avant ce que les systèmes techniques permettent de faire. L'outil et l'instrument seraient, par analogie biologique, des prolongements qui interviendraient sur le milieu comme des effecteurs pour réaliser des opérations dans le cas de l'outil et prélever des informations, comme nos sens perçoivent, dans le cas de l'instrument. Dans ce cas, le système opératif pourrait se substituer à l'activité du sujet et s'en affranchir comme le montrent les évolutions de lignées chez Deforge (1985) où un des moteurs de l'évolution des objets consiste à permettre au sujet, soit de faire des choses qui ne seraient pas possibles sans, soit de le décharger d'une part souvent pénible ou dangereuse de l'activité.

Rabardel associe l'instrument à l'action du sujet pour l'exécution d'une tâche. Ce que Rabardel définit très précisément comme instrument n'existe pas par nature. L'artefact (outil, instrument¹³, objet technique, OMF¹⁴) 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 une chose susceptible d'un usage qui devient un instrument dans l'usage qui en est fait (id, p. 59).

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.

Comme le montre la Figure 1, Engeström accorde aussi à l'artefact une place de médiation entre le sujet et l'objet et intègre la dimension collective (communauté, règles de division du travail) de l'activité.

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. Ainsi le recours aux TICE permet de penser les situations d'enseignement comme des situations d'activité instrumentée dans lesquelles l'usage des TICE constitue un des moyens d'action de l'enseignant dans son travail.

¹³ 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.

¹⁴ *Objet Matériel Fabriqué (Rabardel, Vérillon, 1985)*

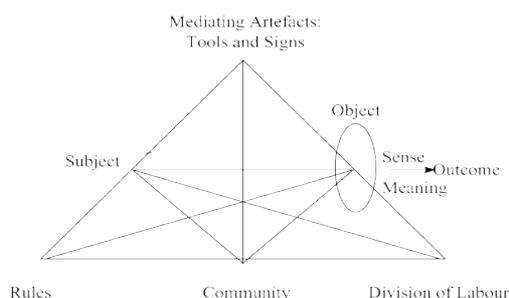


Figure 1. Structure de l'activité (Engeström, 1987; Engeström & Sannino, 2010, p. 6)

Pour Gibson (1977, 1979) et Norman (1988) l'affordance, reprise par Rabardel (1995, p. 124), désigne les propriétés et fonctionnalités attribuées à l'objet qui conditionnent son utilisation - comme un siège sert à s'asseoir- (Leplat, 2000, pp. 75-76; Norman, 1988, p. 9; 1993, p. 105). Quelle que soit l'affordance réelle, c'est l'affordance perçue, c'est-à-dire la perception des potentialités attribuées à l'objet que les enseignants se font des TICE qui conditionne leur usage.

2.2. Approche didactique

La didactique considère les situations de transmission appropriation conjointement au(x) savoir(s) en jeu dans ces situations (Johsua & Dupin, 1993). La transposition didactique révèle l'impossibilité de distinguer le savoir de la manière dont il est enseigné. Les TICE et la DI sont donc consubstantielles au système didactique ternaire qui lie le professeur, le savoir et l'élève.

À propos de la démarche d'investigation, les programmes

visent le développement d'une culture scientifique donnant une image plus riche et diversifiée des démarches scientifiques. Il s'agit de laisser plus d'autonomie aux élèves en proposant des tâches plus ouvertes et des activités de plus haut niveau cognitif. Les tâches de type « hands'on » ou de type investigation scientifique sont alors souvent utilisées dans le but de jouer un rôle important dans la motivation et l'intérêt pour les sciences en s'appuyant sur des modèles didactiques (pas toujours explicitement) de type socioconstructiviste mettant en œuvre des situations de la vie réelle. On passe ainsi d'activités centrées sur des apprentissages manipulatoires ou conceptuels, organisées en démarches stéréotypées, à des démarches d'investigation ouvertes avec élaboration de questions, formulation d'hypothèses, etc. (Boilevin et Brandt-Pomares, 2011, p.52)

Appréhender la démarche d'investigation en tant que mode d'enseignement pris indépendamment du savoir, ne permet pas de rendre compte de l'intégralité des processus à l'œuvre dans les situations d'enseignement-apprentissage pas plus qu'une approche générique des TICE ne peut suffire à rendre complètement compte de leurs effets sur les situations d'enseignement-apprentissage que les enseignants mettent en œuvre (Brandt-Pomares, 2011). Ces approches méritent d'être spécifiées en fonction de la discipline, de l'enseignement concerné et encore plus précisément du savoir en jeu dans chaque situation. Du point de vue de son épistémologie comme de sa forme institutionnelle, le savoir s'inscrit dans une discipline scolaire. Cependant, les préconisations à l'égard des TICE ont un caractère général dont la portée s'étend indépendamment des disciplines et donc au-delà des disciplines concernées par la démarche d'investigation. Pour autant, les TICE sont complètement intriquées aux enseignements. De ce point de vue, les considérer comme moyen d'enseignement contribue à les appréhender autrement que pour leur caractère générique.

Considérer un ensemble de disciplines proches, soumises aux mêmes injonctions relatives à la méthode d'enseignement préconisée constitue une première approche en ce sens.

3. Questions de recherche

Dans le cadre d'une étude plus large qui s'intéresse à la mise en œuvre d'enseignements basés sur l'investigation (Boilevin et Al., sous presse, 2010 ; Boilevin & Brandt-Pomares, 2011 ; Boilevin, Morge, & Delserieys, 2010), notre communication présente les premiers résultats d'une enquête exploratoire à propos de l'usage des TICE dans leur enseignement par des enseignants de sciences de la vie et de la terre (SVT), de physique-chimie et de technologie. Si l'usage procède bien de la mise en œuvre de TIC pour l'enseignement, un premier niveau d'interrogation porte sur la perception des TICE qu'ont les enseignants de ces disciplines lorsqu'ils mettent en œuvre un enseignement relatif à la démarche d'investigation. D'un point de vue théorique les TICE peuvent jouer le rôle d'instruments au sens que leur donne Rabardel (id.) dans les situations d'enseignement-apprentissage. Les affordances perçues par les enseignants permettent d'analyser les potentialités des TICE qu'ils retiennent. En d'autres termes il s'agit d'identifier les moyens que les professeurs décident d'intégrer à leur enseignement. L'étude concerne un même mode d'enseignement qui comme tous les modes d'enseignement ne rend que partiellement compte de la transmission appropriation de savoirs spécifiques. D'ailleurs l'apparition dans des disciplines différentes empêche de centrer l'analyse sur un savoir particulier. Pour autant, dans une première approche nous cherchons à identifier la manière dont les enseignants de physique-chimie, de SVT et de technologie perçoivent et s'approprient les TICE dans le cas précis de la mise en œuvre de la démarche d'investigation. Notons que les préconisations concernant les TICE et la démarche d'investigation pèsent d'un point de vue institutionnel sur les pratiques enseignantes des enseignants des trois disciplines quel que soit les savoirs enseignés. Sans lien explicite dans les préconisations, démarche d'investigation et TICE concernent l'organisation des mêmes situations d'enseignement apprentissage.

L'étude de la mise en œuvre des TICE dans les pratiques d'enseignement liées la démarche d'investigation permet d'en saisir certains mécanismes et notamment d'en appréhender la diffusion dans les situations dans lesquelles TICE et démarche d'investigations sont tout aussi indissociables des savoirs en jeu. Elle nous renseigne sur la manière dont les TICE interviennent et si elles interviennent dans l'activité d'enseignement.

4. Données recueillies

Rendre compte des pratiques réelles suppose une analyse de l'activité forcément limitée quant aux nombres de sujets étudiés. Pour autant, certaines données en lien direct avec l'activité peuvent rendre compte à la fois de l'intentionnalité qui donne du sens à l'activité (Leontiev, 1974, 1975 ; Luria, 1979 ; Vernant, 1997 ; Vygotski, 1985) et de la diffusion de certains usages. Dans cette communication les données recueillies pour savoir si les enseignants ont recours au TICE, et pourquoi ils choisissent d'y recourir, proviennent des réponses obtenues à un questionnaire en ligne, renseigné de manière anonyme par des enseignants des trois disciplines : SVT, Physique-Chimie et Technologie. L'adresse du questionnaire a été diffusée par le biais de listes de diffusion professionnelles. L'intégralité du questionnaire porte sur la formation des enseignants, leur appropriation de la démarche d'investigation et la mise en

œuvre qu'ils en font (cf. Annexe). Ce sont les réponses obtenues à la partie concernant la mise en œuvre de la démarche d'investigation qui nous permettent de savoir ce que les enseignants déclarent à propos de l'usage qu'ils font des TICE. Même si leurs réponses ne reflètent pas exactement leur pratique réelle, elles révèlent les intentions qu'ils acceptent de donner à voir, les représentations qu'ils se font de leurs usages professionnels et nous éclairent sur l'intégration des TICE dans leur enseignement.

5. Résultats

Parmi les 163 enseignants ayant volontairement suivi le lien hypertexte pour répondre au questionnaire, plus d'enseignants de physique-chimie (42%) que de SVT (29%) ou de technologie (29%) se sont sentis concernés, comme le montre la répartition de la population interrogée dans la **Figure 2**. Les enseignants des 3 disciplines déclarent très majoritairement (80%) utiliser les TICE pour mettre en œuvre la démarche d'investigation en classe.

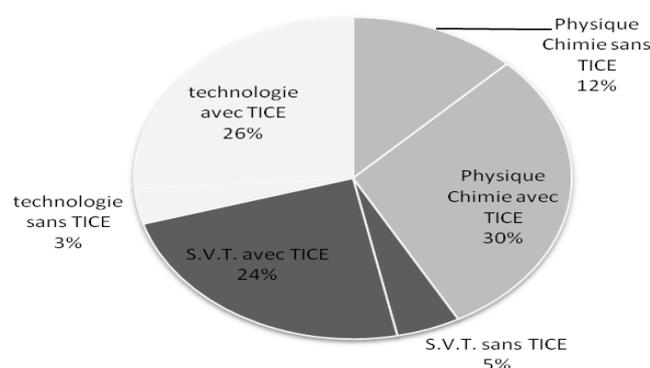


Figure 2. Répartition des enseignants selon leur discipline et l'usage des TICE (%)

Tous les enseignants interrogés disent connaître la démarche d'investigation, mais ils ne sont qu'une moitié à déclarer la mettre en œuvre fréquemment (48%). Ils se rejoignent tous concernant deux aspects : le peu de formation reçue et inversement le nombre important d'échanges avec des collègues à ce sujet. Cette importance donnée à la dimension d'échanges entre enseignants se confirme à propos des ressources auxquelles les enseignants recourent. Les sites personnels de professeurs obtiennent des scores proches des manuels scolaires ou des sites académiques (cf ; Figure 3) qui constituent des références traditionnelles en termes de transposition didactique externe. Ainsi des échanges de pratiques entre enseignants qui ne se connaissent pas et qui peuvent être très éloignés géographiquement peuvent se faire grâce aux TICE. En cela les TICE contribuent à l'inscription dans une communauté.

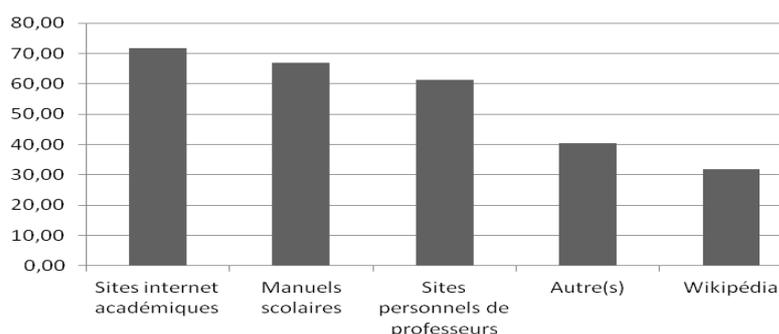


Figure 3. Ressources citées par les enseignants en pourcentage

À propos des ressources citées par les enseignants, les réponses classées dans *Autre(s)* (cf. figure 3) peuvent se subdiviser en deux. Les réponses qui sans les exclure ne font pas explicitement référence aux TICE mais à des types de supports divers : documents personnels, journaux, vidéos, catalogues, photos, ouvrages...et celles qui font explicitement références aux TICE : CD ROM, logiciels, Google, You tube,... Il est à noter que coexistent différents types de ressources qui se caractérisent davantage par leur variété que par la nature des technologies qui en sont à leur origine. Un journal, une photo ne fait pas référence explicitement au TICE mais devient de plus en plus facilement accessible grâce à Internet. Ce qui semble marquant c'est la coexistence des différents types de ressources variées. Les TICE ne chassent pas les autres ressources mais pouvant au contraire en faciliter l'accès. Une technologie ne chassent pas forcément l'autre mais décuplant ses potentialités et rendant possible l'accès à de plus en plus de ressources, même si quelques réponses soulignent des difficultés à trouver des ressources sur la démarche d'investigation ou le fait que certaines soient très récentes. Les deux exemples suivants sont représentatifs de l'écart entre les différentes réponses :

Tout ce que je peux trouver sur internet qui me donne des idées pour ce nouvel enseignement.

Il vient tout juste de sortir un livre "la démarche d'investigation" Delagrave pour la techno. Pour l'instant je ne connais rien d'autre.

À la question 21 (cf. Annexe) : « selon vous, qu'est-ce qui a le plus influencé la manière dont vous mettez en œuvre la démarche d'investigation ? », deux réponses sont libellées par les enseignants eux-mêmes :

La gigantesque bibliothèque mondiale que représente internet.

Les nouvelles technologies, la numérisation des ressources.

Elles montrent non seulement que les TICE sont considérées pour leur apport en comparaison des autres technologies (livres, ressources existantes...) mais que l'accès aux ressources, cité spontanément, est une affordance perçue par les enseignants qui voient dans l'accès au ressources un potentiel d'aide à l'enseignement apportée par les TICE.

Certains dispositifs apparaissent majoritairement utilisés, comme l'utilisation du vidéoprojecteur qui obtient un score de 77,9%. Ce taux élevé, plus élevé que le recours à Internet, rend compte d'une utilisation qui tend à devenir automatique. Avec le vidéoprojecteur, d'autres formes d'apprêt du savoir peuvent être exposées aux élèves (animations,...) ou, tout au moins, les formes d'exposition du savoir peuvent être plus nombreuses, plus variées, ou plus facilement accessibles qu'avec le tableau (qu'il soit noir ou blanc).

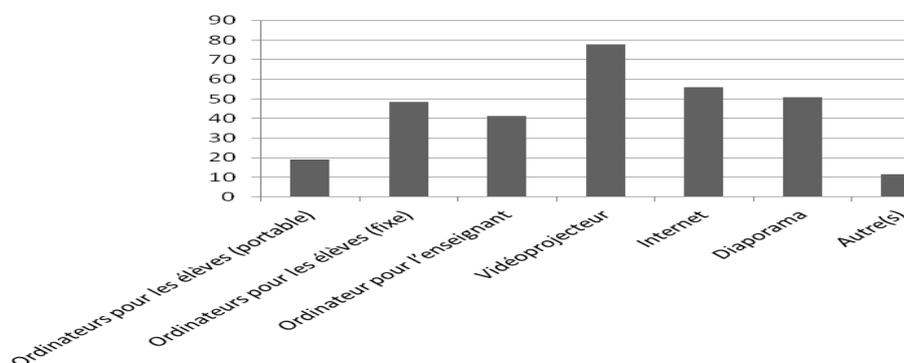


Figure 4. Dispositifs informatiques utilisés (%)

Les 11,6% (cf. figure 4) qui déclarent utiliser d'autres dispositifs que les choix proposés n'évoquent que peu d'autres types de dispositifs. Un enseignant de SVT signale produire ses propres logiciels. Trois enseignants des trois disciplines mentionnent une webcam, des

animations Flash et un tableau blanc interactif. Deux professeurs de technologie déclarent utiliser des maquettes et didacticiels. Deux autres enseignants de SVT évoquent l'EXAO et des Tablettes PC, et le microscope numérique.

L'usage d'ordinateurs pour les élèves ou l'enseignant, qu'ils soient fixes ou portables, du vidéoprojecteur, d'Internet et des diaporamas semblent couvrir l'essentiel des pratiques les plus répandues.

6. Conclusions et perspectives

D'après leurs déclarations, les enseignants sont largement influencés par les nouvelles prescriptions. Ces premiers résultats montrent que les enseignants ont l'intention de recourir aux TICE pour enseigner quand ils mettent en œuvre la démarche d'investigation. Sans pouvoir aborder le rôle, directement lié au savoir en jeu, que jouent les dispositifs dans la situation d'enseignement, la didactique de la discipline enseignée est concernée par la dimension d'accès aux ressources. Pour les enseignants l'accès aux ressources est intimement lié à la démarche d'investigation. Ils accordent une grande importance au questionnement qu'ils veulent susciter chez les élèves. Cet aspect de la démarche d'investigation est particulièrement sensible à propos de la question de départ (la situation déclenchante,...) pour laquelle le recours aux TICE que les enseignants opèrent est au service de l'activité d'enseignement du fait de sa capacité à évoquer le réel (vidéo, image,...). Plus globalement leurs pratiques déclarées quant à l'usage des TICE sont ancrées dans le collectif par les nombreux échanges entre enseignants qui sont mis en avant. Ils utilisent les TICE comme instrument pour adapter leur enseignement et favoriser l'apprentissage par la mise en œuvre de la démarche d'investigation.

Bien que limitée, cette étude exploratoire nous permet d'observer une intégration certaine des TICE aux pratiques d'enseignement. Alors que le rôle joué par les dispositifs informatiques n'est pas le même au sein des disciplines, une analyse à partir d'un échantillon représentatif des enseignants des trois disciplines permettrait de comparer l'impact du rôle que jouent les TICE dans chaque discipline vis-à-vis de la démarche d'investigation notamment eu égard au fait que les TICE, contrairement aux SVT et aux sciences physiques ne sont pas seulement moyen mais aussi objet d'enseignement en technologie (Brandt-Pomares & Boilevin, 2008, 2009). Dans cette perspective didactique, l'analyse de l'activité réelle doit permettre de mieux cerner le rôle joué par les TICE en tant qu'instrument pour l'enseignement de tel ou tel savoir identifié. L'analyse de l'activité réelle d'enseignants ayant répondu au questionnaire et ayant fait l'objet d'observations filmées dans chacune des disciplines est envisagée pour approfondir l'étude de l'intégration des TICE dans l'activité d'enseignement.

Bibliographie

Boilevin, J.-M., Brandt-Pomares, P., Givry, D., & Delserieys, A. (sous presse). L'enseignement des sciences et de la technologie fondé sur l'investigation : étude d'un dispositif collaboratif entre enseignants de collège et chercheurs en didactique. In B. Calmettes (Ed.), *Démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation* (pp. 214-234). Paris: L'Harmattan.

Boilevin, J.-M., & Brandt-Pomares, P. (2011). Démarches d'investigation en sciences et technologie au collège : les conditions d'évolution des pratiques. In M. Grangeat (Ed.), *Les*

démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves (pp 51-62). Lyon: ENSL.

Boilevin, J.-M. (2010). *Contribution à la réflexion sur la rénovation de l'enseignement des sciences physiques dans l'enseignement secondaire. Quelques apports de la didactique des sciences*. Note de synthèse pour l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches, Marseille, Université de Provence.

Boilevin, J.-M., Brandt-Pomares, P., Givry, D., & Delserieys, A. (2010, septembre). *Démarches d'investigation en sciences et en technologie : quelle appropriation par des enseignants de collège ?* Paper presented at the Congrès d'Actualité de la Recherche en Éducation et en Formation, Genève, Suisse.

Boilevin, J.-M., Morge, L., & Delserieys, A. (2010, août). *Inquiry-based physics education in French middle school*. Paper presented at the GIREP EPEC Conference Frontiers of Physics Education, Reims, France.

Brandt-Pomares, P. (2011). L'intégration des TICE dans les pratiques des enseignants de sciences et technologie à propos de la démarche d'investigation. In G.-L. Baron, E. Bruillard & V. Komis (Eds.), *Sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC) en milieu éducatif : Analyse de pratiques et enjeux didactiques*, (Vol. Posters du quatrième colloque international DIDAPRO 4, pp. 65-68). Université de Patras: Athènes : New Technologies Editions.

Brandt-Pomares, P., & Boilevin, J.-M. (2009). Ordinateurs portables et médiations dans l'enseignement : le cas de deux situations en physique et en technologie. In J.-L. Rinaudo & F. Poyet (Eds.). *Environnements numériques en milieu scolaire. Quels usages et quelles pratiques* (pp. 83-105). Lyon: INRP.

Brandt-Pomares P., & Boilevin J.-M. (2008). Didactique des sciences physiques, didactique de la technologie, et usage des TICE, *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, Vol. 4, n. 2, june, pp. 245-254.

Deforge, Y. (1985). *Technologie et génétique de l'objet industriel*, Paris : Maloine, Université de Compiègne, 196 p.

Delserieys-Pedregosa, A., Boilevin, J.-M., Brandt-Pomares, P., & Givry, D. (2011). Inquiry-based science education : how secondary school teachers see it ? *Actes de l'ESERA*. Lyon: ESERA.

Engeström, Y. (1987). *Learning by Expanding: An Activity-Theoretical Approach to Developmental Research*. Helsinki: Orienta-Konsultit Oy.

Engeström, Y., & Sannino, A. (2010). Studies of expansive learning: Foundations, findings and future challenges. *Educational Research Review*, 5(1), 1-24.

Gibson, J. J. (1977). The Theory of Affordances. In R. E. Shaw & J. Bransford (Eds.), *Perceiving, Acting, and Knowing: Toward an Ecological Psychology* (pp. 67-82). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.

Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.

Johsua, S. & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Paris, Presses Universitaires de France.

Leplat, J. (2000). *L'analyse psychologique de l'activité en ergonomie. Aperçu sur son évolution ses modèles et ses méthodes*. Toulouse : Octares.

Léontiev, A. (1974). The problem of activity in psychology. *Soviet Psychology*, 13, pp. 14-33.

- Léontiev, A. (1975). *Activité, conscience, personnalité*, Moscou, Éditions du progrès.
- Luria, A. (1979). *The making of mind: A personal account of Soviet Psychology*, Cambridge M.A., Harvard University Press.
- MEN (2005). (Ministère de l'Éducation Nationale) Programmes des enseignements de mathématiques, de physique-chimie, de sciences de la vie et de la Terre, de technologie pour les classes de sixième, de cinquième, de quatrième et de troisième du collège. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, Hors Série n°5 du 25 août 2005.
- Norman, D.A. (1988). *The psychology of every things*. New York: Doubleday.
- Norman, D.A. (1993). *Things that make us smart: Defending human attributes in age of the machine. : Reading MA*. Addison-Wesley Publishing Company Inc.
- OCDE. (2008). (Organisation de coopération et de développement économiques) *Encouraging student interest in science and technology studies: global science forum*. Direction de la Science, de la technologie et de l'industrie. Paris: OCDE.
- Rabardel, P. & Vérillon, P. (1985). Relations aux objets et développement cognitifs, In A. Giordan et J.-L. Martinand (Eds.), *Actes des septièmes journées internationales sur l'éducation scientifique* (pp. 189-196). Paris: LIRESP, Université Paris VII.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: Armand Colin Éditeurs.
- Simondon, G. (1989). *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris : Aubier, 2e éd, 336 p.
- Vernant, D. (1997). *Du discours à l'action. Formes sémiotiques*, Paris, PUF.
- Vygotski, L.V. (1985). *Pensée et Langage*, Paris, Messidor/ Éditions sociales.

Annexe : Questionnaire

1. Quelle discipline enseignez-vous ? *Texte libre*
2. Dans quel type de collège exercez-vous ? *Urbain/Rural*
2. Dans quel type de collège exercez-vous ? *Moins de 300 élèves/Entre 300 et 600 élèves/Plus de 600 élèves*
3. Le public des élèves accueillis par votre collège est-il ? *Favorisé/Mixte socialement, plutôt favorisé/Mixte socialement, plutôt défavorisé/Défavorisé*
4. Depuis combien d'années enseignez-vous ? *Moins de 2 ans Entre 2 et 5 ans/Entre 5 et 15 ans/15 ans ou plus*
5. Connaissez-vous la démarche d'investigation ? *Oui/Non*
6. Mettez-vous en œuvre la démarche d'investigation dans votre enseignement ?
Jamais/Rarement/Occasionnellement/Fréquemment
7. Pourriez-vous dire en quelques mots ce qu'est pour vous la démarche d'investigation ? *Texte libre*
8. Vous mettez en œuvre la démarche d'investigation depuis : *Moins d'un an/Entre 1 et 2 ans/Entre 2 et 4 ans/4 ans ou plus*
9. En moyenne, combien de fois mettez-vous en œuvre la démarche d'investigation au cours d'une année scolaire pour une classe donnée ? *Texte libre*
10. Quel est, selon vous, l'intérêt d'une telle démarche ? *Texte libre*
11. Vous mettez en œuvre une démarche d'investigation plutôt pour : *Aborder une notion déjà vue en cours/Réinvestir une notion dans une situation nouvelle/Introduire une nouvelle notion/Évaluer une notion*
12. Rencontrez-vous des difficultés dans la mise en œuvre de la démarche d'investigation ? *Oui/Non* Si oui, lesquelles ? *Texte libre*
13. Quelle est, selon vous, l'importance de la situation initiale ou question de départ dans la démarche d'investigation ? *Pas importante/Peu importante /Moyennement importante/Très importante* Pourquoi ? *Texte libre*
14. La mise en œuvre de la démarche d'investigation a-t-elle modifié votre façon d'enseigner ? *Oui/Non* Si oui, en quoi ?, si non pourquoi ? *Texte libre*
15. Quel est, selon vous, ce qui distingue la démarche d'investigation des autres méthodes d'enseignement ?
Texte libre
16. Selon-vous la démarche d'investigation favorise-t-elle l'apprentissage ? *Beaucoup/Peu/Très peu/Pas du tout* Pourquoi ? *Texte libre*
17. Quels documents élèves ou supports pédagogiques utilisez-vous pour débiter une démarche d'investigation ?
Texte libre
18. A quelles ressources avez-vous recours ? *Sites internet académiques/Sites personnels de professeurs/Manuels scolaires/Wikipédia/Autre(s)* Autre(s), précisez *Texte libre*
19. Avez-vous suivi une ou des formations à propos de la démarche d'investigation ? *Oui/Non* Si oui, quels sont les points importants qui ont été abordés ? *Texte libre*
20. Avez-vous eu l'occasion d'échanger avec des collègues à propos de la démarche d'investigation? *Oui/Non* Si oui, à quelle occasion ? *Texte libre*
21. Selon vous, qu'est-ce qui a le plus influencé la manière dont vous mettez en œuvre la démarche d'investigation ? *Texte libre*
22. Utilisez-vous l'informatique dans la mise en œuvre de la démarche d'investigation en classe ? *Oui/Non*
Si oui quel(s) dispositif(s) utilisez-vous ? *Ordinateurs pour les élèves (portable)/Ordinateurs pour les élèves (fixe)/Ordinateur pour l'enseignant/Vidéoprojecteur/Internet/Diaporama/Autre(s)* Si autre(s), précisez *Texte libre* Dans quel but ? *Texte libre*
23. Avez-vous autre chose à ajouter à propos de la démarche d'investigation ? *Oui/Non* Si oui, précisez *Texte libre*

Analyse didactique pragmatique et démarches d'investigation : l'action enseignante comme compromis

**Bernard Calmettes, Univ. de Toulouse, IUFM, UMR EFTS ;
bernard.calmettes@univ-tlse2.fr**

Mots clés : Démarche d'investigation, physique, pragmatisme, rapport à l'enseigner, moment opportun, *kairos*

Résumé : Les travaux présentés dans cet article prennent place dans un projet de recherche portant sur l'analyse des actions et des pratiques ordinaires enseignantes lors de la mise en œuvre de séances avec démarches d'investigation en physique, en Collège. L'accent est mis ici sur une catégorisation de l'ensemble formé, d'une part, par la description des actions didactiques par les enseignants et, d'autre part, par les justifications qu'ils donnent de leurs actions. Cet ensemble constitue un rapport pragmatique à l'enseigner. Trois de ces rapports sont présentés et discutés. Ils mettent en évidence que les activités des enseignants peuvent être finalement analysées comme des compromis entre leurs représentations de ce que sont les démarches d'investigation, leurs connaissances didactiques, et ce qu'ils perçoivent dans le système didactique comme pouvant être des ressources ou des contraintes.

1. Introduction

L'étude présentée porte sur l'analyse de la mise en œuvre de séances avec démarches d'investigation par des enseignants débutants (stagiaires de l'IUFM) et des enseignants expérimentés (10 à 20 ans d'expérience). Les séances de classe sont ordinaires. Les objets de savoir en jeu sont ceux de la partie « électricité » des programmes de collège (élèves de 12 à 15 ans) : circuits série et dérivation avec des lampes identiques, circuits à 2 lampes et 2 interrupteurs, circuits à 3 lampes, circuit série avec 2 lampes différentes.

Les actions et les pratiques étudiées sont "ordinaires" (cf. Laborde *et al.*, 2002, 95). Le chercheur n'intervient ni dans la préparation, ni dans le déroulement des séances. Il n'y a pas de mise en place d'une ingénierie didactique ou d'une recherche-action. Il n'y a pas d'évaluation institutionnelle formative ou sommative des pratiques des enseignants, même lorsque ceux-ci sont des stagiaires. Le chercheur ne participe pas à la formation didactique de ces enseignants. Les séances sont qualifiées comme se rapportant à une « démarche d'investigation » par les enseignants eux-mêmes. La perturbation du dispositif d'observation est minimisée. Celui-ci comporte la mise en place d'un caméscope ou/et d'un enregistreur audio, et le chercheur prend position au fond de la salle.

2. Cadre conceptuel

Globalement, les démarches d'investigation (et leurs voisines anglo-saxonnes *IBSE*) sont vues comme permettant de développer un enseignement scientifique avec des options constructivistes et socioconstructivistes (par exemple Millar, 1996 ; Morge & Boilevin, 2007, 20, 156). Mathé *et al.* (2008) précisent que la démarche d'investigation « suppose un déplacement d'un point de vue transmission-application vers un cadre socioconstructiviste qui donne davantage de responsabilités aux élèves en termes de développement de démarches et d'élaboration de savoirs ». Les élèves élaborent et construisent des savoirs, l'enseignant déléguant à ceux-ci davantage de tâches d'ordre conceptuel, leur demandant de résoudre le problème posé et de participer au contrôle des productions.

Afin de pouvoir observer les séances, les pratiques et les situations, avec des enseignants débutants et des enseignants expérimentés, nous avons opté pour des outils didactiques issus de différentes théories.

Ce sont d'abord les outils issus des théories didactiques des mathématiques qui sont utilisés. Ces outils sont mis en œuvre dans la théorie des situations (Brousseau, 1998) ou dans la théorie de l'action conjointe didactique (Sensevy & Mercier, 2007) : contrat didactique, milieu didactique, topos, temps didactique, mésogénèse, topogénèse et chronogénèse. Il est important de noter que nous n'avons pas intégré ces outils dans leurs approches théoriques respectives (TSD et TACD). En effet, ces théories sont en général plutôt pensées comme offrant des opportunités pour la construction de séances afin de vérifier leur portée heuristique (cf. science normale chez Kuhn), comme permettant de discuter des conditions nécessaires pour des actions didactiques efficaces, en termes de processus d'enseignement-apprentissage, ou pour analyser des pratiques à partir d'une organisation conceptuelle préétablie. Aucune de ces deux options ne correspond à notre posture de recherche, qui est plutôt descriptive et compréhensive.

Les concepts de base : milieu, topos et temps didactiques, et leurs développements, doivent être retravaillés dans le cadre de la didactique des sciences, notamment en prenant en compte l'épistémologie scolaire de ces disciplines (cf. pour la physique : Calmettes, 2009a) ou leur intégration dans des phases didactiques (cf. pour les SVT : Orange, 2007). En tenant compte de ces restrictions ou aménagements, nous considérons que ces concepts offrent suffisamment de garantie théorique et de compatibilité entre eux pour être utilisés de manière heuristique dans le cadre d'analyse d'actions et de pratiques ordinaires en classe de sciences.

C'est ensuite une modélisation didactique pragmatique de l'action enseignante (Calmettes, 2010, 2011) qui est mise en œuvre. Ce cadre théorique repose sur des principes issus de la philosophie pragmatique (Cometti, 2010 ; Rorty, 1994) et de la sociologie pragmatique (Boltanski & Thévenot, 1991) contemporaines. Ces principes, requalifiés relativement à une étude de l'action enseignante et intégrés dans une perspective didactique théorique peuvent être déclinés ainsi :

- Ceux qui possèdent les compétences pour vivre et pour agir dans la classe sont les enseignants, leurs actions sont sensées ;
- Les enseignants sont capables de justifier *a posteriori*, lors d'entretiens, ce qui s'est passé dans la classe, leurs actions et celles des élèves ;
- Le chercheur observe et analyse les séances de son propre point de vue, sans intervenir pendant les séances, à partir de ses références didactiques ;

Le travail du chercheur consiste ensuite en la modélisation des actions et des justifications formulées par les enseignants puis en la construction d'idéaltypes des discours (action et justification) déclinés suivant des axes épistémologiques, de gestion de l'étude, et de cadre institutionnel. Ces idéaltypes constituent des "rapports pragmatiques à l'enseigner" (RPE).

Cette approche permet d'interpréter la grande variabilité observée dans les pratiques enseignantes (Calmettes, 2009b) comme relevant de différents rapports pragmatiques à l'enseigner liés à des principes particuliers (des valeurs, des priorités) justifiant des actions variées, notamment en fonction des contextes et des contingences.

Les études menées dans ce cadre ont également permis de conceptualiser, à partir d'une nécessité apparue dans les observations des séances et les discours des enseignants, les espaces de temps relativement courts dans lesquels des décisions importantes d'un point de vue de la gestion de l'étude sont prises par l'enseignant, lors des transitions d'une phase à une autre (passage d'une activité de recherche à une activité de débat par exemple), ou en utilisant les termes institutionnels, d'un moment à un autre.

Ces espaces de temps particuliers sont appelés "*kairos* didactiques pragmatiques". Le terme *kairos* (Lescout, 1996) doit être lu comme un instant opportun (sens étymologique). Le caractère opportun est déterminé par l'enseignant lui-même (d'où le qualificatif de pragmatique). Le *kairos* a des portées :

- Ontologique : le *kairos* introduit une modification dans les déroulements des actions dans la séance et donc dans les caractéristiques didactiques de la situation : milieu, contrat, topos. Si l'opportunité n'est pas saisie, le sens didactique de la séance évolue différemment. Le *kairos* est un événement historique entraînant des phénomènes généralement irréversibles.
- Épistémologique : le *kairos* conduit à une transition dans les modalités de construction des savoirs.
- Axiologique : La saisie du *kairos* implique un changement dans les types d'activités et éventuellement dans les modalités de regroupement des élèves. Par exemple, jusqu'au *kairos*, l'espace didactique des élèves, celui de l'enseignant, celui de la classe peuvent être distincts (travaux de groupe). À partir du *kairos*, la séance évolue vers la construction d'un milieu didactique pour la classe (Orange, 2007).

Afin d'appréhender au mieux les phénomènes didactiques, c'est une approche ascendante qui est mise en œuvre.

3. Aspects méthodologiques

Les recueils de données dans la classe ont été réalisés durant l'année scolaire 2009/2010. Les données sont les préparations des enseignants, les enregistrements audio ou/et vidéo des séances, des prises de notes en direct par le chercheur pendant les séances, les fiches de travail des élèves et des entretiens.

3.1. Contrat de recherche

Dans l'approche didactique pragmatique, le contrat de recherche prévoit d'une part que les enseignants réalisent une (ou des) séances avec démarche d'investigation et ensuite que les séances soient suivies d'un entretien court (tout de suite après la séance) et d'un entretien long (une heure, une quinzaine de jours après la séance). L'objectif du deuxième entretien est la description des actions et leurs justifications par l'enseignant. Pendant cet entretien, l'enseignant dispose de ses préparations et des productions des élèves. Une attention particulière est portée sur les modifications entre les déroulements et les prévisions, et sur les instants de transitions entre phases (*kairos*).

Le chercheur se présente et s'adresse ainsi à l'enseignant : « Je ne viens pas pour juger, évaluer ou aider. Je viens pour observer des situations de classe et pour vous écouter en parler. C'est vous qui, selon moi, êtes compétent à conduire des séances avec démarches d'investigation, et c'est vous qui êtes capables ensuite de justifier ce que vous avez fait. Je cherche à décrire et à comprendre ce que vous faites ; et vous pouvez m'y aider ».

La capacité de l'enseignant peut être déclinée de la manière suivante : l'acteur enseignant peut parler (jeux de langage), peut dire son agir (action), peut s'imputer (responsabilité) et justifier ses actions (responsabilité et éthique). L'entretien ne relève pas ici d'une simple conversation, il doit permettre de médiatiser une description et une compréhension des actions afin de les rendre intelligibles pour le chercheur (Ricoeur, 1986, p. 265, p. 405).

Penser que l'enseignant peut justifier son action, c'est marquer qu'au-delà du "faire" (action) et du "connaître" (savoir), l'enseignant peut exprimer ce qu'il est en tant qu'acteur professionnel de la transmission des savoirs, comment et pourquoi il construit les situations didactiques.

3.2. Spécificités de l'entretien didactique pragmatique

Il s'agit alors, pour le chercheur, de mettre en évidence dans le discours et dans le "faire" qui l'accompagne (Cavallier, 1997, pp. 53-54), des symboles aidant à comprendre le sens, les références, les logiques réflexives de l'enseignant. Il convient donc d'être à l'affût, au-delà d'une attention aux contenus des discours et de la manière avec laquelle ceux-ci sont construits (fondements des jeux de langage), de l'ensemble des signes porteurs d'une possible médiation et d'une externalisation du monde de l'enseignant : intonations, insistances, répétitions, contextes, gestes, associations de mots et d'expressions, cohérences internes, références épistémologiques, éléments d'expérience professionnelle, exemples de pratiques.

C'est l'ensemble ordonné (chronologie du déroulement de l'entretien mais avec, par abstraction, une possible mise en simultanéité des événements) et coordonné du langage (jeu de langage, logiques de la signification, de la cohérence et de la vérité), de ces signes et de ces symboles inscrits dans la durée de l'entretien, qui permet par une mise en intrigue de l'action, d'accéder aux génèses de l'intention, de l'action passée, de la justification ; et, au moins en partie, à la connaissance et au procès de pensée de l'enseignant (Ricoeur, 1986, 32, p. 405 ; Foucault, 1966, pp. 96-97). Dans l'entretien, pendant l'entretien, c'est d'abord et en priorité l'apodicticité, la cohérence et la complétude maximale du sens dans ce qui est dit par l'enseignant qui sont recherchées.

Le travail sur les chronologies des situations de classe, sur les aspects transpositifs, épistémologiques et sur la gestion de l'étude par l'enseignant, c'est-à-dire la modélisation didactique, est réalisée après l'entretien par croisement des données des corpus, c'est-à-dire des verbatims des entretiens mais aussi des divers enregistrements et autres pièces constitutives des traces des situations passées. Le principe de ce travail de reconstruction (vers la modélisation didactique pragmatiste), s'il fonde la mise en œuvre de l'entretien, en est son horizon relativement lointain au moment où l'entretien se déroule. Il n'en constitue pas la trame structurante, formalisante et ontologique pendant l'entretien.

S'il y a sens, signification et formalisation dans le discours de l'enseignant (et il y a), c'est au nom de ses formes de logique et de conceptualisation.

3.3. Analyse des entretiens

Les entretiens font donc l'objet d'une transcription verbatim. Les textes sont analysés manuellement selon la procédure suivante. Les discours sont divisés en deux grands

ensembles mis en correspondance, le premier est relatif aux actions, le deuxième aux justifications.

Les connecteurs logiques permettent globalement de repérer les temporalités dans les actions (dans le même temps, d'autant que, puis, alors, et, après), et les justifications (car, donc, parce que, mais). Les verbes des phrases concourent au même objectif : « je regarde », « j'écris », « je circule » (action), « je cherche », « je veux », « j'aimerais », « je m'interroge », « il faut absolument » (justification).

Les actions (au sens large : verbale, déplacement, réflexion) sont agencées à partir des découpages que réalise l'enseignant lorsqu'il décrit la séance. Certaines ont des durées longues (« j'aide les élèves en difficulté »), d'autres sont très brèves et sont soutenues dans un rythme important. C'est par exemple le cas dans les phases de débat (« je regarde qui veut parler », « je me souviens de ce qu'il a fait », « j'écris », etc.). Une action est présentée dans une dynamique : elle a un avant, elle se déroule dans un contexte (un moment de la situation, une interaction, une demande), elle donne généralement lieu à une conséquence (qu'arrive-t-il ?), elle est analysée par l'acteur de manière variée (cf. décision dans les résultats et dans la conclusion).

Les justifications sont associées aux actions quasi-systématiquement. Quelquefois, le chercheur interroge de manière directe « pourquoi [telle action] ? »

4. Quelques résultats¹⁵

Il n'est pas possible de détailler ici l'ensemble des observations, et des analyses réalisées. Ont été exclues de cette présentation les séances correspondant à des entretiens dans lesquels les enseignants (des stagiaires en général) avaient et exprimaient eux-mêmes des « difficultés », et donc disaient finalement « ne pas avoir fait une démarche d'investigation » ou l'avoir fait « parce qu'on le demandait à l'IUFM » : « j'ai trop guidé », « j'avais pas prévu », etc (Calmettes, 2008).

Les résultats retenus ici portent sur 9 entretiens (donc 9 enseignants) et 12 séances de classe dans le domaine de l'électricité. Ils sont présentés sous la forme d'un descriptif des différents RPE construits. Ils sont associés à des idéaltypes. Chacun d'eux comporte, en suivant les contenus des discours tenus par les enseignants pendant les entretiens, des éléments de description des séances et des éléments de justification de leurs actions. Certaines des raisons qui sont alors données portent sur des nécessités kairiques qui sont exprimées. Trois RPE (RPE1, RPE2, RPE3) sont différenciés. Ils ne relèvent apparemment pas d'une simple distinction entre enseignants débutants et expérimentés.

RPE1 : Cet idéaltype correspond à la mise en œuvre de techniques de manipulation des milieux et surtout du temps didactique. La séance se déroule suivant une alternance de phases caractérisées par les modalités de regroupement et de travail des élèves (petits groupes, groupe classe), par les topos des enseignants et des élèves, et par le type de gestion de l'étude par l'enseignant : tutelle pour les élèves en difficulté, en même temps que mise en autonomie pour les autres élèves ; puis frontal. Une attention particulière est portée à la problématisation (par l'enseignant), à la formulation des hypothèses (par les élèves), et à une rigueur certaine dans la mise en place des expériences et dans l'expression scientifique. La problématique des conceptions n'est pas abordée.

¹⁵ Les expressions entre guillemets sont des extraits d'entretiens

La structuration stricte et intentionnelle (inscrite dans les préparations) de la séance donne lieu à des ruptures dans les déroulements, ce qui peut entraîner un arrêt de l'activité des élèves en autonomie. Les justifications des enseignants mettent en évidence que ces ruptures correspondent à des choix, à des instants opportuns, nécessités par des « règles de fonctionnement » qu'ils expriment : Il faut « suivre le fil du savoir » (ne pas diverger) et « [reprendre] la main », « on ne va pas sortir du programme » ; « il fallait avancer, l'heure tournait » (suivre le rythme inscrit dans les préparations), « il y avait suffisamment de réponses correctes sur lesquelles je pouvais m'appuyer » (il existait des connaissances dans la classe susceptibles de permettre la construction d'un nouveau milieu).

RPE2 : Cet idéaltype peut être d'abord caractérisé par l'ouverture des milieux et des espaces didactiques, et l'acceptation voire la recherche d'une certaine divergence. Les préparations sont succinctes et souvent limitées à la question de départ et à une liste de matériel. La problématique est construite de manière interactive. Les hypothèses sont posées d'abord de manière individuelle par les élèves. L'aide à l'étude se fait plutôt sur le mode de la médiation. Les séances s'arrêtent quand les résultats expérimentaux sont acquis. La phase de structuration des savoirs est reportée à la séance de cours suivante. Il y a une volonté exprimée de « travailler sur les conceptions » (au moment de la formulation des hypothèses)... ce travail est même parfois l'objectif principal de la séance. Celui-ci est alors décliné à partir des conceptions des élèves en associant celles-ci à des « hypothèses à tester par des expériences ».

Pour les enseignants, le processus « exploratoire » est le plus important, même s'il amène à des obstacles matériels (absence) ou cognitifs (connaissances hors programme) ; mais ces obstacles peuvent être, selon eux, dépassés ou contournés. Davantage que ce qui est exprimé comme but dans l'intention initiale, c'est finalement parfois le processus de l'action dans les situations qui est fondateur des objectifs atteints. Ces derniers n'apparaissent donc pas ici comme des conditions futures définies dans le passé mais comme des émergences autorisées dans le présent de l'action (cf. le concept de *ends-in-view*, Dewey).

Les enseignants expriment une adhésion à ce qu'ils pensent être des démarches d'investigation : « Dans les travaux pratiques d'investigation, c'est les élèves les acteurs. C'est eux qui vont découvrir. On [les enseignants] est là juste pour les aider un peu [...] L'important, c'est que c'est eux qui découvrent, ou même simplement qu'ils cherchent ».

RPE3 : Dans cet idéaltype, les préparations font apparaître une certaine intention de gestion inductiviste et constructiviste des apprentissages. Durant les séances, des imprévus peuvent conduire à des ruptures épistémologiques soit par l'adjonction *in situ* de nombreuses indications, des indices donnés au sein des composantes des milieux didactiques des élèves, des « jokers » écrits préparés ou des indications orales : « l'intensité est-elle la même dans deux lampes en dérivation » ; « rappelez-vous ce que vous savez sur le courant dans une branche de circuit », soit par des retours à une forme d'activité plus coutumière (direction frontale des activités).

Les entretiens avec les enseignants mettent en évidence que les actions et les pratiques ont largement, ici, un caractère « artificiel » au sens où elles ne correspondent pas à une « démarche naturelle » pour eux. Ils expriment une certaine réticence au regard de ce qu'ils lisent dans les programmes comme définissant une démarche d'investigation, c'est-à-dire par exemple « l'idée que les élèves pourraient trouver la solution au problème tous seuls ». Souvent, ils expriment leurs difficultés à « se retenir de dire ». De manière qui pourrait paraître paradoxale, mais qui est une sorte de rationalisation des difficultés qu'ils expriment à « lâcher les élèves », les séances sont souvent conduites à partir d'une question et d'un milieu réduits et structurants : « s'ils trouvent, c'est quand même parce que je les ai un peu guidés ».

5. Discussion et conclusion

L'étude met en évidence des rapports à l'enseigner distincts. Ils correspondent à des manières différentes d'aborder, de comprendre, et de réaliser une démarche d'investigation. Les RPE peuvent être différenciés, au sens de la sociologie pragmatique, par des critères génériques. Ces critères sont des grandeurs (Boltanski et Thévenot, 1991,) sous-jacentes à la construction générique des RPE : les principes qui guident les actions et les justifications, les valeurs référées aux démarches, les figures harmonieuses.

	RPE1	RPE2	RPE3
Principes	Manipulation des milieux et du temps, alternance de phases, ruptures mésogénétiques	Préparations <i>a minima</i> , question ouverte, milieux peu contraints, démarche limitée à certains moments	Suivi au plus près des activités, prévisions des difficultés et des aides adéquates
Valeurs	Fil du savoir, rigueur scientifique, programme	Divergence, interactions, médiation, conceptions	Guidage, indications, maîtrise des situations
Figure harmonieuse	Organisation, structuration, gestion stricte et suivi de la planification	Recherche à partir des conceptions par l'expérience, exploration	Les élèves ne peuvent « trouver » que si l'enseignant les guide

Au-delà de cette première conclusion, il apparaît aussi que ce qui différencie les actions et les justifications des enseignants, c'est une recherche d'équilibre entre ce qui fait valeur pour l'enseignement scientifique selon eux (d'un point de vue épistémologique, d'un point de vue de l'enseignement et d'un point de vue de l'apprentissage), et leur perception de ce qui fait contrainte ou ressource dans la situation. Ces aspects sont particulièrement saillants lorsque les enseignants expriment leurs choix et leurs décisions et qu'ils définissent ce qui constitue pour eux les instants opportuns (les *kairos*) relativement à leurs actions.

Ces décisions, relativement aux contenus, aux démarches et aux modalités d'enseignement et d'apprentissage, apparaissent comme le résultat d'un compromis entre :

- Les structures prédéfinies dans les textes officiels, présentées suivant un certain ordre (les moments de la démarche), et interprétées par les enseignants ;
- Leurs connaissances professionnelles : savoirs de nature scientifique, modalités possibles pour la gestion de l'étude, représentations de l'apprentissage, gestion du temps ;
- Le déroulement et le résultat des actions effectivement réalisées en classe, en temps réel (contingence) ;
- Les finalités (valeurs, principes) qu'ils accordent ou qu'ils reconstruisent relativement aux contenus scientifiques (savoirs, domaines, démarches, épistémologie) et aux modalités d'enseignement donnés dans les programmes (y compris les évaluations) ;
- Des spécificités des situations visées (domaine enseigné, intention en termes de démarches).

Les décisions de l'enseignant ont ici une portée politique dans la mesure où :

- Elles sont les conséquences de choix,
- Elles se rapportent à des valeurs : enseignement de nature scientifique, apprentissage,
- Elles préparent à une exécution didactique collective à venir.

L'enseignant est responsable de cette action décisionnelle. En particulier, puisque cette décision est anomique, c'est-à-dire qu'elle ne dépend pas d'une norme institutionnelle (si elle en dépendait, il y aurait uniformisation des situations) ; puisqu'elle n'est pas isonomique (c'est-à-dire que la prise de décision ne dépend pas de l'enseignant *et* des élèves) ; c'est l'enseignant qui la garantit et qui lui donne une légitimité. C'est lui qui, pendant les

entretiens, est capable de la justifier. C'est lui qui sait ce qui est (en particulier, par ce qu'il perçoit des milieux didactiques des élèves) et ce qui devra être (Bernardi, 2003, p. 11, p. 20, p. 47, p. 61).

Bibliographie

- Bernardi, B. (2003). *Qu'est-ce qu'une décision politique ?* Paris : Vrin.
- Boltanski, L. ; Thévenot, L. (1991). *De la justification. Les économies de la grandeur*. Paris (France) : Gallimard
- Brousseau, G. Textes rassemblés par Balacheff, N. *et al.* (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage éditions.
- Bulea, E. (2009). Le soin infirmier : du texte au signe et du signe au-delà du texte. In Canelas-Trevisi, Guernier, M.-C., Cordeiro, G. S., Simon, D.-L. (coord). *Langages, objets enseignés et travail enseignant*. Grenoble : Ellug. Université Stendhal. pp.33-46.
- Calmettes, B. (2008). Quels modèles pour l'analyse de pratiques observées ? Exemples en didactique de la physique avec les démarches d'investigation. In actes « *Les didactiques et leurs rapports à l'enseignement et à la formation. Quel statut épistémologique de leurs modèles et de leurs résultats ?* » (AFIRSE et IUFM d'Aquitaine). Bordeaux, 18 au 20 septembre 2008.
- Calmettes, B. (2009a). Milieu didactique et démarches d'investigation. In *Actes du 1er Colloque International de l'ARCD*. Genève, 15 et 16 janvier 2009.
- Calmettes, B. (2009b). Démarche d'investigation en physique. Des textes officiels aux pratiques de classe. *Spirale*, 43. pp. 139-149.
- Calmettes, B. (2010). Analyse pragmatique de pratiques ordinaire. Rapport pragmatique à l'enseigner. *Revue de Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies (France)*, 2.
- Calmettes (2011). Teachers' practices in inquiry-based science teaching. Pragmatic analysis of appropriate moments. Lyon : *Colloque Esera*.
- Cavallier, F. (1997). *Le langage et la pensée*. Paris : Ellipses.
- Cometti, J.-P. (2010). *Qu'est-ce que le pragmatisme ?* Paris (France) : Gallimard, Folio Essais, n° 535
- Foucault, M. (1966). *Les mots et les choses*. Paris : Gallimard.
- Laborde, C ; Coquidé, M ; Tiberghien, A. (2002). Les situations de formation en vue de l'apprentissage du savoir scientifique et mathématique. In Tiberghien A. (coord.) *Des connaissances naïves au savoir scientifique – Programme « École et sciences cognitives »*, p. 81-107.
- Lescout, M. (1996). De la fécondité du concept de « Kairos » dans une réflexion sur la dynamique et l'éthique de l'enseignement. *Yearbook of The Research Center for Greek Philosophy at the Academy of Athens* (Grèce), 25-26, p. 71-82.
- Mathé, S. ; Méheut, M. ; De Hosson, C. (2008). Démarche d'investigation en collège : quels enjeux ? *Didaskalia*, n°32, p. 41-76.

Morge, L. ; Boilevin, J.-M. (2007). *Séquences d'investigation en physique-chimie, Collège, Lycée*. Clermont-Ferrand : CRDP d'Auvergne

Orange, C. (2007). Quel milieu pour l'apprentissage par problématisation en sciences de la vie et de la terre ? *Éducation et didactique*, n° 1-2, p. 37-56.

Ricœur, P. (1986). *Du texte à l'action. Essais d'herméneutique II*. Paris : Éditions du Seuil.

Rorty, R. (1994). *Objectivisme, relativisme et vérité*. Paris : PUF.

Sensevy (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In Sensevy, G. et Mercier, A. (dir). *Agir ensemble. L'action conjointe du professeur et des élèves*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes. p. 13-50.

Des cartographies de la controverse sur l'usage des pesticides : un préalable à la révélation d'indicateurs des points de vue d'enseignants en agronomie et d'élèves en bac pro CGEA et en BTS APV.

**Nadia Cancian, UMR EFTS, ENFA, Univ. de Toulouse ;
nadia.cancian@educagri.fr**

&

**Laurence Simonneaux, UMR EFTS, ENFA, Univ. de Toulouse ;
laurence.simonneaux@educagri.fr**

Mots-clés : pesticides, enseignement d'agronomie, question socialement vive, risques/incertitudes, cartographie de la controverse

Résumé : Le plan Ecophyto 2018 imposant « moins 50 % » de pesticides dans l'agriculture entraîne un changement de paradigme dans la production de savoirs sur la stratégie de protection des cultures. L'usage des pesticides en agriculture est un thème d'enseignement en agronomie et c'est une question socialement vive. L'enquête socio épistémologique des savoirs de référence sur cette question a permis de dresser des états de la controverse. Nous proposons une méthodologie originale de construction de cartographies de la controverse pour six dates entre 1983 et 2008. Afin d'appréhender la complexité et la diversité des points de vue, nous mobilisons un corpus de diverses sources et six experts. Nous avons révélé des acteurs, leurs liens et leurs arguments, en particulier ceux exprimant risques et incertitudes.

1. L'usage des pesticides en agriculture : question sociale triplement vive

Hier, considéré comme une norme professionnelle et sociale, l'usage des pesticides en agriculture est remis en cause : la nécessité de la réduction de leurs emplois est un enjeu de société et rejoint une demande forte des sociétés industrialisées post-modernes de préservation des milieux de vie et de la santé (expertise Cemagref, 2005). Le citoyen s'invite dans les débats et veut peser dans les choix politiques pour redéfinir la gouvernance dans les choix de développement et pour amener à raisonner sur l'éthique.

Quel système de culture doit-on soutenir au regard de sa dépendance aux pesticides ? Quelles sont les stratégies de production des savoirs à développer ? Risques et incertitudes s'immiscent avec acuité dans ce qu'il faut négocier et partager. L'usage des pesticides génère des débats contradictoires dans la société, qui sont relayés par les médias.

Le plan Ecophyto 2018 (2008) issu du Grenelle Environnement propose entre autres d'ici 2018 de réduire de 50% l'usage des pesticides, si possible¹⁶. Il enjoint la profession et la recherche à proposer des solutions concrètes pour y parvenir. Cette perspective nécessite une production de nouveaux savoirs (scientifiques, professionnels, sociaux) et la formation initiale et continue des professionnels en conséquence.

Le système de formation de l'enseignement public agricole se mobilise *via* des cadrages et une rénovation récente de ses *curricula* (bac pro Conduite et Gestion de l'Entreprise Agricole rénové en 2009, BTS Agronomie, Productions Végétales rénové en 2010) par la Direction Générale de l'Enseignement et de la Recherche. Les programmes pointent le nécessaire changement d'approche dans la stratégie de protection des cultures.

Contribuant à la formation du futur professionnel responsable, porteurs du message technique pour appréhender le processus de production, les enseignants d'agronomie sont concernés. Sur le plan conceptuel et disciplinaire, les exigences du plan Ecophyto 2018 se traitent en particulier au travers de la notion de « système de culture économe en pesticides ». Cette notion émergente et polysémique née d'un changement de paradigme pour les stratégies de protection des cultures (Chevassus-au-Louis, 2008), sans pour autant se substituer aux autres qui étaient prégnantes jusqu'alors, met en difficulté les enseignants d'agronomie. La notion s'appuie sur des savoirs de référence discutés. Les savoirs en jeu sont distribués (Callon, 2001) (professionnels, scientifiques, profanes sont des producteurs de savoirs), pluriels (des savoirs scientifiques, techniques, mais aussi sociaux), parfois même en construction, objets de débats. Enfin, la notion de système de « culture économe en pesticides » s'adosse à des pratiques professionnelles et sociales en pleine reconfiguration : pour atteindre la réduction de 50% des usages, les références qui prévalaient jusqu'à présent pour la protection des cultures sont à repenser et à construire.

Pour enseigner cette thématique, les acteurs de la situation didactique, enseignant et élèves, ne peuvent échapper aux débats polémiques dans la classe, reflets de controverses sociétales avivées par leur médiatisation. La réduction de l'emploi des pesticides est une question socialement vive, triplement vive comme le définissent Legardez et Simonneaux (2007) vive dans la société, vive dans les savoirs de référence, vive dans l'école.

Pour étudier cette question socialement vive, « il convient de mettre en oeuvre l'incontournable détour de l'analyse socio-épistémologique des savoirs impliqués, (Legardez & Simonneaux, 2006), c'est-à-dire de brosser la cartographie des controverses, pour reprendre l'expression de Latour (...) (in Legardez Simonneaux, 2011, p 21) ». Or le traitement de notre cas d'étude sous tend plusieurs difficultés : (i) La forme des savoirs qui sont distribués, pluriels, incertains et parfois en construction et (ii) comme toute question socialement vive, le thème de l'usage des pesticides place « la complexité, l'évaluation de l'expertise, l'incertitude et le risque au cœur du processus d'apprentissage. (...) » (Simonneaux, 2011, p 27)

Les cartographies de la controverse du thème de la réduction de l'emploi des pesticides en agriculture vont être utilisées pour révéler en partie des freins et appuis chez les enseignants dans la mise en oeuvre de situations d'enseignement-apprentissage dans les filières bac pro Conduite et Gestion de l'Entreprise Agricole (CGEA) et BTS Agronomie, Productions Végétales (APV).

¹⁶ Conclusions de la table ronde 3 « Préserver la biodiversité et les ressources naturelles, pratiques agricoles, OGM » engagement 129 http://www.latribune.fr/static/pdf/engagements_grenelle.pdf consulté le 20 mai 2011

2. Éléments de méthodologie pour produire les cartographies

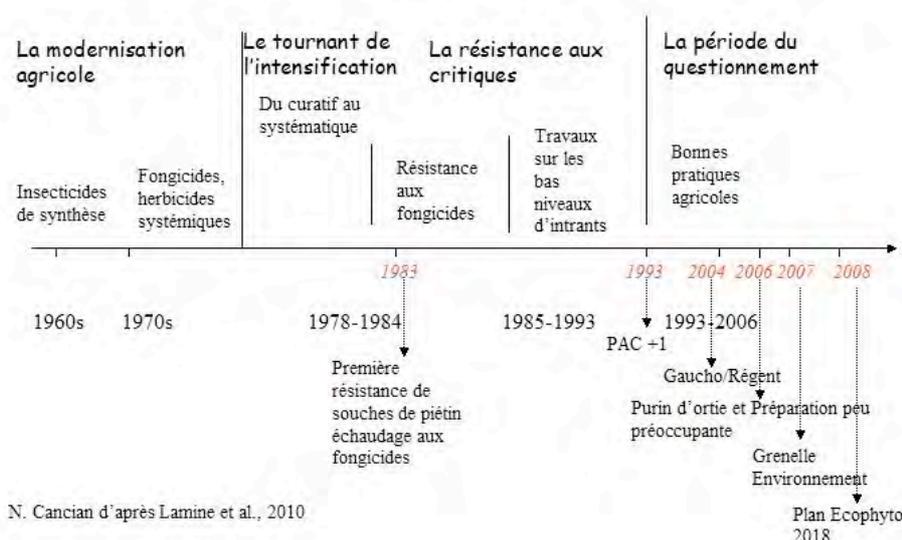
Le projet de communication repose sur des travaux de recherche en cours en didactique des questions socialement vives (deuxième année de thèse en Sciences de l'Éducation).

Notre enquête socio épistémologique va mettre en évidence les états de la controverse et leurs évolutions au cours du temps. Elle nous permettra d'identifier les acteurs et leurs liens (convergence ou opposition), de mettre en évidence leurs arguments sur l'usage des pesticides et en particulier les risques ou des incertitudes exprimés. Nous avons « pensé » la production de ces cartographies dans la perspective de leur utilisation lors d'entretiens ultérieurs avec des acteurs du système éducatif (enseignants d'agronomie) : nous cherchons à proposer des supports visuels, synthétiques reflétant toutefois dans la mesure du possible la complexité de la controverse, supports qui devraient permettre de rendre saillants les points de la controverse pour que les acteurs prennent position.

Pour définir une méthodologie concrète de construction de ces cartographies nous permettant d'arrêter des dates, de construire un corpus et une méthodologie d'analyse de celui-ci, nous nous sommes appuyées sur les travaux de Venturini (2009) de l'équipe de Latour. Il a discuté les méthodes possibles de construction de ces cartographies. Il précise en particulier qu'il n'y a pas de théorie, de méthodologie préétablie, que les chercheurs qui les élaborent doivent combiner des approches voire en inventer. Enfin, toujours selon Venturini, pour saisir la complexité de la controverse, il est nécessaire d'établir plusieurs représentations de celle-ci. Venturini reconnaît la difficulté de la construction de représentations simples, lisibles rendant compte d'observations de la complexité d'une controverse. En explorant la question, le chercheur réalise des sélections, mais ce qui importe, c'est de cerner la dynamique de la question. Il est donc possible de proposer une démarche originale. Aussi, nous proposons la méthodologie suivante :

- les temps de la controverse : 1983, 1993, 2004, 2006, 2007 et 2008. Nous avons retenu des dates correspondant à des temps particuliers de la controverse sur l'usage des pesticides mises en lumière par Lamine et *al.* (2010) traitant l'approche diachronique des stratégies de protection du blé. A ces dates, l'usage des pesticides a connu une médiatisation importante d'« affaires », cristallisant de vifs débats.

Verrouillage socio-technique des trajectoires : cas du blé (Lamine et al., 2008)



- les cartographies seront élaborées en deux étapes. Nous allons d'abord produire une première représentation de la controverses *via* des cartographies construites à partir d'un corpus de publications. Ce corpus croise plusieurs sources rassemblées lors de la revue bibliographique exploratoire du thème de l'usage des pesticides : des publications sources agronomiques et en sciences humaines et sociales, des textes réglementaires mais aussi des publications produites par le développement agricole, par des syndicats agricoles, par des associations, par les industries des produits phytosanitaires. Nous avons en particulier retenu deux revues scientifiques en agronomie - *Agronomy for Sustainable Development* qui aborde des aspects variés des problématiques agronomiques (l'usage des pesticides est un thème parmi d'autres) - *Plant and soil* qui aborde des sujets plus spécifiques des peuplements végétaux en lien ou non avec le sol. Ce travail complètera l'analyse de la controverse sur l'usage des pesticides de Lamine et al. (2010) construite à partir de médias généralistes et de la *France Agricole* (enrichie par des entretiens). Ces premières représentations seront soumises à six experts dès janvier 2012, retenus parce qu'ils ont été amenés à aborder la question de l'usage des pesticides et des alternatives à leur emploi¹⁷ pour qu'ils les critiquent et/ou les complètent. En effet, cette dernière approche permettra éventuellement d'identifier des aspects qui n'auront pas été révélés du fait des sources que nous avons choisies. Cette approche croisée (analyses bibliographiques et soumission à des experts) des temps de la controverse rejoint les approches de Venturini et de Latour, pour qui le chercheur en représentant la controverse multiplie ses représentations¹⁸ reflétant notamment la représentativité des différents points de vue.

Le corpus est analysé à partir de thèmes-clés : les produits phytosanitaires, les stratégies de protection des plantes, les impacts sur le milieu, les impacts sur la santé des utilisateurs, des consommateurs, des animaux domestiques et les abeilles.

Ces cartographies vont donner des indicateurs en termes de risques et d'incertitudes pour analyser des discours d'acteurs du système éducatif (enseignants/élèves) afin de caractériser leurs logiques d'engagement/résistance dans le plan Ecophyto 2018.

3. Les premiers résultats

Nous n'avons produit à ce jour que la cartographie de la controverse en 1983. Pour les autres dates les ébauches sont en cours, elles seront présentées lors du colloque ARDIST. Les représentations auront alors été soumises aux experts.

Des acteurs de la recherche (agronomique, agroécologique, économique,...), des firmes agrochimiques, des agriculteurs, des agents vulgarisateurs publics ou privés, des consommateurs, des associations de protection de l'environnement, des spécialistes de la santé, des structures chargées du suivi de la mise en marché des pesticides ont été repérés. Les arguments développés autour de l'usage des pesticides révèlent soit une stratégie de prévention d'une menace ou au contraire insistent sur les effets supposés dangereux.

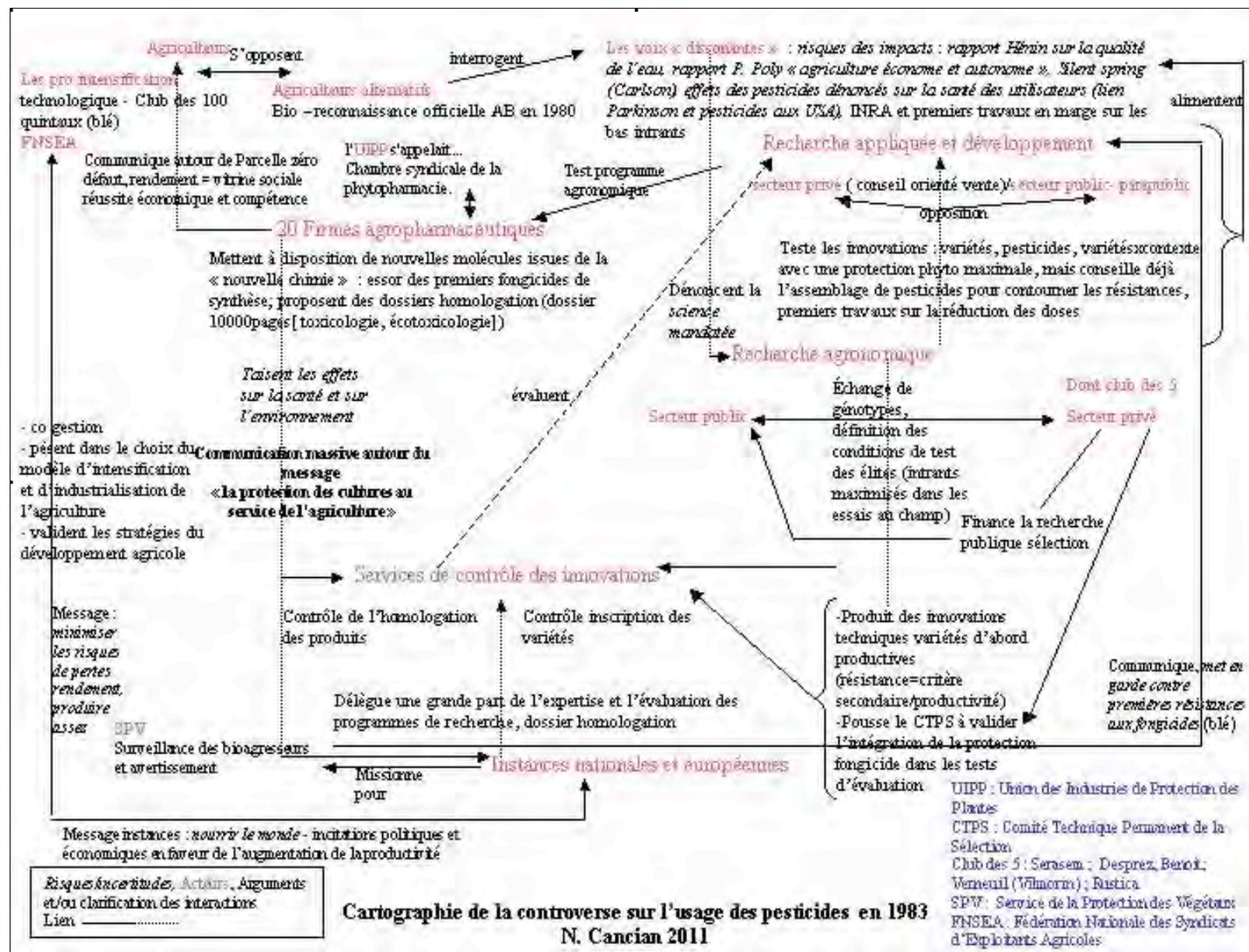
¹⁷ Nous avons retenu des experts travaillant ou qui ont travaillé sur la thématique de la réduction de l'emploi des pesticides en grandes cultures : deux scientifiques agronomes, deux scientifiques des sciences humaines et sociales ayant traité cette question dans une approche interdisciplinaire, un agent du développement et un syndicaliste agricole dirigeant.

¹⁸ Venturini (2010) soulève ici une difficulté de l'exercice « But how can simple descriptions fit complex observation ? (...) » p. 2 in Building on faults : how to represent controversies with digital methods. Public Understanding of Science pp1-17

Les firmes agropharmaceutiques et l'organisation professionnelle structurée autour de la logique de ces firmes ont progressivement généré un verrouillage socio-technique (Cowan, 1985 ; Bellon *et al.* 2007 ; Lamine *et al.* ; 2010 ; Ricci 2010) : les solutions alternatives aux pesticides ont été marginalisées, s'avérant progressivement inaccessibles.

Par exemple, dans les années quatre-vingts (voir ci-après la cartographie établie pour 1983), les arguments à propos des pesticides avancés par les scientifiques et les firmes sont d'ordre (i)économiques et définis en termes de risques de pertes de rendement, (ii)environnementaux à la fois sur leur innocuité pour le milieu ou en termes d'incertitude quant aux effets de leur diffusion dans l'environnement, (iii)en termes de risques pour la santé des utilisateurs et des consommateurs (notion de risque individuel ou collectif, toxicité plus ou moins sévères de certains pesticides), risques toutefois « mis en invisibilité » pour les profanes. La recherche agronomique a alors conçu des systèmes où les pesticides étaient des facteurs de production implicites. Les variétés ont été ainsi sélectionnées dans des programmes où la protection des cultures était maximale. Chez les agriculteurs, la peur de « perdre » des quintaux a été un argument économique justifiant l'usage systématique de pesticides. *A contrario*, les environnementalistes et certains chercheurs mettaient en avant le risque de pollution des milieux de vie et les atteintes sur les êtres vivants, et insistaient sur les risques agronomiques et environnementaux de l'usage répandu de substances actives avec l'apparition de souches de pathogènes résistantes. Nos premières analyses nous permettent de dire qu'en fonction des dates et donc du contexte, les arguments de groupes d'acteurs et les risques/incertitudes qu'ils pointent peuvent évoluer. Les effets sur la santé des utilisateurs longtemps mis en invisibilité sont aujourd'hui mis en lumière ; les incertitudes sur la qualité de nos aliments issus d'une agriculture utilisatrice de pesticides sont grandissantes.

Le gouvernement avec le plan Ecophyto 2018 cherche une forme de clôture de la controverse en opposant à la demande sociétale de limitation de l'emploi des pesticides l'atteinte d'un objectif de 50% de réduction de leur emploi. Pour certains acteurs, ce n'est pas suffisant (tenants de l'agriculture biologique) et pour d'autres cet objectif est irréaliste (dirigeants de la FNSEA).



Bibliographie

Bellon S., Deverre C., Lamine C., (2007) - *Des paradigmes en matière de protection des cultures*. Séminaire Gedupic mars 2007.

Butault JP. et al. (2010) - *La réduction des pesticides : enjeux, modalités et conséquences. L'utilisation des pesticides en France :Etat des lieux et perspectives de réduction*. Colloque de la SFER Lyon mars
Callon M. (2001) - *Les méthodes d'analyse des grands nombres. Contribuent-elles à l'enrichissement de la sociologie du travail ?* Pages 335–354 In A. Pouchet (ed), *Sociologies du travail : quarante ans après*. Paris : Elsevier.

Chevallard Y. (1985) - *La transposition didactique*. Grenoble, La pensée Sauvage.

Cowan R., Gunby P., (1996) - *Sprayed to death: Path dependence, lock-in and pest control*. *Economic Journal* 106, 521-43

Deguine J.P et al. (2008)- *Protection des cultures : de l'agrochimie à l'agroécologie*. Versailles : Ed. Quae, p187

Doré, T. et al., (2009). *Le Grenelle de l'environnement : implications pour l'agronomie et les métiers d'agronomes*. In La 5ème édition des entretiens du Pradel - Pour aborder les nouveaux défis de l'agriculture et de l'agronomie à la suite du Grenelle-Environnement. http://www.montpellier.inra.fr/parteneriat_et_valorisation/association_francaise_d_agronomie consulté le 02 juin 2010

Griffon M. (2006) *Nourrir la planète, pour une révolution doublement verte*, Odile Jacob

Lamine C. et al. (2010) - *Réductions d'intrants : des changements techniques, et après ? Effets de verrouillage et voies d'évolution à l'échelle du système agri-alimentaire*. *Innovations Agronomiques* 8, 121-134

Lamine C. C. Tetart, G, Chateauraynaud F. (2010) -*Le bio comme reconfigurateur des controverses sur les pesticides et les OGM (1995-2008)*- Communication écrite Colloque Société Française d'Economie Rurale (SFER). *La réduction des pesticides : enjeux, modalités et conséquences* ; 11/03/2010-Lyon-12p

Latour, B., (2007). *Cours de description des controverses* - site de l'école des Mines de Paris <http://controverses.ensmp.fr> consulté le 10 mai 2010

Legardez A., Simonneaux L. (2006) - *L'école à l'épreuve de l'actualité : Enseigner les questions vives*. Esf Editeur

Simonneaux L., Legardez A. (2011) – *Didactique des Questions socialement vives- Répondre aux besoins de formation dans la société postmoderne*. in L. Simmoneaux, A. Legardez (Coord.) - *Développement durable et autres questions d'actualité, QSV dans l'enseignement et la formation* pp15-29

Venturini T. (2009) - *Diving in magma: how to explore controverses with actor-network theory*. *Public Understanding of Science*. 19(3), pp. 258–273.

Verret M. (1975) - *Le temps des études* - Librairie Honoré Champion, Paris, tome I, p. 140

Rapports et expertises scientifiques

Expertise collective Inra Cemagref, (2005). *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'usage des pesticides et en limiter les impacts environnementaux.* http://www.inra.fr/l_institut/expertise/expertises_realisees/pesticides_rapport_d_expertise consulté le 02 juin 2010

Rapport d'étude produit par l'INRA, (2009). *Ecophyto R&D : quelles voies pour réduire l'usage des pesticides.* http://www.inra.fr/l_institut/etudes/ecophyto_r_d/ecophyto_r_d_resultats consulté le 02 juin 2010

Modélisation praxéologique des pratiques enseignantes de mise en texte des savoirs en sciences de la Terre : cas d'une séquence ordinaire portant sur l'origine des matériaux volcaniques au collège

Hanaà Chalak, Univ. de Nantes, CREN, EA 2661 ; Univ. Saint-joseph de Beyrouth ; hanaa.chalak@univ-nantes.fr

Mots clés : problématisation, mise en texte, séquence ordinaire, pratique enseignante, collège, sciences de la Terre.

Résumé : Malgré les efforts mobilisés par les enseignants pour intégrer la problématisation dans leurs classes, les savoirs scolaires sont souvent présentés aux élèves sous forme propositionnelle se limitant à de textes simples exposant les résultats de la science sans aucune corrélation aux problèmes. Pour comprendre les pratiques de mise en texte ordinaires aboutissant à ces textes ainsi que les difficultés que rencontre la mise en texte problématisé des savoirs scientifiques, nous avons travaillé sur une séquence ordinaire en classe de quatrième traitant le problème de l'origine des matériaux volcaniques. Après une analyse des textes produits lors de cette séquence, nous nous sommes appuyés sur des outils empruntés à la théorie anthropologique du didactique (TAD) pour modéliser et mieux comprendre les pratiques de mise en texte de l'enseignante. Il apparaît que ces pratiques sont organisées d'une façon qui permet de repérer et de trier la vraie solution au problème posé.

1. Introduction et questions de recherche

Les savoirs scolaires, tels qu'ils sont enseignés aux élèves, sont considérés comme étant de nature « propositionnelle » (Astolfi, 1992, 2005). Ils se résument à de textes simples qui exposent les résultats de la science et sont « *présentés sans aucune relation aux problèmes dont ils constituent pourtant les réponses* » (Fabre, 2007, p.69). En effet, il apparaît que les enseignants – malgré leurs efforts pour mettre en place des activités didactiques impliquant une problématisation et une participation active des élèves dans l'élaboration des savoirs – ne mobilisent pas une épistémologie adaptée à cette démarche constructiviste. Ils utilisent les problèmes pour des fins motivationnelles et « *restent prisonniers d'une image traditionnelle du savoir, comme un texte qui énonce des vérités, et se décline en propositions indépendantes, déconnectées de leur contexte problématique [...] le savoir reste alors un produit tout élaboré à transmettre, un message à faire passer* » (Astolfi, 2005, p.74). Pourtant, les didacticiens l'ont rappelé à plusieurs reprises : les savoirs scientifiques ne peuvent pas se réduire à des savoirs assertoriques et factuels, ce sont des savoirs problématisés qui se focalisent sur la construction des problèmes et sur l'accès aux raisons qui sous-tendent les solutions (Fabre, 1999 ; Orange, 2000). Tout cela pose la question des pratiques enseignantes de mise en texte conduisant à ces textes propositionnels et des difficultés que rencontre une mise en texte problématisé des savoirs.

2. Cadre théorique

Cette étude se situe dans le cadre théorique de la problématisation qui met en avant la « construction » des problèmes en sciences de la Terre (Fabre, 1999 ; Orange, 2000 ; Orange Ravachol, 2003) et accorde de l'importance à l'accès aux raisons qui sous-tendent les solutions des problèmes. Etant donné le rôle important des pratiques langagières dans l'apprentissage, ce cadre sera articulé avec une approche socio-historique des activités langagières (Brossard, 1998 ; Bernié, 2002 ; Jaubert, 2007). Pour comprendre, décrire et modéliser les pratiques enseignantes ordinaires de mise en texte, nous nous appuyons sur la théorie anthropologique du didactique (TAD) de Chevallard (1997, 1998) développée en didactique des mathématiques. Cette théorie analyse toute action humaine en termes de bloc pratico-technique (savoir-faire), et de bloc technologico-théorique (savoir). Selon Chevallard (1997), l'activité des personnes se décline en différents types de tâches, accomplis au moyen d'une technique justifiée par une technologie à son tour justifiée par une théorie. Les notions de la TAD sont retravaillées dans une perspective comparatiste (Mercier & al., 2002) en s'appuyant sur la distinction générique/spécifique. Celle-ci nous emmène à désigner ce qui est générique au didactique et spécifique à la didactique des sciences de la Terre.

3. Méthodologie de recueil et d'analyse des données

Afin d'étudier les pratiques enseignantes de mise en texte en sciences de la Terre, nous avons choisi d'analyser une séquence ordinaire portant sur le problème de l'origine des matériaux volcaniques en 4^{ème}. Les scientifiques actuels expliquent ce problème par des fusions partielles régionales dans des zones particulières du globe et sous des conditions bien précises puisque le manteau est solide. Le travail de ce problème s'inscrit dans le cadre théorique de la tectonique des plaques. L'enseignante de la classe de 4^{ème} est expérimentée et participe aux recherches d'un groupe de travail qui s'intéresse à la construction des savoirs problématisés en sciences et à ses conditions. Du fait de son statut, il nous apparaissait intéressant d'étudier les pratiques qu'elle mobilise dans la construction des savoirs géologiques au sein de sa classe et la place de la problématisation qu'elle y accorde.

La séquence (3 séances) a été filmée et nous avons récupéré toutes les traces langagières : les écrits individuels et de groupe des élèves et tout ceux construits pendant la séquence. Les enregistrements ont été transcrits et la séquence analysée selon une méthodologie que nous avons mise en œuvre pour répondre à nos questions de recherche. Il s'agit de partir du scénario didactique, d'identifier les textes construits pendant la séquence, de les caractériser, les comparer et les étudier du point de vue de leur relation au problème posé et à la problématisation. Plusieurs critères guident cette analyse et se traduisent par les questions :

- les textes portent-ils des traces de la problématisation ? des arguments ? des raisons ? ;
- sont-ils propositionnels ? se contentent-ils d'exposer simplement les solutions ? ;
- dans les deux cas précédents, les éléments (raison, argument, solution) sont-ils contradictoires ou compatibles ?
- quelles sont les fonctions possibles de ces textes au sein de la séquence du point de vue de problématisation et de la construction des savoirs ? ;
- quels liens les textes produits entretiennent-ils les uns avec les autres ?

L'analyse de ces textes nous permettra de modéliser les pratiques enseignantes de mise en texte grâce à des outils empruntés à la théorie anthropologique du didactique (tâche, ostensif, technique, technologie). La mise en texte des savoirs scientifique relève d'un type de tâche

enseignant dont l'accomplissement appelle des techniques particulières justifiée par des technologies que notre étude se propose d'identifier.

4. Résultats et discussion

4.1. Description et organisation du corpus d'étude

Nous décrivons les trois séances de la séquence ordinaire de notre recherche d'une manière succincte en précisant les écrits produits :

Séance 1 et 2

Les élèves répondent individuellement à la question : « Propose un dessin très simple d'un volcan en coupe où tu places le lieu d'où viennent les matériaux, avec des hauteurs possibles, avec l'emplacement du sol par rapport à ces matériaux etc. A légender ». Puis, ils confrontent leurs écrits individuels, par groupes, pour proposer un modèle commun (schéma légendé). Ce travail est suivi d'un débat qui aboutit à l'identification de trois propositions concernant l'origine des matériaux volcaniques et conduit à la production d'un premier écrit « intermédiaire » E1 (fig.1) si nous reprenons les termes de Chabanne et Bucheton (2002):

- Propositions pour l'origine des matériaux :
- la lave vient du noyau de la terre
 - la lave est dans une poche en profondeur sous le volcan
 - la lave est dans le volcan qui est fermé à la base.

Figure 1. Résultat du débat scientifique (E1)

Séance 3

Après avoir rappelé les trois propositions déjà identifiées, le groupe classe exploite collectivement un document scientifique ce qui conduit à la validation de la deuxième proposition et à l'invalidation des deux autres. Un deuxième écrit intermédiaire E2 (fig.2) et un écrit bilan final E3 (fig.3) sont produits :

- Résultat : documentation scientifique.
- On observe des séismes alignés sous le volcan mais en deux groupes séparés par une zone sans séismes. Cette zone est une zone liquide (où il n'y a pas de ruptures, donc pas de foyers sismiques). Elle correspond, probablement, à un réservoir de magma.
- Peut-il être alimenté par le noyau de la terre ?
- Plus on descend en profondeur dans la terre, plus la température augmente, ce qui pourrait permettre de rendre liquide la roche, mais en même temps, la pression augmente, et rend le noyau complètement solide.

Figure 2. Résultat de la confrontation avec la documentation scientifique (E2)

2- Origine de ces manifestations

Activité 2 : D'où viennent les matériaux ?

- La lave provient d'un magma contenu dans un réservoir (qui peut être situé jusqu'à 70km de profondeur)
- Le magma est de la roche fondue contenant des gaz, et des morceaux de roches solides. La lave ne contient plus les gaz.

Figure 3. Écrit bilan final sur l'origine des manifestations de l'activité volcanique (E3)

4.2. Caractérisation des différents écrits produits lors de la séquence

Le premier écrit E1 clôture le débat, le deuxième E2 la phase d'exploitation de la documentation scientifique et l'écrit E3 est un bilan final. Nous examinons le contenu de ces textes, qui ne comportent pas de schémas associés, afin de savoir s'ils portent les traces de la problématisation ou s'ils se contentent d'exposer les solutions sous une forme propositionnelle. Leurs fonctions et les liens qu'ils entretiennent les uns avec les autres seront élucidés.

Écrit 1 : Cet écrit représente une liste de trois propositions différentes qui explicite les solutions possibles au problème de l'origine des matériaux volcaniques : la lave existe soit au niveau du noyau, soit au niveau d'une poche pas très profonde ou alors dans le volcan lui-même. Ce texte résume les principales solutions proposées par les élèves au problème traité. Celles-ci mettent en avant une lave qui préexiste déjà dans les endroits mentionnés à l'état liquide. La question de son mode de formation n'est pas posée alors que les géologues actuels se penchent plutôt sur le problème de la formation du magma à certains endroits et pas à d'autres en lien avec certains phénomènes tectoniques (Orange Ravachol, 2003). Ce texte a pour fonction d'identifier les différentes thèses proposées. Au regard de notre cadre didactique de la problématisation, cet écrit propose plusieurs possibles et contribue donc à l'exploration des possibles. Toutefois il se focalise sur les solutions et n'explicite en aucun cas les raisons qui fondent celles-ci. L'écrit E1 reflète des points de vue divergents en présentant plusieurs thèses pour l'explication de l'origine des matériaux volcaniques. Il s'agit donc d'un texte que nous nommons pluri-texte propositionnel puisqu'il explicite trois solutions différentes au problème posé sans évoquer les raisons sous-jacentes.

Écrit 2 : L'exploitation collective d'un document scientifique montrant l'enregistrement de l'activité sismique sous un volcan, conduit à un deuxième écrit intermédiaire E2 qui présente plusieurs niveaux. D'abord, il s'agit de décrire le document en se basant sur un constat empirique puis d'emmener une explication argumentée à l'état liquide de la zone sans séismes observée sous le volcan. Ainsi, l'absence de foyers sismiques au niveau d'une zone particulière sous le volcan, suggère la présence d'une zone fluide qui correspond à un réservoir de magma. Ceci apporte des argumentations en faveur de la deuxième proposition de l'écrit E1 qui signale que la lave provient d'une poche non profonde. La seconde partie de l'écrit E2 argumente l'impossibilité d'une origine de la lave située au centre de la Terre puisque celui-ci est solide contrairement à ce que les élèves ont pu penser. Ces arguments sont avancés contre la première thèse de l'écrit E1 qui présuppose que les matériaux volcaniques remontent du noyau de la Terre. Cet écrit ne mentionne par d'arguments invalidant la troisième proposition. La principale fonction de l'écrit E2 est de valider et d'invalider deux propositions repérées précédemment dans l'écrit E1. Il permet de trier les thèses déjà relevées et d'apporter des argumentations qui favorisent ou défavorisent l'une ou l'autre. L'écrit E2 est un mono-texte argumentatif car il présente plusieurs argumentations compatibles participant au tri des solutions.

Écrit 3 : L'écrit bilan final E3 succède directement à l'écrit E2 et comprend deux parties. La première expose la bonne solution au problème posé. La seconde précise la différence entre le magma et la lave. Du point de vue de la problématisation, ce texte ne fait que présenter la solution retenue au problème géologique posé. Les raisons qui fondent ces solutions ne sont pas explicitées. De plus, la solution proposée relève plusieurs ambiguïtés par rapport aux explications scientifiques actuelles. Ainsi, on pourrait croire que c'est le réservoir qui est à l'origine du magma et qu'il est fermé à la base alors qu'il ne sert que pour son stockage. Rien n'est évoqué, dans cet écrit E3, sur le mode de formation de ce magma ni sur l'endroit et les conditions de sa formation. La focalisation sur un « magma préexistant » fait que les problèmes de la production du magma et de son renouvellement ne se posent pas au contraire de celui de son lieu d'existence. Ceci s'accorde avec les objectifs signalés dans le bulletin officiel : « *Les magmas sont contenus dans des réservoirs magmatiques localisés à plusieurs kilomètres de profondeur* » (M.E.N., 2008, p.48). Ce texte donne à voir des caractéristiques qui l'éloignent d'un texte problématisé pour le rapprocher plutôt d'un texte propositionnel. Si nous le comparons avec le texte E2 précédent, nous constatons que ce dernier porte des argumentations permettant de valider la solution finale et d'invalider les autres mais qui ont disparu avec l'écrit final E3. C'est un mono-texte propositionnel qui présente la solution finale au problème tout en rajoutant des précisions concernant la différence entre le magma et la lave.

Suite à cette étude des écrits de la séquence ordinaire, nous soulignons que la logique de mise en texte de l'enseignante apparaît centrée sur la sélection et le tri de la bonne solution (Orange Ravachol, 2010) parmi les propositions avancées par les élèves. Pour mieux comprendre ces pratiques de mise en texte et ce mode de fonctionnement qui semble basé sur le tri des solutions, nous nous proposons d'effectuer une modélisation praxéologique des pratiques ordinaires en jeu dans cette séquence.

4.3. Modélisation praxéologique des pratiques enseignantes de mise en texte

La description de la séquence et l'analyse des écrits élaborés nous permettent, à ce stade, de modéliser les pratiques enseignantes en jeu dans la mise en texte du problème en question. Nous nous appuyons sur l'analyse praxéologique de la pratique enseignante telle qu'elle est définie dans la théorie anthropologique du didactique (TAD) (Chevallard, 1998). Les données dont nous disposons pour cette séquence ainsi que les analyses précédentes vont nous permettre d'étudier le bloc pratico-technique (savoir-faire), c'est-à-dire les types de tâches et les techniques et d'accéder à la technologie faisant partie du deuxième bloc technologico-théorique (savoir). Rappelons que la mise en texte relève d'un type de tâche enseignant dont l'accomplissement appelle des techniques enseignantes particulières. Pour identifier ces techniques, il s'agit tout d'abord de repérer les tâches effectuées par la classe. Nous avons repéré six tâches de la classe par ordre chronologique, les ostensifs produits par ces tâches ou utilisés par d'autres tâches ainsi que les fonctions de chacune des phases de la séquence pour l'enseignante. La figure 4 montre la modélisation praxéologique réalisée des pratiques enseignantes de mise en texte.

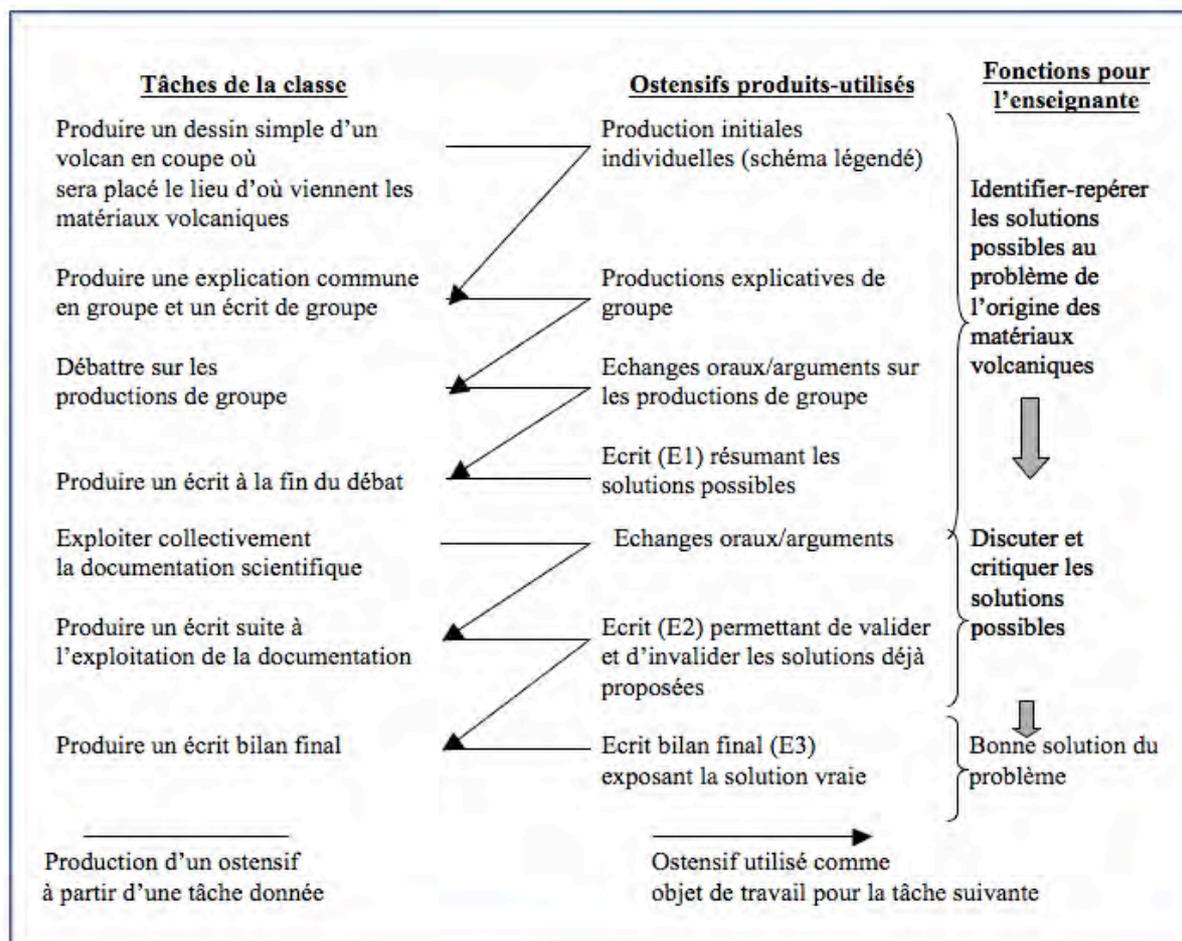


Figure 4. Modélisation praxéologique et des techniques enseignantes de mise en texte du problème de l'origine des matériaux volcaniques.

Les techniques enseignantes de mise en texte ont permis, suite à la réalisation de tâches par la classe et à la production d'ostensifs, de repérer les solutions possibles que les élèves proposent au problème, puis de critiquer ces solutions afin de retenir une seule solution figurant dans un texte final propositionnel (fig. 4). La solution est explicitée sans accès aux raisons qui sont derrière les idées avancées alors que mettre l'accent sur la problématisation demanderait de mettre en avant les raisons en plus des solutions. Du point de vue de la problématisation, par ce cheminement et cette manière de faire, nous pouvons pointer un tri de la bonne solution déjà identifié par d'autres recherches (Orange Ravachol, 2010). Le tri des solutions se fait, au fur et à mesure de l'avancée de la séquence, à travers les différentes tâches réalisées par la classe et les divers niveaux d'écrits successifs produits (pluri-texte propositionnel → mono-texte argumentatif → mono-texte propositionnel). A partir de cette modélisation praxéologique et de l'analyse précédente des écrits, nous pouvons avancer que les technologies justifiant ces techniques de mise en texte se basent sur les conceptions épistémologiques de l'enseignante qui considère les savoirs scientifiques comme des solutions vraies et factuelles aux problèmes posés. Par ailleurs, nous notons que les techniques enseignantes de mise en texte basées sur le repérage et le tri des solutions ne sont pas spécifiques aux sciences de la Terre. Elles peuvent tout à fait permettre d'accomplir la tâche enseignante de mise en texte d'un problème en sciences de la vie. Cependant, certaines tâches réalisées par la classe (produire un dessin simple d'un volcan par exemple) présentent une certaine spécificité aux sciences de la Terre.

5. Conclusion et perspectives

Nous avons – à partir de l'analyse des textes produits au cours d'une séquence ordinaire en sciences de la Terre – tenté de modéliser, grâce à des outils empruntés à la TAD, les techniques enseignantes pour une activité de mise en texte qui visiblement ne garde pas de traces de la problématisation. Il apparaît que les difficultés d'une mise en texte problématisé sont liées à des techniques centrées sur le repérage et de tri des solutions dans le but d'identifier la bonne solution au problème posé. Ces techniques guident manifestement l'activité de l'enseignante et font qu'elle ne va pas dans le sens d'un travail de problématisation. Elles semblent justifiées par des technologies marquées par une certaine conception des savoirs scientifiques. Pour poursuivre ce travail, il serait intéressant de se pencher sur l'activité de mise en texte orale des élèves et de l'enseignante vu que les savoirs ne peuvent aucunement se réduire aux seuls textes écrits. Comment s'est déroulée leur mise en texte pendant les moments de travail de la classe ? Retrouve-t-on des traces de la problématisation et de la construction des raisons lors de la mise en texte orale ?

Bibliographie :

Astolfi, J.-P. (1992). *L'école pour apprendre*, Paris, ESF.

Astolfi, J.-P. (2005). « Problèmes scientifiques et pratiques de formation ». In Maulini, O. et Montandon, C. (2005). *Les formes de l'éducation : variété et variations*, Raisons éducatives. Bruxelles : De Boeck.

Bernié, J.-P. (2002). « L'approche des pratiques langagières scolaires à travers la notion de « communauté discursive » : un apport à la didactique comparée ? », *Revue française de pédagogie*, N° 141, pp.77-88.

Brossard, M. (1998). « Approche socio-historique des situations d'apprentissage de l'écrit ». In M. Brossard et J. Fijalkow (éd.). *Apprendre à l'école : perspectives piagétienne et vygotskiennes*, Pessac: Presses universitaires de Bordeaux, pp.37-50.

Chabanne, J-C., Bucheton, D. (2002). « L'activité réflexive dans les écrits intermédiaires : quels indicateurs ? » In Chabanne J-C. & Bucheton D. (2002). *Parler et écrire pour penser, apprendre et se construire : L'écrit et l'oral réflexif*. Paris : PUF, pp. 25-51.

Chevallard, Y. (1997). « Familiale et problématique, la figure du professeur », *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 17/3, pp. 17-54.

Chevallard, Y. (1998). « Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques : l'approche anthropologique », *Actes de l'Université d'été*, La Rochelle juillet 1998.

Fabre, M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*, Paris : PUF.

Fabre, M. (2007). « Des savoirs scolaires sans problèmes et sans enjeu. La faute à qui ? », *Revue française de pédagogie*, N°161, pp. 69-78.

Jaubert, M. (2007). *Langage et construction de connaissances à l'école*, Pessac : Presses universitaires de Bordeaux.

M.E.N. (2008). Programmes de l'enseignement de sciences de la vie et de la Terre (Collège), *B.O.E.N.*, N° 6, 28 août 2008.

Mercier, A. Schubauer-Leoni, M. & Sensevy, G. (2002). « Vers une didactique comparée », *Revue française de pédagogie*, N°141, pp.5-16.

Orange Ravachol, D. (2003). *Utilisation du temps et explications en Sciences de la Terre par les élèves de lycée : étude de quelques problèmes géologiques*, Thèse de Doctorat, Université de Nantes.

Orange, C. (1995). « Volcanisme et fonctionnement interne de la Terre : repères didactiques pour un enseignement de l'école élémentaire au lycée », *ASTER*, N°20, pp. 85-103, Paris.

Orange, C. (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, C. (2010). « Situations forcées, recherches didactiques et développement du métier enseignant », *Recherches en éducation*, Hors série N°2, octobre 2010, pp. 73-85.

Curriculum d'éducation scientifique et technologique et professionnalité des enseignants de l'école maternelle

Frédéric Charles, Univ. Paris Descartes, EDA, EA 4071 ; Univ. de Reims Champagne-Ardenne (CEREP, ex-LERP) ; frederic.charles@univ-reims.fr

&

Joël Lebeaume, Univ. Paris Descartes, EDA, EA 4071 ; joel.lebeaume@parisdescartes.fr

Mots clés : Éducation ; sciences et technologie ; école maternelle ; professionnalité ; composition

Résumé : L'école maternelle française, lieu d'éducation préscolaire, est caractérisée par une approche globale et non cloisonnée des contenus (les matières éducatives ou les disciplines ne structurent pas l'emploi du temps de la journée) ainsi que par des modalités pédagogiques spécifiques (temps de rituel, travail en atelier...). Dans ce contexte, nous investiguons les pratiques enseignantes selon un point de vue didactique d'éducation scientifique et technologique. Les résultats d'une thèse en cours permettent de préciser des éléments d'une spécialité des enseignants de l'école maternelle, notamment celle de concevoir et de mettre en œuvre des compositions d'enseignements et d'activités réticulées cohérents et connexes.

1. L'école maternelle, lieu de la première éducation scientifique et technologique

En France, l'école maternelle est un lieu d'éducation préscolaire fréquenté par la quasi-totalité des enfants de moins de six ans : elle joue ainsi un rôle primordial par les nombreux apprentissages premiers qu'il s'y passe (langagiers, moteurs, de socialisation par exemple).

Parmi les différents domaines d'activités prescrits par les programmes (Ministère de l'Éducation nationale, 2008), les professeurs des écoles prennent en charge un domaine d'activité étiqueté « découvrir le monde du vivant, des objets et de la matière ». Ce domaine constitue les prémices de la première éducation scientifique et technologique (ST), fondamentale dans le contexte actuel du développement des sciences et des techniques qui modifie le travail, la famille et le milieu de vie.

Cette communication vise à caractériser les pratiques des enseignants de l'école maternelle, pratiques étudiées à travers le prisme de l'éducation ST. Après avoir présenté le cadre de référence qui permet d'investiguer l'éducation ST de l'école maternelle et la méthodologie retenue pour l'explorer, nous exposons et discutons les résultats d'une recherche en cours qui permettent d'objectiver les pratiques en maternelle en termes de spécialité enseignante.

2. Un curriculum et des modalités pédagogiques spécifiques : une spécialité enseignante

L'école maternelle, accueillant de jeunes enfants, se distingue de l'école élémentaire par certains caractères, surtout ses contenus et ses modalités pédagogiques en raison de l'âge de ce public préscolaire.

Les contenus, à l'école maternelle, ne correspondent pas à l'acception restreinte de ce terme, renvoyant plutôt à des savoirs énonçables et sous forme textuelle. Ceux qui sont liés à l'éducation ST en maternelle correspondent plutôt à des expériences contribuant essentiellement à la construction d'un référent empirique : Coquidé (1998) situe la maternelle comme le lieu de la familiarisation pratique avec la nature et les objets. Durant leur scolarité, ces expériences de vie initient le « parcours éducatif » ou curriculum des sciences et technologie à l'École, constitué par l'ensemble des rencontres des enfants avec le monde ST. Dans cette perspective de construction d'un référent empirique, ces rencontres peuvent être par exemple, la réalisation de plantations dans le jardin de l'école, la fabrication d'objets roulants ou bien encore l'observation des changements d'état de l'eau.

Le curriculum de l'école maternelle, dans ses dimensions prescrites et réelles renvoie :

- Selon le point de vue sociologique de Bernstein (1975) au code « intégré » (*integrated code*) où les séparations entre les enseignements sont faibles (pas de compartimentation liée à des disciplines).
- Selon la distinction sociopolitique de Ross (2000) à un *process-driven and a child-centred curriculum*, c'est-à-dire un curriculum dont les frontières externes et internes sont peu marquées, sans délimitation disciplinaire nette, avec des relations fortes entre les activités scolaires proposées et les moments extracurriculaires ; les activités seraient ainsi plus centrées sur le monde familier de l'élève.

À partir d'une analyse historique, Lebeaume (1995) confirme ces classements en montrant comment les enseignants de l'école primaire parviennent à intégrer l'éducation ST dans un réseau de pratiques cohérentes mettant ainsi en étroite relation les enseignements de français et de sciences. Il exprime en termes de connexité ces relations qu'il distingue selon les registres curriculaire, didactique et pédagogique (Lebeaume, 2008a, 2011).

Les modalités pédagogiques en école maternelle sont singulières et cette école constitue un format scolaire particulier. La notion de format scolaire, emprunte à celle de forme scolaire les spécificités que mentionne Vincent (1998), savoir, un lieu, un temps et des acteurs, élèves et maîtres spécifiques, sans toutefois considérer les aspects sociopolitiques de l'institution des enfants (Lebeaume, 2011). Plusieurs caractéristiques de ce format scolaire sont importantes : l'organisation spatiale est en forte relation avec l'organisation temporelle avec des temps spécifiques comme l'accueil du matin où les enfants mènent différentes activités éducatives et ludiques ; le langage au coin regroupement ; des temps décrochés dans des espaces aménagés (coins variés : cuisine, poupée, constructions, etc.) ; des ateliers sur de petites tables, etc. L'emploi du temps que les enseignants conçoivent et mettent en œuvre apparaît plus souvent dicté par ce format organisationnel – et donc à cette matrice scolaire – que par des contenus à enseigner liés à des domaines d'activité ou des matières éducatives donnés.

Tous ces traits spécifiques des contenus, de leur organisation d'ensemble et des modalités pédagogiques laissent penser que les pratiques des enseignants de l'école maternelle relèvent d'une spécialité enseignante telle que la définit Lebeaume (2008b). L'enjeu de la recherche en cours est de caractériser cette spécialité qui ne constituerait pas seulement un genre de la profession d'enseignant, ce que l'institution – et parfois la profession – tendent à valoriser afin d'assurer le statut ou la mobilité des enseignants du premier degré et ce que la recherche ne prend pas vraiment en compte.

3. Des pratiques investiguées selon une perspective didactique et curriculaire

Les recherches consacrées à l'éducation ST à l'école maternelle restent restreintes (Lasson, 2004 ; Ledrapier, 2007). Plus largement, le panorama des recherches centrées sur l'école maternelle (Charles, 2008) montre une centration forte sur les processus d'enseignement-apprentissage ainsi qu'une projection sur l'école primaire de l'organisation en disciplines constituées caractéristique de l'enseignement secondaire. À cet égard, Bisault (2011) propose de s'écarter radicalement de cette logique disciplinaire en affirmant qu'il n'existe pas à proprement parler de curriculum de sciences et technologie mais seulement des moments d'un curriculum éducatif qui peuvent contribuer à une éducation ST : fréquemment, lors d'un moment scolaire (correspondant à une séance scolaire), plusieurs visées ou horizons sont concernés, associés à des domaines distincts (maîtrise de la langue, motricité, éducation artistique...).

Ainsi, les spécificités de l'école maternelle sont incompatibles avec une vision d'enseignements compartimentés et cloisonnés. Les réseaux d'enseignements cohérents et connexes obligent une investigation de l'éducation ST à l'école maternelle selon une approche plus globale de l'ensemble de la structure du curriculum. Dans cette perspective curriculaire, les contenus réticulés et les pratiques forment ce que nous désignons par compositions, des ensembles cohérents où chaque moment scolaire contribue à former un tout cohérent.

4. Des carnets de bord et des entretiens

L'ambition de mettre au jour les pratiques enseignantes composant les parcours d'éducation ST des enfants de l'école maternelle avec leur connexité déterminent les choix méthodologiques pour le recueil des données empiriques : des carnets de bord complétés par des entretiens.

Ces carnets ont été renseignés par une douzaine d'enseignants volontaires pour contribuer à cette recherche. Après un contact téléphonique ou une rencontre dans sa classe, chaque enseignant a reçu un carnet de bord sur lequel il devait indiquer ce qu'il mettait en œuvre en termes d'éducation ST en précisant les relations éventuelles avec les autres activités scolaires. La consigne précisait que les carnets de bord devaient être renseignés au cours de longues périodes (deux à trois trimestres d'une année scolaire). Ces écrits, qui se révèlent généralement rédigés à la première personne et fortement personnels constituent des traces de l'activité réflexive des enseignantes (Cros, 2003).

Trois entretiens semi-directifs en appui sur ces écrits ont été menés selon une fréquence moyenne d'un entretien toutes les huit semaines avec chacun de ces enseignants. Après prise de rendez-vous téléphonique, la lecture au calme du carnet de bord dans l'école de l'enseignant précédait l'entretien d'une durée variant de 10 à 25 minutes. Les items de la grille d'entretien¹⁹ permettaient l'exploration des parties lacunaires du carnet de bord.

Cette association carnets de bord et entretiens de restitution, s'apparente à la méthodologie mise en œuvre par Coquidé et al. (2007) et Lebeaume et Magneron (2004) dans leurs études respectives des pratiques des enseignants des cycles 1 et 2 et de ceux prenant en charge les

¹⁹ Notamment : un item qui porte sur les moments scolaires d'éducation ST et un autre sur les relations entre ces moments et d'autres activités éducatives.

Itinéraires de Découverte. Comme dans ces travaux, le contenu de ces carnets et entretiens a été intégralement retranscrit et constitue les données empiriques ensuite analysées.

Dans la perspective de didactique curriculaire, l'analyse de ces données utilise une grille qui focalise trois dimensions :

- La première dimension établie selon le schéma d'analyse de Lebeaume (2000) permet de caractériser les moments scolaires ST, notamment en termes de tâches des élèves et de leurs visées éducatives.
- La deuxième dimension, inspirée de Lenoir (2008), caractérise les relations entre cette éducation ST et d'autres activités (relations qui peuvent être de dominance, de partage, etc.).
- Enfin, la troisième dimension saisit la position de cette éducation ST au fil du temps.

Cette grille permet ainsi de reconstruire le curriculum éducatif ST des enfants à l'école maternelle, ses relations verticales dans la programmation ou la mise en œuvre au fil du temps et ses relations horizontales avec les autres parcours éducatifs : c'est-à-dire les compositions des enseignants.

5. Un curriculum d'éducation ST en interconnexions

L'analyse des données empiriques permet de saisir quels sont les contenus pris en charge et donc privilégiés par les enseignants pour l'éducation ST. Le monde du vivant est très représenté (10 classes sur 12) alors que celui des objets est très peu présent (3 classes), le monde de la matière occupant une place intermédiaire (7 classes) : élevages, plantations, jardinage témoignent des rencontres fréquentes des enfants de la maternelle avec le monde du vivant ; l'étude des états de l'eau, des expériences sur la flottabilité sont des moments également présents mais les rencontres des enfants de l'école maternelle avec le monde technique restent rares. Ces résultats sont convergents avec ceux de Baillat (2001) et de Lasson (2004).

L'analyse met également en avant le caractère interconnecté du curriculum d'éducation ST précisé : onze des douze enseignants mettent en relation les moments constituant ce curriculum avec d'autres parcours éducatifs.

Par conséquent, en fonction de la nature de la connexion et de la relation de partage, de dominance ou d'indépendance, les enjeux ST sont très variables :

- Chez un quart des enseignants, malgré la présence de moments étiquetés « découvrir le monde du vivant, des objets ou de la matière », les enjeux associés sont inexistantes et les rencontres avec le monde de la nature et des objets sont éphémères. Ces moments sont souvent prétextes à d'autres visées, langagières ou artistiques notamment.
- La plupart des enseignants parvient à faire coexister différents enjeux dans leurs pratiques ; un équilibre entre les priorités est observé, soit à l'intérieur même des réseaux (il n'y a pas de hiérarchisation dans les priorités accordées aux contenus), soit au cours du temps entre les réseaux (l'éducation ST est envisagée en termes de programmation dans le temps). Les enjeux ST observés sont alors majoritairement dans le registre de la familiarisation pratique.
- Chez quelques enseignants, les moments d'éducation ST sont marqués par des éléments de disciplinarité et caractérisés par la construction d'un référent empirique et d'un tout premier registre de conceptualisation. L'éducation ST domine alors dans ces moments ou bien est indépendante des autres parcours éducatifs. Ce résultat est convergent avec ceux

de Thévenaz-Christen (2005) qui observe dans le contexte de l'école enfantine genevoise l'émergence d'activités langagières orales de plus en plus disciplinairement marquées.

6. Des compositions complexes : un attribut de la spécialité des enseignants de maternelle²⁰

Par l'observation privilégiée du curriculum d'éducation ST et ses relations avec d'autres, nous objectivons les compositions de réseaux d'enseignements cohérents et connexes mis en œuvre par les professeurs des écoles. Ces compositions constituent un attribut de la spécialité des enseignants de l'école maternelle : l'interconnexion est en quelque sorte une manière de penser et une façon de faire qui détermine une grande majorité des moments scolaires.

Les compositions observées sont caractérisées par leur complexité et des pratiques pilotées par la dimension du tissage, dimension du modèle des gestes professionnels qui prédomine très nettement chez les enseignants de maternelle (Bucheton et Dezutter, 2008). Le tissage observé est ainsi présent au sein des compositions elles-mêmes mais également entre les compositions au fil du temps.

La métaphore du tissage peut être développée dans le sens où les enseignants de maternelle tissent les différents moments scolaires selon deux dimensions : une dimension horizontale tout d'abord (relation par l'intermédiaire d'une thématique par exemple) et une dimension verticale représentée par une organisation des contenus pris en charge dans les différents domaines au cours du temps : les enseignants de maternelle sont ainsi capables de gérer ce qui semble être une tension entre la progression rigoureuse qu'ils réalisent selon les domaines d'activités et une certaine souplesse liée à la mise en œuvre de compositions.

L'analyse des pratiques et des entretiens révèle également une forte préoccupation pour l'enfant, pris dans sa dimension globale, ainsi que pour ses intérêts : les enseignants adaptent en partie leurs enseignements en étant attentifs aux remarques et aux besoins des enfants.

Les compositions complexes et cette centration sur l'enfant sont en relation avec une façon de penser et une manière de faire spécifiques chez les enseignants de maternelle, présentant ce que nous proposons d'appeler des « cadres souples ». L'utilisation de cet oxymore montre que les enseignants préparent des cadres complexes, tissés mais aussi qu'ils sont capables de leur donner une certaine souplesse en les adaptant, les déformant en quelque sorte au gré des remarques des élèves, des opportunités qui peuvent s'offrir à eux.

7. Spécialité et enracinement historique des pratiques

L'investigation des pratiques enseignantes à l'école maternelle selon la perspective de didactique curriculaire et une entrée privilégiée par l'éducation ST permettent non seulement de caractériser ce curriculum mais aussi ses relations avec d'autres parcours éducatifs. Cette approche permet aussi de caractériser et de spécifier les pratiques enseignantes, contribuant ainsi à préciser la professionnalité des enseignants de maternelle. Cette spécialité est définie

²⁰ Un exemple de composition a été placé dans deux annexes qui présentent le synopsis d'un enseignement autour d'un élevage de phasmes ainsi que la grille d'analyse illustrée par des extraits du carnet de bord et des entretiens semi-directifs correspondants.

par les compositions conçues et réalisées ce qui tend à les démarquer fortement de leurs collègues de l'élémentaire.

Au-delà des déterminants individuels susceptibles d'interpréter la variabilité des pratiques, leur dominante mise en évidence précédemment souligne cette spécialité des enseignants vraisemblablement historiquement enracinée dans ces pratiques. L'école maternelle a en effet une histoire qui l'a très tôt démarquée de l'école élémentaire (Luc, 1982). L'étude en cours des discours pédagogiques et des propositions pour l'enseignement à partir de 1950, c'est-à-dire lorsque l'école maternelle est devenue éducative pour tous les enfants, propose de valider cette hypothèse.

Bibliographie

- Baillat, G. (2001). Enquête du groupe de recherche sur les pratiques professionnelles enseignantes. Enquête sur la polyvalence des enseignants du premier degré (Rapport de recherche n°1). Reims : IUFM de Reims.
- Bernstein, B. (1975). On the curriculum. In B. Bernstein, *Class, codes and control*, vol. 3 (pp. 79-84). London : Routledge and Kegan Paul.
- Bisault, J. (2011, janvier). Education scientifique à l'école primaire : une construction curriculaire interconnectée sous influences multiples. Communication présentée au séminaire STEF, Cachan, France.
- Bucheton, D. et Dezutter, O. (2008). Le développement des gestes professionnels dans l'enseignement du français. Bruxelles : De Boeck.
- Charles, F. (2008). La première éducation scientifique et technique des enfants de deux à sept ans. Mémoire inédit de Master 2 recherche. ENS Cachan. 43 pages.
- Coquidé, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, 26, 109-132.
- Coquidé, M., Le Tiec, M. et Garel, B. (2007). Exploiter des espaces pour découvrir la nature et les objets. *Eléments de professionnalité d'enseignants de cycles 1 et 2*. *Aster*, 45, 17-28.
- Cros, F. (2003). L'écriture sur la pratique est-elle un outil de professionnalisation ? *Perspectives documentaires en éducation*, 58, 41-47.
- Lasson, C. (2004). Ruptures et continuités dans la familiarisation pratique en technologie de l'école pré-élémentaire au collège. Thèse de doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan. 233 pages.
- Lebeaume, J. (1995). La transformation des travaux d'aiguille en leçons de couture ou la constitution d'un réseau de pratiques cohérentes. *Spirale*, 14, 103-136.
- Lebeaume, J. (2000). *L'éducation technologique. Histoires et Méthodes*. Paris : ESF.
- Lebeaume, J. et Magneron, N. (2004). Itinéraires de découverte au collège : à la recherche des principes coordinateurs. *Revue Française de Pédagogie*, 148, 101-118.
- Lebeaume, J. (2008a). *L'enseignement des sciences à l'école. Des leçons de choses à la technologie*. Paris : Delagrave.
- Lebeaume, J. (2008b). Les sciences et la technologie dans l'enseignement obligatoire : curriculums et spécialités enseignantes. In A. Hasni & J. Lebeaume, *Interdisciplinarité et enseignement scientifique et technologique* (pp. 33-49). Paris : INRP.

Lebeaume, J. (2011a). Les choses et les mots à l'école. Exploration de la connexité des enseignements de français et de sciences (1880-2000). *Carrefours de l'éducation*, hors série 1, 87-100.

Lebeaume, J. (2011b). L'éducation technologique au collège : un enseignement pour questionner la refondation du curriculum et les réorientations des disciplines. *Éducation & Didactique*, (5)2, 1-15.

Ledrapier, C. (2007). Le rôle de l'action dans l'éducation scientifique à l'école maternelle : cas de l'approche des phénomènes physiques. Thèse de doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan. 432 pages.

Lenoir, Y. (2008). L'interdisciplinarité dans l'enseignement scientifique : apports à privilégier et dérives à éviter. In A. Hasni & J. Lebeaume (dir.). *Interdisciplinarité et enseignement scientifique et technologique* (pp. 17-32). Sherbrooke : Editions du CRP et Lyon : INRP.

Luc, J.-N. (1982). La scolarisation du jeune enfant depuis le début du XIXème siècle : action sociale et projet pédagogique. In J.-N. Luc, *La petite enfance à l'école, XIXe-XXe siècles. Textes officiels* (pp. 9-50). Paris : Economica INRP.

Ministère de l'Education Nationale (2008). *Bulletin officiel Hors-série* du 20 février 2008.

Ross, A. (2000). *Curriculum : construction and critique*. London/New York : Falmer Press.

Thévenaz-Christen (2005). *Les prémices de la forme scolaire. Etudes d'activités langagières orales à l'école enfantine genevoise*. Thèse de doctorat, Université de Genève, Suisse. 448 pages.

Annexe 1. Synopsis de la composition « Les phasmes » (classe de moyenne et grande sections de maternelle)

À la suite d'une proposition d'un « maître-animateur sciences » de circonscription, l'enseignante amène dans sa classe des œufs de 4 espèces différentes d'insectes. Seul un œuf de phasme va éclore dans les six semaines. Après questionnement autour de ces objets biologiques, et durant cette période, l'enseignante alterne des moments d'observation, de dessin d'observation, de recherche documentaire afin de travailler sur la naissance, la croissance et le « schéma corporel » de l'insecte né.

D'autres moments sont liés à cet élevage, notamment en maîtrise de la langue (travail sur des documentaires scientifiques, reconnaissance de mots liés à la thématique, phonologie...) et en découverte du monde (entrée dans les mathématiques : formes et grandeurs, quantités et nombres).

Synopsis de la composition « Les phasmes »

Annexe 2 : grille d'analyse didactique de la composition « Les phasmes »

Cette grille précise les dimensions et les sous-dimensions de l'analyse du *corpus* constitué par les transcriptions du carnet de bord et des entretiens semi-directifs correspondants.

Dimension 1 : les moments scolaires relatifs à la découverte du monde vivant	
Les contenus	<p>Les contenus sont relatifs à la découverte du monde vivant : observation de certaines manifestations de la vie (naissance et croissance) et de représentants de ce monde (insectes) ; connaissances sur ce monde vivant.</p> <p>Mes objectifs sont : observer les manifestations de la vie des insectes et découvrir le cycle de la naissance, la croissance, la reproduction, le vieillissement et la mort. [Extrait du carnet de bord]</p>
Les tâches	<p>Les tâches des élèves sont centrées sur la verbalisation, l'observation et le dessin d'observation.</p> <p>1^{er} mars 2010 : les œufs sont arrivés. Je présente 4 pots avec 4 sortes d'œufs différentes. Je demande aux élèves d'observer le contenu de ces pots d'abord à l'œil nu (...). Je leur fournis une loupe et des pots d'observation ; je leur demande alors de dessiner le mieux possible les 4 sortes d'œufs.</p> <p>15 mars 2010 : un phasme est né. Je propose aux enfants de l'observer, à l'œil nu puis à la loupe. [Extraits du carnet de bord]</p>
La visée	<p>En ce qui concerne les visées éducatives de ces tâches, il s'agit ici d'amener les élèves à observer pour appréhender et découvrir certaines manifestations de la vie (naissance et croissance) et formes d'organismes vivants.</p> <p>Iée²¹ : et bien donc, au début, moi, ce qui était important, c'était que les enfants voient l'évolution du stade « œuf » à l'animal, l'insecte, le phasme, et puis donc, qu'on, qu'ils puissent constater les différentes étapes d'une naissance et puis de la croissance. Par contre, ils ne l'ont pas vu à l'état adulte (...) on ne verra pas tout le cycle. [Extrait de l'entretien 3]</p>
Dimension 2 : structure globale de la composition sur le plan horizontal	
Domaines d'activité liés	<p>Le langage est en relation avec la découverte du monde vivant (familiarisation avec l'écrit, les documentaires, préparation à la lecture et à l'écriture, vocabulaire). L'enseignante lie également l'éducation scientifique avec d'autres parties de la découverte du monde : « formes et grandeurs » et « quantités et nombres ».</p> <p>En parallèle de ces activités spécifiques sur la découverte du vivant, les élèves ont eu du travail comme :</p> <ul style="list-style-type: none"> - reconnaître des mots dans différentes graphies (phasme, feuille,

²¹ Iée : abréviation d'interviewée.

	<p>papillon, bâton, corps, tête...)</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer et reconnaître des formes identiques (papillons différents au niveau des ailes) - remettre en ordre croissant par la taille des papillons - lecture de l'album « La chenille qui fait des trous » avec reconnaissance des mots : pomme, poire, feuille, chenille, fraise, orange, prune... <p>[Extrait du carnet de bord]</p>
<p>Type de pédagogie</p>	<p>Ici, il s'agit d'un thème qui au début devait être centré sur plusieurs insectes mais qui finalement s'est resserré autour d'une seule espèce, le phasme. « Insecte » est ici le mot porteur de contenus et d'activités dans différents domaines. Même si les contenus se sont recentrés en termes de contenus et d'activités éducatives scientifiques, ils ont été développés dans les autres domaines d'activité, à partir d'album porteurs également de thèmes. Un « réseau de thèmes » apparaît en quelque sorte ici : insectes, phasmes, chenille, papillon...</p> <p>lée : oui, en général, ce n'est jamais fermé : j'ai le thème principal, j'ai des accroches dans les différents domaines, mais toute ouverture est possible, je veux dire, s'il y a un enfant, qui revenait avec un livre ou... Par exemple, si un enfant revenait avec un livre sur les fourmis ou n'importe quoi, et bien on aurait ajouté, on aurait essayé de voir ce qu'on pouvait faire avec quoi... (...) J'essaie de greffer un peu tout donc que ce soit les albums, je cherche des albums sur le thème (...) alors, là, c'est pareil j'ai des albums sur le phasme, j'en ai sur le papillon : « la promesse », là que je suis en train de leur lire, l'histoire d'un petit têtard avec la chenille et donc, après, mes activités pas de graphisme mais de reconnaissance d'écriture et tout ça, je l'écris à partir du vocabulaire qui se dégage de ce thème-là. [Extrait de l'entretien 2]</p>
<p>Entrée/début de la composition</p>	<p>L'entrée se fait par une séance de langage lors de l'arrivée des œufs d'insectes. L'idée de faire des élevages était déjà présente chez l'enseignante mais c'est une opportunité qui a déterminé le choix de ces espèces, phasmes et papillons.</p> <p>Ir²² : tu les as obtenus comment ces œufs ?</p> <p>lée : en fait, c'est par Oliver H. [le maître animateur sciences] qui nous a envoyé un mail à propos d'œufs via des collègues qui en avaient. J'ai sauté sur l'occasion et il m'en a apportés à la rentrée et j'ai démarré ça.</p> <p>Ir : finalement, là, qu'est-ce qui fait que tu as eu envie de travailler sur des élevages ?</p> <p>lée : c'est le mail du maître-animateur et comme je cherchais un autre sujet (...) je cherchais quand même à faire de l'élevage : je pensais éventuellement récupérer des fourmis à droite et à gauche, ou des escargots, enfin, essayer des petits animaux et éventuellement si les gamins qui sont très « petites bêtes », ramenaient des petites bêtes. [Extrait de l'entretien 2]</p>
<p>Sortie/fin de la composition</p>	<p>La composition se termine par une dernière séance d'observations de l'unique phasme qui a été élevé par la classe et reste lié au contenu de la composition, l'observation d'un animal et des connaissances associées.</p> <p>lée : et bien les œufs n'ont pas éclos (...) Et bien, j'ai fini par jeter parce que non, ça n'a pas trop fonctionné, pourtant, j'avais mis les conditions d'humidité, tout ça comme ils disaient mais bon... et puis les phasmes, je n'en ai eu qu'un, d'œuf qui a éclos, alors après les observations, les</p>

²² Ir : abréviation d'interviewer (le chercheur).

	<p>observations étaient un peu limitées du coup [rires] ! (...) Mais j'ai des collègues à l'élémentaire qui en ont aussi donc c'est aussi pour ça qu'après j'ai pas trop insisté car je sais qu'après les gamins ils allaient en revoir l'année prochaine donc... [Extrait de l'entretien 3]</p>
<p>Relations entre domaines, hiérarchisation des priorités</p>	<p>Cette composition accorde une place importante à l'éducation ST qui pilote l'avancée dans cette composition. Cependant, l'enseignante a une forte préoccupation sur les contenus relatifs à l'apprentissage de la langue française qui prédominent finalement. Les objets porteurs de contenus (les œufs, le phasme) sont donc ici une source d'activités de langage oral, de travail précis sur la lecture et l'écriture... L'éducation ST a donc été un instrument pour d'autres pratiques, non scientifiques et est devenue un simple support pour l'enseignante pour légitimer d'autres activités, ménageant malgré tout cette éducation scientifique. Il y a donc dépendance entre la découverte du monde vivant et d'autres domaines d'activité (langue française, découverte du monde des formes, grandeurs, quantités et nombres) mais les activités langagières dominent sur l'éducation scientifique.</p> <p>Je demande aux GS de s'exercer à réaliser un dessin légendé sur le phasme en indiquant les mots : le phasme, la tête, les pattes, les antennes et le corps. J'ai simplifié les légendes par rapport au livre car cela demande aux enfants plusieurs compétences : repères spatiaux ; écriture cursive ; copie. [Extrait carnet de bord]</p> <p>lée : il y a eu un travail sur le vocabulaire, les différentes parties : pattes, œil, corps. (...) C'étaient des moments d'observation et de langage. (...) Finalement, c'était plus, je m'en suis servie pour, je me suis servie de la découverte du monde pour faire un moment de langage en fait, en tout premier. [Extrait entretien 3]</p>
<p>Dimension 3 : L'organisation verticale des compositions</p>	
<p>Composition précédente</p>	<p>L'eau</p>
<p>Composition suivante</p>	<p>Les plantations</p>
<p>Composition simultanée</p>	<p>Les plantations : à la fin de cette composition « Les phasmes », l'enseignante commence à mettre en œuvre la composition suivante, « Les plantations ».</p>
<p>Relation entre compositions</p>	<p>Il existe ici un pont thématique entre les deux compositions, un tissage réalisé à partir d'un spectacle.</p> <p>lée : donc ça peut permettre aussi un petit lien et à la rentrée on fait venir un spectacle, ça s'appelle « pépin dans le jardin » donc a priori il va parler des fruits et des légumes mais aussi des petits animaux du jardin, donc (euh) on pourra peut-être faire un lien avec tout ça : peut-être pouvoir aborder aussi, s'étendre et aborder le cycle de la nature donc là, je vais voir avec le spectacle et comment ça se décante au niveau des élevages. [Extrait entretien 2]</p>

Tableau présentant l'analyse de la composition « Les phasmes »

Les conceptions sur l'Évolution d'enseignants de différentes confessions chrétiennes dans 16 pays

Pierre Clément, Univ. Lyon 1, S2HEP ; clement.grave@free.fr

&

Marie-Pierre Quessada, Univ. Montpellier 2, LIRDEF, IUFM Nîmes ; mpqc@montpellier.iufm.fr

Mots-clés : Évolution – Créationnisme – Enseignants – Catholiques – Protestants – Orthodoxes

Résumé : Les conceptions sur l'Évolution d'enseignants qui se déclarent catholiques diffèrent-elles de celles de leurs collègues protestants ou orthodoxes dans chacun des 16 pays de notre échantillon ? Varient-elles d'un pays à un autre ? Pour répondre à ces questions, nous avons utilisé le questionnaire conçu et validé dans le cadre du projet BIOHEAD-Citizen. Les 16 pays ont été choisis en fonction de la diversité des confessions des enseignants interrogés : dans trois pays, les catholiques y sont très majoritaires, dans cinq autres, ils sont plus nombreux que les autres chrétiens ; dans trois pays les orthodoxes sont très majoritaires ; les protestants sont majoritaires dans un pays, et plus nombreux que les autres chrétiens dans trois autres pays. Les résultats montrent une très forte diversité de conceptions d'un pays à un autre, aussi bien pour les enseignants catholiques que pour les protestants et les orthodoxes. Lorsque les effectifs d'enseignants interrogés le permettent, des tests de Chi² montrent qu'en général il n'y a pas, au sein de chaque pays, de différence significative des conceptions d'enseignants chrétiens, qu'ils soient catholiques, protestants ou orthodoxes, avec cependant quelques rares exceptions comme au Brésil où les conceptions des protestants interrogés sont nettement plus créationnistes que celles des catholiques interrogés.

1. Introduction

Les débats sur Science et Religion connaissent un regain d'intérêt, en particulier autour des problèmes liés à l'enseignement de l'évolution. En témoignent entre autres les ouvrages coordonnés par Jones & Reiss (2007), Coquidé & Tirard (2008), ou Portier, Veuille & Willaime (2011), ainsi que les articles régulièrement publiés par la revue « *Evolution, Education & Outreach* » ou encore plusieurs communications dans des Congrès internationaux tels que la Conférence ESERA 2011.

Mais à côté de ces travaux qui entrecroisent des approches historiques et scientifiques avec l'analyse des difficultés des élèves, peu d'attention a jusqu'ici été portée à l'analyse des difficultés des enseignants malgré quelques articles réalisés par exemple en Grande Bretagne (Reiss 2008), au Brésil (El-Hani & Sepulveda, 2010) ou au Liban (BouJaoude et al. 2009). Plus rares encore sont les comparaisons internationales : elles ont surtout, jusqu'à présent, évalué l'importance des convictions créationnistes dans la population en général (voir par exemple Miller et al. 2006).

L'intérêt du projet de recherche BIOHEAD-Citizen (2004-2008) est d'avoir amorcé ces comparaisons internationales à partir de publics enseignants rigoureusement comparables dans chaque pays : un tiers d'enseignants du primaire, un tiers d'enseignants de la langue du pays dans le secondaire, et un tiers d'enseignants de biologie dans le secondaire. Ces trois échantillons sont composés pour moitié par des enseignants en service et pour moitié par des étudiants en dernière année de formation pour devenir enseignants. Les résultats préliminaires jusqu'ici publiés (Munoz et al. 2007, Quessada et al. 2007, Quessada 2008, Clément 2008, Clément & Quessada 2008, 2009, Clément et al. 2009, Quessada & Clément 2010) ont montré des différences très marquées d'un pays à un autre, mais aussi en fonction du niveau de formation des enseignants, de leur degré de croyance en Dieu et de leur pratique religieuse, ainsi qu'en fonction du niveau économique du pays et de la façon dont l'Évolution est plus ou moins présente dans le curriculum scolaire. Cependant cet échantillon initial de pays n'était pas suffisant pour comparer les conceptions des enseignants se déclarant appartenir à la même confession. Cet échantillon initial de pays a depuis été complété, et nous pouvons aujourd'hui, dans le présent travail limité aux enseignants chrétiens, tenter de différencier trois grands types de confessions : catholiques romains, orthodoxes et protestants. Certes ces catégories sont en partie hétérogènes. Les calvinistes ou luthériens ont des positions sur l'évolution bien différentes de celles des protestants évangéliques (qui eux-mêmes recouvrent toute une nébuleuse de communautés). De tels clivages existent aussi chez les catholiques qui cependant reconnaissent tous l'autorité du pape. D'autres distinctions peuvent être faites au sein des orthodoxes.

Ces trois grandes confessions chrétiennes (catholiques, orthodoxes, protestants) correspondent cependant à des catégories reconnues (Atlas des Religions 2008, 2011) que nous utilisons donc pour répondre à notre question de recherche, qui est double : (1) existe-t-il des convergences, au delà des frontières, entre les conceptions sur l'évolution d'une part chez les enseignants catholiques, d'autre part chez les enseignants orthodoxes, et enfin chez les enseignants protestants ? Ou, au contraire, existe-t-il de fortes différences entre elles selon le pays ? (2) Au sein du même pays, lorsque les comparaisons sont possibles, existe-t-il des différences entre les conceptions sur l'Évolution des enseignants selon qu'ils se déclarent catholiques, protestants ou orthodoxes ?

Nous ne présentons ici qu'une partie de nos analyses et résultats, sélectionnée pour que nous puissions répondre à notre question de recherche.

2. Méthodologie

Tous les résultats présentés ici ont été obtenus à partir du questionnaire mis au point pendant plus de deux ans, puis validé, dans le cadre du projet de recherche BIOHEAD-Citizen. Il s'est appuyé sur des recherches précédentes, sur des séries d'entretiens préalables, sur l'usage dans la plupart de pays d'un questionnaire pilote, suivi d'entretiens et de tests de stabilité des réponses à un mois d'intervalle, sur la sélection des questions les plus discriminantes par rapport aux hypothèses de recherche, et enfin sur de nombreuses précautions pour la traduction en chaque langue des pays du projet : traductions parallèles, synthèse, rétro-traduction (Clément & Carvalho 2007).

Les enseignants interrogés (correspondant aux types d'échantillons indiqués en introduction) étaient toujours en groupe, en présence du chercheur qui garantissait un anonymat total et ramassait immédiatement les questionnaires remplis.

Sur les 10 pages du questionnaire final, 15 questions portent sur l'évolution, certaines plus sur des connaissances (par exemple sur l'importance de divers facteurs dans l'évolution des espèces, la parenté génétique entre homme et chimpanzé, ...) et d'autres sur « évolution ou création » (avec la possibilité d'être à la fois créationniste et évolutionniste), ou sur le finalisme. Les questions dont les réponses différencient le plus les conceptions des enseignants sont reproduites ci-dessous (dans les résultats). L'ensemble du questionnaire peut être consulté dans la thèse de Quessada (2008). Une des questions personnelles porte sur la confession de l'enseignant interrogé, avec une liste de confessions dans laquelle ils pouvaient en cocher une, la dernière proposition étant : « *Je ne veux pas répondre* ». Les échantillons utilisés dans le présent travail ne prennent en compte que la confession déclarée par les enseignants interrogés. Deux autres questions portaient sur le degré de croyance en Dieu, et le degré de pratique religieuse : ces informations ne sont pas utilisées dans le présent travail.

Notre échantillon comporte 16 pays :

- 10 parmi les 18 pays du projet Biohead-Citizen²³ (enseignants interrogés en 2006 et 2007) : Chypre, Estonie, Finlande, France, Hongrie, Italie, Liban, Portugal, Roumanie, Sénégal.
- 6 nouveaux pays (enseignants interrogés entre 2008 et 2011) : Australie, Burkina Faso, Brésil, Cameroun, Danemark et Serbie.

	Pays	Total	Dont avec formation biologie	% Agnost.	% Catho.	% Prot.	% Ortho.	% Musul.	% NR & autres
AU	Australie	201	49	25.9	25.9	28.9	1.0	0.0	18.4
BF	Burkina Faso	296	110	2.4	45.6	18.6	0.0	24.7	8.8
BR	Brésil	402	177	5.5	61.7	12.7	0.0	0.2	19.9
CM	Cameroun	523	266	7.5	47.0	28.9	0.0	3.4	13.2
CY	Chypre	322	66	4.0	9.0	1.2	77.3	0.0	8.4
DK	Danemark	259	111	44.8	1.9	34.4	0.0	3.5	15.4
EE	Estonie	182	108	43.4	7.7	14.8	2.2	0.5	31.3
FI	Finlande	306	121	15.0	1.0	66.3	2.9	0.0	14.7
FR	France	732	319	50.5	38.1	1.9	0.3	1.5	7.7
HU	Hongrie	334	112	15.3	46.4	16.2	0.0	0.0	22.2
IT	Italie	559	150	12.3	78.7	0.5	0.0	0.0	8.4
LB	Liban	722	261	0.4	21.1	0.4	8.3	65.0	4.8
PT	Portugal	350	111	9.4	76.3	7.4	0.0	0.0	6.9
RO	Roumanie	273	127	7.3	8.1	7.0	71.1	0.0	6.6
RS	Serbie	314	107	6.4	1.9	0.0	87.6	0.0	4.1
SN	Sénégal	324	120	0.9	8.3	0.0	0.0	89.2	1.5

Tableau 1. Les effectifs d'enseignants interrogés dans chacun des 16 pays, et le pourcentage de leurs confessions. Agnost = Agnostiques ou Athées ; Catho. = Catholiques ; Prot. = Protestants ; Ortho. = Orthodoxes ; Musul. = Musulmans. La colonne de droite correspond pour l'essentiel aux Non Réponses (NR) et à très peu de religions autres.

²³ Trois des pays du projet Biohead-Citizen ne sont pas pris en compte ici, car aucun des enseignants interrogés (ou seulement un) ne s'est déclaré chrétien : Algérie, Maroc et Tunisie. Dans cinq autres pays du projet (Allemagne, Grande Bretagne, Lituanie, Malte et Pologne), les enseignants n'ont rempli que le questionnaire A, qui ne contenait que quatre questions sur l'évolution. Les réponses à l'une de ces quatre questions (A64) illustrent les graphes publiés dans nos travaux préliminaires, cités plus haut.

Si l'on ne considère que les effectifs > 5% par pays et par confessions, les principales tendances, et les comparaisons possibles au sein du même pays, sont les suivantes :

- Dans trois pays (Serbie, Chypre et Roumanie), **les enseignants orthodoxes** sont très majoritaires (> 71%) alors qu'ils sont absents ou presque dans la plupart des autres pays, sauf au Liban (8,1%). Dans ces trois pays, des comparaisons avec d'autres confessions chrétiennes possibles : à Chypre (9% de catholiques), en Roumanie (8,1% de catholiques et 7% de protestants) et au Liban (21,1% de catholiques).
- Dans trois pays (Italie, Portugal, Brésil), **les enseignants catholiques** sont très majoritaires, mais des comparaisons avec d'autres chrétiens sont possibles au Portugal (7,4% de protestants) et au Brésil (12,7% de protestants). Dans plusieurs autres pays, comme en France, les enseignants catholiques sont plus nombreux que ceux d'autres confessions chrétiennes, mais des comparaisons ne sont possibles que dans les pays suivants : Cameroun (47% pour 28,9% protestants ; Burkina Faso (45,6% pour 18,6% protestants) ; Hongrie (46,4% pour 16,2% protestants) ; Liban (21,1% pour 8,3 orthodoxes).
- Dans quatre pays, **les enseignants protestants** sont plus nombreux que les chrétiens d'autres confessions : principalement la Finlande (66,3%), mais aussi le Danemark (34,4%), l'Estonie (14,8% pour 7,7% catholiques) et l'Australie (28,9% pour 25,9% catholiques). Des comparaisons entre confessions chrétiennes sont possibles dans ces deux derniers pays.
- Il est enfin à noter que dans deux pays (Sénégal et Liban) les enseignants chrétiens sont minoritaires par rapport aux **enseignants musulmans**, tandis que dans trois pays (France, Danemark et Estonie) les enseignants chrétiens sont moins nombreux que ceux qui se sont déclarés **agnostiques ou athées**.

3. Résultats

Une analyse multivariée prenant en compte les réponses aux 15 questions sur l'évolution apportées soit par 2066 enseignants catholiques (figure 1, ne sont pas mentionnés les catholiques des pays où ils représentent moins de 5% des effectifs interrogés) soit par 733 enseignants protestants, soit par 778 enseignants orthodoxes, permet de mettre en évidence (analyse discriminante complétée par un test de randomisation de type Monte Carlo : Munoz et al. 2007) des différences très significatives entre pays.

Dans les trois cas, les enseignants d'une même religion apportent des réponses significativement différentes selon le pays dans lequel ils vivent. Les réponses relatives aux connaissances (importance, dans les processus évolutifs, de la sélection naturelle, du hasard, des virus, des transposons ; génome humain et du chimpanzé, etc.) différencient les enseignants au sein de chaque pays, mais pas les pays entre eux. Ce sont les réponses aux questions relatives au créationnisme, ou encore au finalisme (listées ci-dessous) qui différencient les pays entre eux (figure 1).

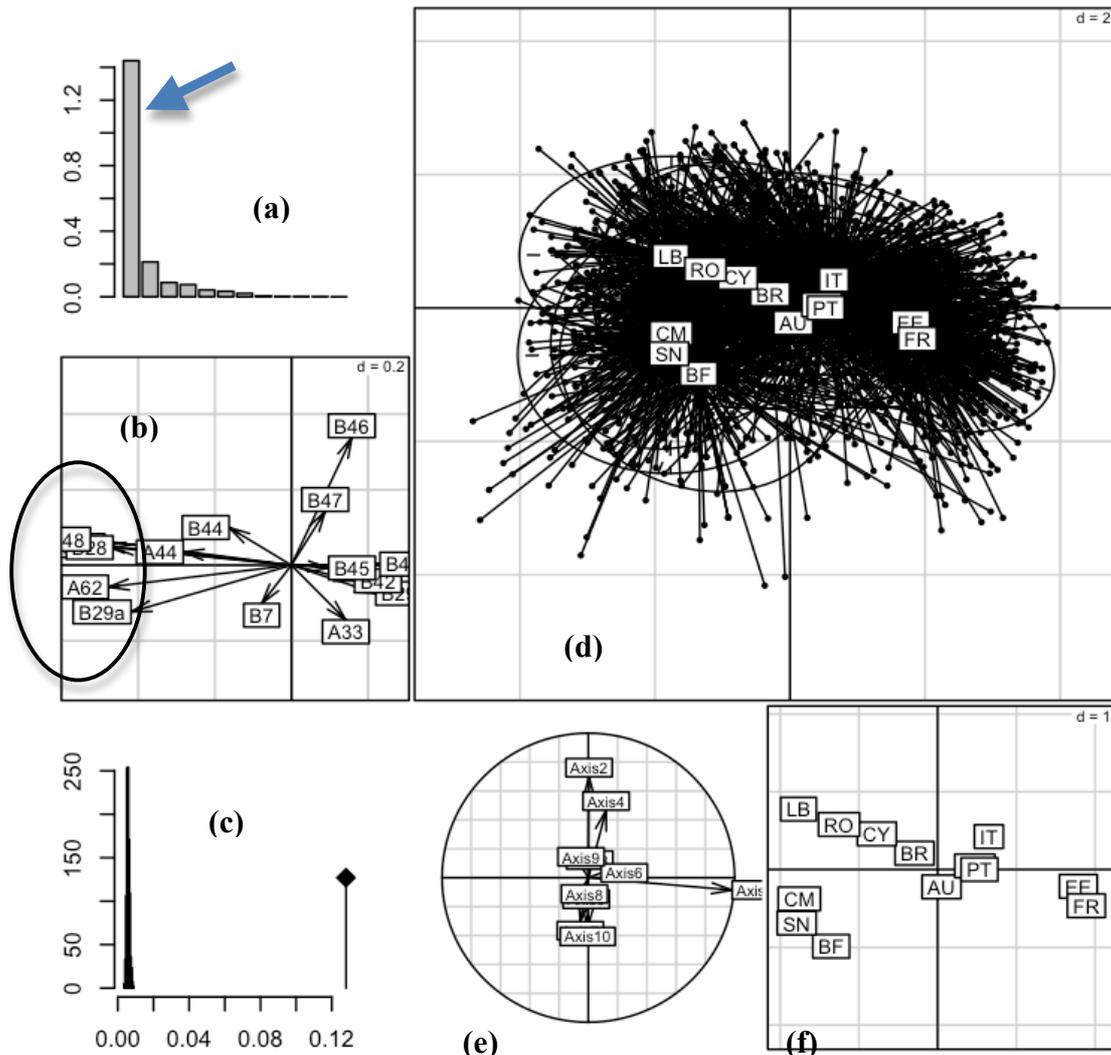


Figure 1. Analyse discriminante différenciant les enseignants catholiques regroupés par pays, dans les 13 pays où ils représentent plus de 5% des effectifs interrogés (total = 2066 enseignants catholiques)

- (a) L'axe 1 (flèche, axe horizontal dans les autres graphes de cette figure) est celui qui différencie le plus les pays entre eux.
- (b) Les questions qui définissent cet axe (entourées par une ellipse) indiquent à gauche les conceptions les plus créationnistes : B48, B28, A64 (étiquette cachée par B28), A62, B29a, et aussi plus finalistes (A44). Le libellé de ces questions est indiqué dans le texte ci-après.
- (c) Un test complémentaire de randomisation (de type Monte Carlo) indique que les différences entre pays sont hautement significatives ($p < 0.0001$) : la valeur de variance observée (le point isolé à droite) est totalement à l'extérieur de l'histogramme obtenu à partir de 1000 itérations aléatoires (à gauche de l'axe horizontal)
- (d) Chaque étiquette indique la position moyenne des conceptions d'enseignants pour un pays (voir sur le tableau 1 la signification des sigles) : les pays où les enseignants ont les conceptions les plus créationnistes sont situés à gauche de l'axe 1 horizontal. Chaque point indique la place des conceptions d'un enseignant ; il est relié au centre de gravité de à son pays.
- (e) Les axes 1 et 2 de cette analyse discriminante (différenciant les pays) correspondent aux axes 1 et 2 de l'ACP initialement réalisée sur tous les enseignants catholiques de ces 13 pays.
- (f) Même graphe que (d) mais limité aux centres de gravité des 13 pays.

Dans la figure 1, l'axe qui différencie les pays vient de réponses opposées aux questions B48, B28, A64, A62, B29a et, de façon moindre à la question A44 sur le finalisme :

Quelle est, selon vous, l'importance des facteurs suivants dans l'évolution des espèces? (Cocher une seule case par ligne.)	Très important	Moyenne-ment important	Peu important	Pas important du tout
B48. Dieu				

A64 : Avec laquelle de ces quatre propositions êtes-vous le plus en accord? (Cocher une seule des 4 propositions) :

- * (1) Il est certain que l'origine de la vie est le résultat de phénomènes naturels,
- * (2) L'origine de la vie peut être expliquée par des phénomènes naturels sans avoir besoin de l'hypothèse que Dieu a créé la vie,
- * (3) L'origine de la vie peut être expliquée par des phénomènes naturels qui sont sous le contrôle de Dieu,
- * (4) Il est certain que Dieu a créé la vie.

A62 : Dans la liste suivante, cocher les trois expressions qui sont le plus associées à l'origine de l'espèce humaine.

_ Adam et Ève, _ Australopithèque, _ Création, _ Évolution, _ Dieu, _ Sélection naturelle.

B28 : Avec laquelle des quatre propositions suivantes êtes vous le plus en accord? (Choisissez en une seule)

- * (1) Il est certain que les origines de l'espèce humaine s'expliquent par des processus évolutifs,
- * (2) Les origines de l'espèce humaine peuvent être expliquées par des processus évolutifs, sans avoir besoin de l'hypothèse que Dieu a créé l'espèce humaine,
- * (3) Les origines de l'espèce humaine peuvent être expliquées par des processus évolutifs qui sont sous le contrôle de Dieu,
- * (4) Il est certain que Dieu a créé l'espèce humaine.

B29a : La théorie de l'évolution ne contredit pas mes propres convictions (cocher oui ou non) : Oui, Non.

A44 : L'émergence de l'espèce humaine (*Homo sapiens*) n'était pas la finalité de l'évolution des espèces vivantes. (degré d'accord indiqué par une case cochée sur 4 cases entre « d'accord » et « pas d'accord »)

La figure 1 montre donc à la fois que les enseignants catholiques interrogés répondent de la même façon aux questions B48, B28, A64, A62, B29a et A44, et que ces réponses sont très variables d'un pays à un autre. Pour illustrer cette diversité de réponses par pays, nous pouvons représenter par un histogramme les réponses à l'une de ces questions, la question B28 (figure 2). L'histogramme relatif aux autres questions sus-mentionnées est à peu près équivalent.

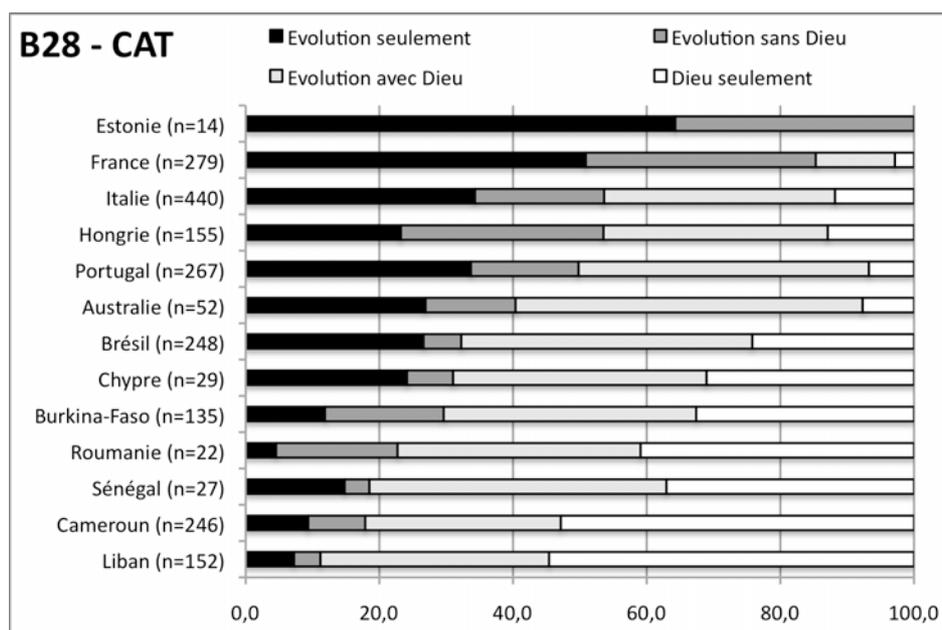


Figure 2. Histogramme des pourcentages de choix des seuls enseignants catholiques parmi les 4 items de la question B28, par pays

Ne sont conservés que les pays où les enseignants catholiques représentent > 5% de l'échantillon interrogé dans le pays. Le libellé de la question B28 est reproduit ci-dessus (origine de l'espèce humaine).

La figure 2 montre que, si les réponses des 14 catholiques estoniens interrogés indiquent des conceptions clairement évolutionnistes (items 1 ou 2 de la question B28), ainsi que chez 85,3% des 279 enseignants catholiques français, ce pourcentage est voisin de 20% en Roumanie, au Sénégal ou au Cameroun, et est même 11,2% au Liban (où les catholiques sont majoritairement maronites). Entre ces extrêmes, chaque pays illustre des pourcentages intermédiaires et variés. Les enseignants catholiques français, italiens, brésiliens ou camerounais sont donc loin d'avoir les mêmes conceptions sur l'évolution !

La même ampleur de différences selon les pays s'observe aussi si l'on ne considère que les enseignants protestants : la figure 3 l'illustre pour les conceptions sur l'origine de l'espèce humaine. Les 14 protestants interrogés en France ne figurent pas sur ce graphe (car ils ne représentent que 1,9% de l'échantillon interrogé) : ils se situeraient entre le Danemark et l'Estonie (10 d'entre eux, sur 14, étant clairement évolutionnistes). Alors qu'au Danemark plus de 93% des enseignants protestants interrogés sont clairement évolutionnistes, ils ne sont que près de 8% au Brésil.

Dans huit pays il est possible de comparer par un Chi2 les réponses des catholiques et des protestants pour cette question B28. Dans cinq d'entre eux il n'y a aucune différence : Australie, Burkina Faso, Cameroun, Portugal et Roumanie. La différence est en revanche très significative au Brésil ($p < 0,0001$), où les protestants sont des évangélistes (pentecôtistes et autres) qui vivent le plus souvent dans les quartiers les plus pauvres et sont fortement créationnistes (El Hani & Sepulveda, 2010). Cependant les mêmes courants évangélistes protestants existent aussi au Cameroun et au Burkina, où l'on n'observe aucune différence avec les catholiques. Enfin une petite différence entre les conceptions des enseignants protestants et catholiques s'observe en Hongrie ($p = 0,03$) et en Estonie ($p = 0,02$) : dans ces deux cas, les enseignants protestants sont un peu plus créationnistes que leurs collègues catholiques.

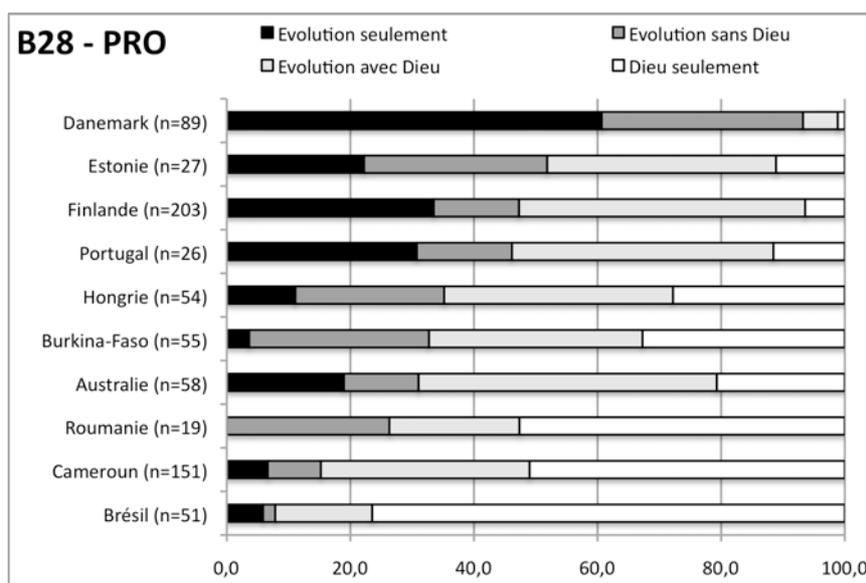


Figure 3. Histogramme des pourcentages de choix des seuls enseignants protestants parmi les 4 items de la question B28, par pays

Ne sont conservés que les pays où les enseignants protestants représentent > 5% de l'échantillon interrogé dans le pays. Le libellé de la question B28 est reproduit ci-dessus.

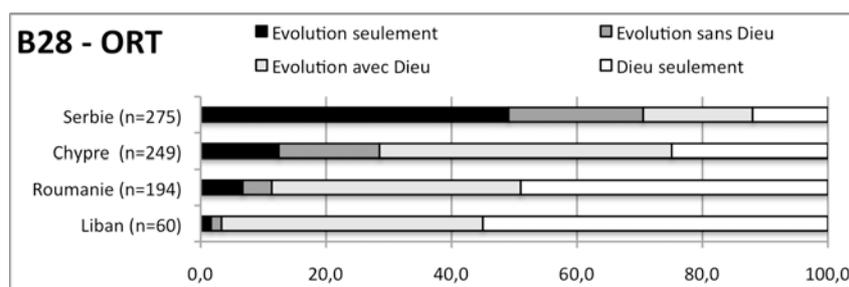


Figure 4. Histogramme des pourcentages de choix des seuls enseignants orthodoxes parmi les 4 items de la question B28, par pays

Ne sont conservés que les pays où les enseignants orthodoxes représentent > 5% de l'échantillon interrogé dans le pays. Le libellé de la question B28 est reproduit ci-dessus.

Ces différences entre pays s'observent aussi en comparant les seuls enseignants orthodoxes. Sur le même exemple de l'origine de l'espèce humaine (figure 4) 70,6% sont évolutionnistes en Serbie, 3,4% au Liban, 11,1% en Roumanie et 28,6% à Chypre. Dans chacun de ces pays, lorsque la comparaison est possible entre orthodoxes et catholiques (Chypre, Liban et Roumanie) ou entre orthodoxes et protestants (Roumanie), aucune différence significative ne ressort des Chi2.

4. Conclusion

Au total, les résultats rapportés ici, ainsi que d'autres analyses à partir de ces données, mériteraient bien sûr des interprétations complémentaires plus fines, pays par pays. Mais une conclusion très claire s'impose : les conceptions sur l'évolution des enseignants chrétiens interrogés dans les 16 pays de notre échantillon varient énormément d'un pays à un autre, mais pas du tout ou très peu d'une confession à une autre au sein du même pays, avec

l'exception notable du Brésil où les protestants, de la mouvance « évangélique », sont nettement plus créationniste radicaux que les enseignants catholiques brésiliens interrogés.

Ces résultats confirment l'importance du contexte socio-économique et culturel national, déjà évoquée dans nos travaux préliminaires (Munoz et al. 2007, Quessada et al. 2007, Clément 2008, Clément & Quessada 2008, 2009, Quessada & Clément 2010). La religion est une des composantes de ce contexte et, qu'elle soit catholique, protestante ou orthodoxe, s'imprègne de spécificités locales qui expliquent les deux principaux résultats de notre recherche : que les enseignants d'une même religion (catholiques, orthodoxes ou protestants) sont loin d'avoir les mêmes conceptions sur l'évolution selon le pays dans lequel ils vivent mais que, au sein du même pays, ils ont le plus souvent (sauf rares exceptions) les mêmes conceptions sur l'Evolution, quelle que soit leur confession chrétienne.

Ces résultats apportent un nouvel éclairage sur les obstacles à l'enseignement de l'évolution dans de nombreux pays. Dans plusieurs contextes nationaux, science et religion sont enseignés dans les écoles publiques, et dans presque tous les pays, les enseignants sont encore non ou mal formés pour affronter les questions issues des différents discours tenus par la science et la religion, ni pour maîtriser la séparation entre le domaine scientifique et le domaine religieux. Seule une formation épistémologique des enseignants, et même des élèves, peut permettre les changements de conceptions indispensables à une transposition didactique réussie du concept d'évolution si central dans l'enseignement de la Biologie.

Remerciements

Le questionnaire utilisé ici a été élaboré collectivement dans le cadre du projet européen BIOHEAD-Citizen (Communauté Européenne, STREPS FP6, Priorité 7, n° 5060152004-2008).

Nous remercions les participants du projet qui ont collecté les données utilisées ici dans les 10 pays suivants, sous la responsabilité de : Nicos Valanides (Chypre), Kai Pata & Tago Sarapuu (Estonie), Anna-Liisa Rauma-Kosonen (Finlande), Pierre Clément et Daniel Favre (France), Atila Varga (Hongrie), Silvia Caravita (Italie), Iman Khalil (Liban), Graça Carvalho (Portugal), Adrienne Kozan-Naumescu (Roumanie) et Mame Seyni Thiaw (Sénégal).

De 2008 à 2011, des données complémentaires ont été rassemblées dans 6 autres pays, sous la responsabilité de Pierre Clément, par : Frances Quinn (Australie), Graziela Lopez & Paloma Silva (Brésil), Ivette Béré – Yoda (Burkina Faso), Lawrence Ntam Nchia (Cameroun), Pierre Clément (Danemark) et Jelena Stanisavljevic (Serbie). Un grand merci également à notre statisticienne, Charline Laurent, qui a analysé l'ensemble de ces données en lien avec Pierre Clément.

Bibliographie

Atlas des religions (2008, re-édité, avec révisions, en 2011). Coédition La Vie et Le Monde.

BIOHEAD-Citizen (2004-2008) – *Biology, Health and Environmental Education for better Citizenship*. Bruxelles : Communauté Européenne, STREPS FP6, Priorité 7, n° 506015

Bou Jaoude S., Asghar A., Wiles J., Jaber L., Sarieeddine D., Alters B. (2009) - Biology professors' and teachers' positions regarding biological evolution and evolution education in a middle eastern society. in M.F.Tasar & G.Cakmakci (eds), *Contemporary Science Education Research: International Perspectives* (pp. 195-206), Ankara, Turkey: Pegem Akademi

Clément P. (2008) – Le regain créationniste concerne aussi les enseignants. Une enquête internationale. In Coquidé M. & Tirard S., *L'évolution du vivant : un enseignement à risque ?* Paris : Vuibert, adapt-snes. (pp. 197-204)

Clément, P., & Carvalho, G. (2007). Biology, health and environmental education for better citizenship: Teachers' conceptions and textbook analysis in 19 countries. Sarajevo: *WCCEES XIII (World Council of Comparative Education Societies)*.

Clément, P., & Quessada, M. P. (2008). Les convictions créationnistes et/ou évolutionnistes d'enseignants de biologie: Une étude comparative dans 19 pays. *Natures Sciences Sociétés*, 16, 154-158.

Clément, P., & Quessada, M. P. (2009). Creationist beliefs in Europe. *Science*, 324, 1644.

Clément P., Quessada M.P., Munoz F., Laurent C., Valente A., Carvalho G.S., 2009 - Creationist conceptions of primary and secondary school teachers in nineteen countries. in M.F.Tasar & G.Cakmakci (eds), *Contemporary Science Education Research: International Perspectives* (pp. 447-452), Ankara, Turkey: Pegem Akademi.

Coquidé M. & Tirard S. (2008) – *L'évolution du vivant : un enseignement à risque ?* Paris : Vuibert, adapt-snes.

El-Hani C.N. & Sepulveda C. (2010) - The relationship between science and religion in the education of protestant biology preservice teachers in a Brazilian university. *Cult Stud of Sci Educ.*, 5:103-125.

Jones L.S. @ Reiss M.J. (eds) (2007) – *Teaching about scientific origins. Taking account of Creationism*. Bern: Peter Lang.

Miller J.D., Scott E., Okamoto S. (2006) – Public acceptance of Evolution. *Science*, 313, 5788 : 765-766.

Munoz F., Quessada M.P. & Clément P. (2007) - Des analyses statistiques multivariées pour traiter les données issues de questionnaires : Conceptions d'enseignants et futurs enseignants de douze pays sur l'Evolution. In J.M.Dusseau, *Actes des cinquièmes Rencontres de l'ARDIST*, p.297-304.

Portier P., Veuille M., Willaime J.-P. (2011) – *Théorie de l'évolution et religions*. Paris : Riveneuve éditions.

Quessada, M. P. (2008). L'enseignement des origines d'*Homo sapiens*, hier et aujourd'hui, en France et ailleurs: Programmes, manuels scolaires, conceptions des enseignants. (Doctoral dissertation). University Montpellier 2. Retrieved from <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00353971/fr/>

Quessada M.P. & Clément P. (2011) – The origin of humankind : a survey of school textbooks and teachers' conceptions in 14 countries. In press (13 pp.) in *Proceedings ERIDOB* (Carvalho & Yarden eds, sous presse).

Quessada, M. P., Munoz, F., & Clément, P. (2007). Conceptions sur l'évolution biologique d'enseignants du primaire et du secondaire de douze pays d'Afrique, d'Europe et du Moyen Orient. *Congrès international AREF*, Strasbourg.

Reiss, M. J.(2008) - Should science educators deal with the science/religion issue? *Studies in Science Education*, 44:2, 157-186.

L'analogie, un mode de pensée en tension entre raison et obstacle à propos de fossiles d'ammonites

Patricia Crépin-Obert, Univ. de Nantes, CREN, EA 2661 ; Univ. de Franche-Comté, IUFM ; patricia.crepin@univ-fcomte.fr

Mots clés : analogie, débat scolaire, histoire de la paléontologie, obstacle, problème

Résumé : Dans cette recherche, les problèmes de l'identification d'un fossile et de sa mise en histoire sur Terre sont débattus dans une classe de CM2 de l'école primaire. La construction du concept de fossile, à travers l'étude des idées et des explications d'élèves sur les ammonites, en rapport avec la biodiversité actuelle est comparée avec celle construite dans les communautés scientifiques en histoire des sciences. L'analyse d'une discussion en classe de sciences permet de repérer les processus d'argumentation des élèves de 10 ans et leurs désaccords. Cette analyse didactique est rapprochée du développement historique des idées. Le passage d'une pensée commune à une pensée scientifique est cerné par un repère épistémologique, l'obstacle transversal d'analogisme, proposé lors du travail de thèse, en conflit avec la méthode analogique.

1. Introduction

Le choix de prendre comme fil directeur de cette communication un objet d'étude particulier, telles les ammonites, se justifie par plusieurs points. Premièrement, dans les trois situations d'apprentissage étudiées dans nos travaux de thèse (Crépin-Obert, 2010), les raisonnements des élèves du primaire comme du secondaire les ont fortement mobilisées. Ces fossiles caractéristiques de l'ère secondaire, sont familiers des élèves de Franche-Comté. Même s'ils sont moins médiatisés que les grands reptiles de l'ère secondaire, ce sont des objets de collections qui suscitent toujours l'intérêt du grand public, de par leur taille parfois importante, et la beauté de leur cristallisation interne. Deuxièmement, en histoire des sciences elles sont restées un problème pour de nombreux naturalistes jusqu'au XIX^e siècle, avec toute la variété d'idées qui ont pu être développées à leur sujet, avant d'être appréciées comme fossiles de faciès et stratigraphiques, précieux aujourd'hui pour la datation relative des événements géologiques de notre planète. Troisièmement, dans les classes de l'école primaire²⁴ et de collège²⁵, des situations alternatives d'apprentissage sont effectuées à leur propos : soit certains enseignants conduisent les élèves vers un questionnement productif d'investigations, soit d'autres préfèrent transmettre les connaissances actuelles sur ces fossiles. Les ammonites nous semblent donc être un matériel de choix d'une discussion

²⁴ Les nouveaux programmes de l'école primaire (BO Hors série n°3 du 19 juin 2008) prescrivent en Cycle 3 la « Présentation de la classification du vivant : interprétation de ressemblances et différences en termes de parenté », ce qui peut permettre l'étude des êtres vivants actuels et fossiles.

²⁵ Les nouveaux programmes du collège de 2008 prescrivent l'étude de fossiles en classe de 5^{ème}, afin de comprendre la méthode de reconstitution de paysages anciens, d'approcher le concept d'évolution et d'enrichir la classification par les espèces fossiles rencontrées ; et en classe de 3^{ème} doivent être étudiées, la disparition et l'apparition d'espèces, la succession des formes vivantes au cours des temps géologiques en les replaçant dans le cadre théorique de l'évolution.

épistémologique en comparant les apprentissages des élèves et les modèles préscolaires des savants dans le cadre de la problématisation. En prolongement de la recherche, cette étude scolaire et historique peut avoir une visée professionnelle en confrontant les étudiants des masters enseignement des sciences de la vie et de la Terre à leurs pratiques de classe menées autour des archives géologiques.

2. Cadre théorique et problématique

Dans notre recherche initiale, le cadre théorique majeure est épistémologique en visant des ponts entre didactique et histoire des sciences. La construction de problèmes ou problématisation, développée dans le laboratoire en sciences de l'éducation du CREN nous sert de référence. Nous retenons ici plus particulièrement deux résultats centrés à la fois sur l'approche scolaire et l'éclairage historique : problématiser dans l'enseignement des sciences en regard de la problématique du volcanisme chez Buffon en se distanciant de la résolution de problèmes (Fabre, 1999, p. 177-195), et problématiser dans l'enseignement des sciences en regard de la problématique du milieu intérieur chez Claude Bernard en construisant un savoir nécessaire (Orange, 2003). Nous nous sommes questionnée sur la construction de problèmes scolaires et historiques, à propos de l'identité des faunes fossiles par corrélation aux faunes actuelles (Crépin-Obert, 2010). Ce problème entre en interaction avec un obstacle que nous avons nommé « analogisme » mis en opposition avec un principe de raisonnement, l'analogie. Une première étude de cas comparative a été analysée entre une situation-débat en 4^{ème} de collège (élèves de 14 ans) et une controverse à l'Académie des sciences de Paris en 1838 (Crépin-Obert, 2011). Les résultats de cette étude montrent que le raisonnement par analogie avec la faune actuelle guide le degré de rapprochement possible ou nécessaire d'une espèce fossile avec une espèce actuelle dans la classe comme dans la communauté scientifique. Quelques références disparates aux données biologiques et écologiques dominent dans l'argumentation des élèves, détachée de l'espace-temps nécessaire aux déductions géologiques. Alors qu'une vision synthétique est recherchée par les savants du XIX^e siècle : la biologie du développement, science fonctionnaliste, sert de référent pour penser la paléontologie évolutive, science historique appuyée sur la succession des faunes dans les couches terrestres. Mais une pensée créationnisme peut lui conférer un certain déterminisme et fixisme, faisant basculer alors ce raisonnement dans l'analogisme. L'heuristique de la méthode analogique et la discussion de ses limites nous semblent intéressantes à poursuivre à travers une seconde étude de cas scolaire menée en CM2 (élèves de 10 ans), centrée sur le problème de la détermination de fossiles d'ammonites. L'histoire des sciences nous servant de référence pour une confrontation de la diversité des idées conçues par les élèves et par les naturalistes des siècles précédents, le raisonnement par analogie, dans le cas de la paléontologie, sera-t-il appréhendé aussi « comme une richesse à explorer » ou « comme un handicap à éliminer » ? (Durand-Richard, 2008, p. 5). En conséquence, l'analogie vs l'analogisme peut-elle être un repère épistémologique pertinent à mettre en avant pour la formation des enseignants ? Notre méthodologie ayant été effectuée séparément pour l'étude de cas scolaire et la prospection historique, nous allons présenter les résultats séparés dans un premier temps pour ensuite les comparer.

3. Une situation-débat en classe de CM2 de l'école primaire

3.1. Méthodologie d'une étude de cas

Un débat scolaire filmé et sa transcription - une séance de 36 minutes intégrée dans une séquence pédagogique - constitue notre corpus principal retenu ici, relatant les difficultés rencontrées par des élèves de CM2, pour identifier des fossiles d'ammonites. Globalement les élèves de cette classe sont habitués à l'écoute et au partage des points de vue et ils ont acquis, antérieurement au débat étudié, des notions sur l'origine organique des fossiles animaux et végétaux ainsi que sur le processus de fossilisation avant d'aborder le débat retenu pour cette recherche. A l'origine de la situation-débat, le problème réside dans l'identification des fossiles récoltés dans une marnière proche de l'école. Elle abonde en différentes espèces d'ammonites, présentant une grande variété de morphologie et d'ornementation, associées à une faune d'autres coquilles fossiles. Au retour de la sortie une activité d'observation des fossiles a été menée accompagnée d'une activité de conception de leurs analogues vivants. Les élèves devaient choisir chacun un des fossiles récoltés et répondre à la consigne suivante « J'observe, je dessine un fossile et je dis comment cet animal vivait avant ». L'objectif visé était de les confronter aux difficultés de reconstitution d'un ancien vivant dont les restes sont partiels, d'autant plus si c'est un animal disparu. La plupart des élèves ont choisi une ammonite (12/18). La diversité de propositions concernant les fossiles d'ammonites et leurs analogues vivants imaginés par les élèves était favorable à générer une discussion raisonnée des problèmes d'identification et de reconstitution paléontologique.

3.2. Résultats : analyse des raisons en jeu dans le débat des élèves dans le cadre de la problématisation

Le débat collectif va cerner le problème du passage conceptuel des objets fossiles à leurs analogues vivants à partir des fossiles d'ammonites exposés sur une table centrale et associés aux dessins des conceptions des élèves. Dans une première phase du débat, la méthode analogique exploitée par les élèves se décline en trois problèmes : la recherche de critères pertinents de ressemblance parmi la diversité des fossiles récoltés et des êtres vivants qu'ils connaissent, la découverte d'un morcellement des fossiles conservés et la recherche éclectique d'une parenté des ammonites avec un être vivant actuel. Les élèves débattent de la variabilité au sein d'une espèce : la convergence par la forme spiralée ou la divergence par les ornements, la taille et la couleur pouvant dépendre de l'âge ou encore du milieu de vie. Puis les élèves établissent des comparaisons ou des filiations entre un fossile d'ammonite et de nombreux animaux possibles - escargot terrestre, crevette, tortue, calmar, coquillage, limace avec coquille, queues de lézard ou de caméléon ou encore d'hippocampe -. Les hypothèses associant les fossiles d'ammonites à une crevette ou une tortue ont rencontré de nombreuses objections qui tendent à conforter plutôt la nécessité de coquilles morcelées d'ammonites. La question de parenté du fossile avec une tortue ou avec une crevette est devenue alors un faux problème. Globalement, les élèves ont pris de la distance avec une analogie de première approche – carapace ou queue enroulée d'animaux- et ils ont réalisé les nécessités d'une fossilisation partielle et d'une corrélation entre plusieurs échantillons.

Restait alors le problème principal de parenté centré sur l'analogie entre l'escargot terrestre et l'ammonite qu'un élève formule ainsi : « Est-ce que l'ammonite est l'ancêtre de l'escargot ? ». Cette controverse mobilise plus de la moitié de la classe qui envisage trois solutions : la thèse préférentielle d'apparenter le fossile à un escargot terrestre, l'antithèse de les différencier complètement en l'affiliant à un calamar et une thèse mixte. La négociation entre élèves porte tout d'abord sur la morphologie comparée des ammonites ou « escargots de mer » et des escargots terrestres – une convergence par la forme enroulée, la taille variable,

les couleurs, la fragilité ou une divergence par la coquille plane et l'ombilic- et ensuite sur le degré de ressemblance ou de différence que les élèves veulent accorder à un ancêtre par rapport à l'être vivant actuel. La situation de débat permet de faire émerger des raisons qui apparaîtront comme nécessaires, impossibles ou comme possibles dans la recherche d'une solution par l'ensemble des élèves. La gradation d'une analogie qu'ils ont construite entre une ammonite et un escargot terrestre est représentée dans le tableau suivant.

Argumentations formulées par les élèves	Nature de l'argument	Modes de pensée
Morgane : Mais moi ça, ce truc-là, ça aurait pu être une coquille d'escargot parce que heu une coquille d'escargot, c'est vachement fragile et là par là on a l'impression que ça tout était fendu heu, tout était écrasé	Possibilité d'être ressemblant ou d'avoir un ancêtre ressemblant	Pensée fixiste
Louis : P'tre que c'était pas pareil [...] C'est p'tre pas des escargots ? !	Possibilité de ne pas être un escargot	Pensée non fixiste
Morgane : Oui mais c'est l'ancêtre ! Camille : Donc c'est pas exactement pareil Mathias : Mais maîtresse ! Quand Timothée, là il a marqué « sorte d'escargot ». Mais moi je vois pas du tout le rapport entre cet escargot là et ça [une ammonite]! Morgane : Et ben justement « une sorte », ça veut dire que c'est pas exactement !	Nécessité d'un ancêtre pas exactement semblable Impossibilité d'être un escargot	
Jean : [l'ammonite est] Complètement éteint ! Ben on le mettrait entre l'ancêtre de l'escargot et du calamar. [...] Peut-être que... c'est peut-être qu'avant y'avait de l'eau ici, peut-être que l'escargot descend de l'ammonite, et alors comme on trouve beaucoup d'escargot ici, peut-être que heu ça, ça s'est métamorphosé en escargot pour résister à l'oxygène, pour s'adapter Morgane : Et en plus l'escargot il aime la pluie	Possibilité de forme intermédiaire entre l'ancêtre de l'escargot et du calamar	Pensée de métamorphose
Camille : Quand j'ai vu çui-ci [une ammonite], ça m'a fait penser à une queue de lézard [...] Oui tu vois à une queue enroulée E : Le caméléon il en a une par contre	Nécessité d'avoir un ancêtre différent	Pensée transformiste
Morgane : pour moi ça veut un peu rien dire les ancêtres et tout ça. Parce que Il peut y avoir des trucs très très différents. Parce que par exemple l'ancêtre du dauphin, il ressemblait pas du tout, il avait des pattes et tout E (Mélissa) : Si il lui ressemble ! Oui mais eux c'est des mammifères	Possibilité d'un ancêtre très différent de l'animal actuel.	

Cette émergence de nécessités en gestation, cette prudence des possibles explicites, cette apparition d'impossibilités nous offrent une cartographie des raisons abordables à ce niveau de classe du primaire. Les élèves naviguent en permanence entre les registres liés à l'anatomie, au biotope ou à la parenté en acceptant d'emblée deux contraintes théoriques, l'ancienneté des fossiles d'ammonites confortée par leur disparition et une planète ancienne couverte d'océans. Au final, c'est Julie qui démontre le critère principal d'un enroulement différent par un plan de symétrie de la coquille des ammonites. Au vu de cette différence empirique, nécessairement, l'ammonite n'est pas un escargot ! La problématique des élèves est déplacée alors vers la recherche d'une possible parenté. Car si le rapprochement morphologique est invalidé, la controverse demeure sur le degré de variabilité acceptable entre un fossile considéré comme « ancêtre » et un animal actuel de forme convergente. Les désaccords argumentés des élèves naviguent entre des contraintes de fermeture du problème qui tendent à valider la solution d'une similitude nécessaire entre ammonite et escargot et des possibilités d'ouverture du problème qui tendent à investir d'autres hypothèses. Les différences de milieux de vie marine ou terrestre, de taille, de stades de vie, ainsi que la référence à d'autres cycles de vie à développement indirect des amphibiens et des insectes induisent l'idée d'une transformation possible sur un temps long nécessaire. Les élèves émettent des solutions explicatives diversifiées comme le changement de milieu associé à une protection commune qu'est la coquille, une métamorphose, un écrasement, un vieillissement. La corrélation des nécessités peut révéler un certain ordre d'inférence : nécessité d'une ancienne mer dans laquelle vivaient les ammonites et de son retrait, nécessité d'une métamorphose de l'ammonite en l'escargot, et nécessité d'un temps long permettant d'acquiescer des différences importantes entre un animal actuel et son ascendant fossile -

contrairement aux métamorphoses des amphibiens et des papillons qu'ils prennent en référence. Mais ces dernières nécessités reposent sur la condition théorique, laissée en suspens, d'admettre une filiation entre une ammonite et un escargot terrestre qui au final ne devra pas être validée.

4. En miroir des idées des élèves, les apports de l'histoire des sciences

Par complémentarité aux biographies des vertébrés en histoire de la paléontologie (dinosaures, mammouths, hominidés²⁶), une biographie ciblée sur les coquilles fossiles d'ammonites nous semble pertinente à ébaucher. Ainsi dans notre méthodologie de prospection historique, l'objet fossile nous sert de repère stable pour enregistrer l'ensemble des théories qui lui ont été appliquées, ce qui nous permettra une comparaison avec la diversité des idées des élèves. Nous voudrions rappeler quelques interprétations qui ont eu cours les siècles précédents à propos des ammonites.

4.1. Une analogie légendaire liée à l'expérience première à propos des ammonites

Dans l'Antiquité, les ammonites avaient la vertu d'expliquer les songes mystérieux et étaient appelées « pierres de serpents » ou « cornes d'Ammon », selon une analogie de première approche avec un serpent lové ou des cornes enroulées de tête de bélier. Étymologiquement, leur dénomination actuelle garde toujours cette référence mythologique d'une ressemblance entre la coquille spiralée des ammonites et les cornes de bélier affiliées au dieu égyptien Amon-Râ. D'autres hypothèses ont été formulées telles des queues d'animaux terrestres, des squelettes de serpent ou de vers marins (Jussieu, 1722). Ces premières appellations traduisent un questionnement sur la nature organique et l'origine des pierres figurées qui étaient considérées comme des jeux de la Nature, fruits d'une création divine. C'est toujours sous le nom de Corne d'Ammon que nous pouvons en trouver une définition dans plusieurs dictionnaires naturalistes du XVIII^e siècle. Soit ils restent sur une description de première analogie soit ils font le rapprochement avec la coquille du genre du Nautilé actuel, ce qui lui attribue une nature organique :

« La corne d'Ammon est [...] en quelque sorte la figure de la corne de Jupiter-Ammon, ou celle d'un bélier, ou mieux d'un serpent entortillé sur lui-même. [...]. On ne doute plus aujourd'hui que cette pierre figurée ne soit la pétrification d'une coquille de mer univalve, vraisemblablement de la famille des nautilus [...]. La classe des cornes d'ammon pétrifiées est extrêmement nombreuse dans tous les pays : cependant ce n'est que depuis peu qu'on a découvert son analogue marin : & qu'on cesse de douter que ce soit réellement une pétrification d'un corps marin » (Bertrand, 1763, p. 154-155).

Malgré tout, ces idées ont l'intérêt de rechercher une analogie avec le monde vivant contrairement à l'hypothèse, émise par Lhwyd en 1713, des semences voyageuses d'ammonites apportées par des pluies lointaines et infiltrées dans les roches permettant la croissance *in situ* d'individus de taille variable (Ellenberger, 1994, p. 106). La réfutation d'une nature minérale et d'une origine *in situ* dans la terre prouvée par la découverte de Nautilus dans la mer des Indes, leur ressemblance morphologique avec les ammonites et la

²⁶ Buffétau É. (1991). *Des fossiles et des hommes*. Paris : R. Laffont ; Cohen C. (2004). *Le destin du mammouth*. Paris : Éditions du Seuil ; Picq P. (2005). *Les origines de l'homme. L'odyssée de l'espèce*. Tours : Éditions Tallandier.

déduction d'une vie au fond des mers (Jussieu, 1722) conduit à faire évoluer la problématique.

4.2. Une analogie raisonnée : espèces analogues vs espèces disparues

Dans la mesure où la nature organique des ammonites fossiles est admise, se pose le problème majeur de ces fossiles sans représentants vivants actuels. Palissy émet l'idée que ce sont des « espèces de poissons [...] dont la semence est perdue, pour les avoir trop poursuivis » (1580, p. 84). A partir du XVII^e siècle, divers partisans vont défendre l'opposition entre les faunes pélagiques et les faunes littorales, et J-J Scheuchzer considère les « Cornes d'Ammon comme d'anciens Animaux pélagiens » et d'authentiques reliques du Déluge, nécessaire à leur remontée à la surface de la Terre (Ellenberger, 1994, p. 52 et 125).

Le siècle des Lumières voit se développer différents modèles de formation de la Terre se distanciant du registre créationniste : à l'encontre d'un temps biblique, un temps long estimé expérimentalement (Buffon, 1778), et à l'encontre d'une pérennité des paysages actuels, un déplacement d'anciennes mers à l'origine des plaines et des montagnes (Réaumur, 1722). Ce modèle repose sur les strates fossilifères et leurs coquilles de fossiles analogues aux coquilles marines actuelles. La nécessité de leur nature organique puis celle de leur origine aquatique étaient construites. Restait à expliquer le déplacement des mers à l'origine des chaînes de montagnes. Or, n'ayant pas d'analogues vivants connus, les ammonites, présentes dans les strates parfois perchées au sommet des montagnes, dérangent ce système explicatif naissant. Plusieurs savants, sans ignorer ce problème, développent alors diverses théories.

D'un côté l'académicien J.-É. Guettard, contemporain de Buffon, réinvestit leur genèse *in situ* dans la terre, tant que de nouvelles prospections des fonds marins ou des mers inconnues ne découvrent pas leur analogue vivant. Voltaire réinvestit même la notion de pierres figurées ou de jeux de la nature (Crépin-Obert, 2010). Historiquement c'est à Bruguière, invertébriste, que nous devons le concept d'espèces analogues (Laurent, 2002). Il défend la fixité des espèces fondée sur les analogies entre les productions marines actuelles et certains fossiles pétrifiés des couches pélagiennes (entroques, astérites). En parallèle il doute des espèces perdues telles les Ammonites, dont il créa le nom. Et il envisage leur découverte ultérieure dans les mers abyssales car les ammonites appartiennent aux bancs pélagiens et non littoraux. Donc quand il s'agit des coquilles fossiles inconnues par rapport aux coquilles actuelles, comme celles des ammonites, certains savants peuvent retomber dans les modèles explicatifs rétrogrades tout en acceptant l'origine organique des coquilles fossiles connues. Mais surtout ces savants confortent la résistance d'une pensée fixiste par la pérennité et l'immutabilité des espèces et sa corrélation à une pensée créationniste.

D'un autre côté, l'analogie entre êtres vivants actuels et fossiles, concept fondateur du raisonnement en paléontologie, a été mis réellement en pratique par Lamarck lors de son chantier de réorganisation des invertébrés actuels et fossiles en 1801. Il construit sa démonstration transformiste grâce au concept d'espèces analogues appuyé sur les coquilles fossiles. Il accepte une variabilité possible d'une espèce au cours du temps, qui lui permet de relier les espèces fossiles et les espèces vivantes actuelles dans une même histoire. Cette méthode lui permet de mesurer le degré de ressemblance ou de différence entre toutes les espèces. Collègue et ami de Bruguière, il penche aussi pour la découverte ultérieure d'un analogue vivant des bélemnites et des ammonites

« Les coquilles fossiles connues sont presque toutes des coquilles marines, c'est-à-dire, des coquilles dont les animaux ont vécu nécessairement dans la mer. Cette assertion est fondée sur l'analogie incontestable du très grand nombre de coquilles fossiles observées, avec les coquillages marins maintenant connus. [...] A la vérité, comme on n'a pas de preuve que tous les fossiles que je viens de nommer, appartiennent à des animaux qui vivent habituellement dans les grandes profondeurs des mers, quelques naturalistes se

plaisent à repousser l'idée de l'existence des coquilles pélagiennes, et selon eux les animaux des bélemnites, des ammonites, des orthocératites, etc. n'existent plus dans la Nature. On sent bien que tous les êtres vivans qui habitent dans les grandes profondeurs des mers, doivent être difficilement connus de l'homme, qui n'est pas à portée de pouvoir les observer ; mais en nier l'existence par ce motif, c'est ce que je ne crois pas raisonnable. (Lamarck, 1802, p. 63 et 71).

Ce à quoi Cuvier répond «voyons-nous des savans s'opiniâtrer à donner le nom de coquilles pélagiennes, c'est-à-dire des coquilles de haute mer, aux bélemnites, aux cornes d'ammon, et aux autres dépouilles testacées qui n'ont encore été vues que dans les couches anciennes » (1812, p. 39). Il préfère défendre le concept d'espèce disparue démontré grâce à ses travaux renommés sur les vertébrés fossiles. C'était devoir renoncer à l'espoir de nouvelles découvertes d'espèces vivantes analogues, et dérouter l'hypothèse créationniste par la nécessité des créations multiples. Pour que les ammonites puissent être intégrées au modèle explicatif terrestre en construction, il fallait soit envisager une filiation entre espèces soit accepter une disparition des espèces. Lamarck comme Cuvier contribuèrent à libérer la raison scientifique d'un consensus théologique qui interdisait toute transformation et toute perte des espèces. En effet, si elles furent aussi difficiles à être admises par les communautés scientifiques, c'est que ces idées allaient à l'encontre d'une création unique, dogme contre lequel doit lutter de tout temps la pensée scientifique.

5. Discussion du couple analogie/ analogisme

5.1. Étude comparative scolaire et historique

En classe, globalement le concept d'analogie reste flou. Soit il accorde à l'ammonite une ressemblance avec l'escargot par une expérience première sensible. Soit il lui donne un statut d'ancêtre empirique ou d'intermédiaire par une pensée généalogique facilitée. En définitive le pari d'une ascendance directe entre l'ammonite et l'escargot qu'avaient fait les élèves, devra être transformé en l'hypothèse d'une ascendance commune de ces deux êtres vivants mollusques. Néanmoins la problématique d'identification et de reconstitution de fossiles d'ammonites, céphalopodes disparus à coquille planispiralée, a pu déboucher sur plusieurs problèmes. La morphologie et l'anatomie comparée sont mobilisées dans le cadre de la classification actuelle avec des êtres vivants actuels familiers des élèves –tortues, crustacé, mollusques gastéropode et céphalopode, poissons osseux, lézards- ainsi que les incontournables dinosaures ! Les élèves ont abordé la différence entre un ancêtre généalogique et un parent proche ainsi que le problème d'extinction d'animaux disparus sans référent actuel équivalent.

Notons que la construction des problèmes est différente, voire inversée, de celles des naturalistes. En effet pour ceux-ci, la présence de mers anciennes, si difficile à être acceptée, est déduite des fossiles tels ceux d'ammonites ou des dents de requins ; et les fossiles n'ayant pas d'analogues vivants actuels, tels ceux d'ammonites ou d'autres coquilles, ont mis du temps à être conçus comme animaux disparus sur Terre par les communautés scientifiques (Delord, 2010). Alors que pour les élèves, la présence d'une ancienne mer est une contrainte théorique non questionnée, de même que l'extinction des ammonites est acceptée sans discussion. De plus la problématique centrale de la classe que nous reformulerions ainsi « l'escargot et l'ammonite possédant tous deux une coquille enroulée, l'escargot peut-il être considéré comme le descendant d'un fossile d'ammonite ? » est lié au registre empirique limité des élèves de diversité des vivants. Les naturalistes du XVIII^e siècle l'ont déjà rapproché anatomiquement du Nautile tout en raisonnant dans un cadre fixiste résistant. Enfin

les élèves ne raisonnent pas du tout par rapport à la superposition des strates fossilifères, or c'est pourtant bien cette stratigraphie paléontologique, porteuse d'histoire relative, qui est en plein essor au début du XIX^e siècle. Le problème des élèves reste isolé sur une comparaison morphologique entre un fossile et un vivant qu'il lie par métamorphose, ancré sur le présent. Une architecture complexe de problèmes connexes est construite par la communauté savante corrélant la stratigraphie, la paléontologie, la classification des êtres vivants et l'embryologie. Actuellement, ces fossiles d'ammonites sont reconnus comme étant des céphalopodes marins disparus, univalves et ayant comme parents éloignés les nautilus actuels - la position ventrale ou centrale du siphon de la coquille enroulée les différencie.

5.2. Un réseau d'obstacles liés à l'analogie et sa transversalité

Le premier point de convergence dans tous les raisonnements élaborés est constitué par le poids important de l'actuel dans les tentatives de reconstruction d'une histoire paléontologique. En cycle 3 la référence principale pour identifier une coquille fossile disparue et marine est une coquille actuelle terrestre appartenant au quotidien des élèves. Acceptant l'ancienneté relative du fossile et l'ancienneté de la mer dans la région de Franche-Comté, ils imaginent une filiation directe entre l'ammonite et l'escargot actuel. La contiguïté dans l'espace actuel des deux vivants récoltés et l'analogie d'une coquille enroulée suffisent aux élèves pour construire une parenté généalogique. Deux obstacles épistémologiques facilitent cette construction, l'expérience première sensible de Bachelard et la métamorphose en tout sens de Canguilhem. Mais la transformation individuelle induit plus l'idée d'un remplacement que d'une spéciation. En histoire des sciences outre les archives paléontologiques multipliées, en zoologie les données actuelles anatomiques et embryologiques –observations et expériences- ont aussi généré cette possibilité d'évolution des espèces au cours des temps géologiques. Là encore les séries fixistes ou transformistes de vertébrés qui en découlent apportent plus l'idée d'un remplacement des chaînons successifs que d'une diversification des espèces. L'ensemble de ces travaux invite à questionner la référence prégnante à l'actuel comme condition d'accès raisonné aux savoirs paléontologiques. Le bon usage de l'actuel déterminant les contraintes retenues des scientifiques ne correspond pas à son usage surestimé par les élèves ou certaines communautés scientifiques dans leur raisonnement explicatif d'une reconstruction paléontologique. Puisque l'analogie à l'actuel finit par être contournée et que les solutions validées scientifiquement tendent souvent à s'en éloigner, ce degré de résistance à l'actuel apparaît plutôt comme une difficulté.

En conclusion l'analogie à l'actuel fonctionne comme un principe de raison incontournable mais en figeant la pensée il peut fonctionner aussi comme un obstacle épistémologique, que nous avons proposé d'appeler l'«analogisme» (Crépin-Obert, 2010). Ce qui rejoint une discussion engagée dès le XVIII^e siècle par l'article « Analogie » de l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert qui envisageait l'intérêt et la limite du raisonnement : « Les préjugés dont on est imbu dans l'enfance nous donnent souvent lieu de faire de forts mauvais raisonnement par analogie. Les raisonnements par analogie peuvent servir à expliquer et à éclaircir certaines choses mais non pas à les démontrer » (1751). En illustration, le point de vue contraire de deux botanistes est intéressant : en 1767 Fontana rejette l'analogie comme source d'erreur et de stagnation et en 1804 De Candolle valorise l'analogie comme méthode scientifique en développant les « lois de l'analogie » (Denis, 2008). La mobilisation fréquente du raisonnement par analogie en sciences ne peut être occultée (Durand-Richard, 2008). Et si l'analogie est même omniprésente, de fait l'obstacle associé est transversal. Au-delà du cas étudié spécifique des ammonites, nous pouvons rappeler l'analogie recherchée au XVII^e siècle entre les fossiles et le monde technologique, au XVIII^e siècle entre les fossiles et le monde végétal (Crépin-Obert, 2010), et plus généralement entre les végétaux et les métaux et entre

les animaux et les végétaux (Diderot & d'Alembert, 1751), analogie qui consiste en une ressemblance approximative « Il y a de l'analogie entre les êtres qui ont entre eux certains rapports de ressemblance ». Au XIX^e siècle Richard Owen, paléontologue anglais, a pris l'initiative de différencier l'analogie - structure convergente par fonction - de l'homologie - structure convergente par parenté et rapprochant les espèces par filiation.

6. Conclusion

Le principe d'analogie au présent fait partie des raisonnements obligés construits en sciences historiques. Les raisonnements scientifiques fondés sur la référence à l'actuel peuvent être à la fois un principe de raison et un obstacle en science historique, par leur intérêt heuristique et par leurs limites. L'analogie à l'actuel devrait être considérée avec prudence comme un simple repère explicatif et non comme un cadre exclusif de référence. L'histoire des sciences permet d'explorer d'une façon approfondie la logique des erreurs passées liée à l'analogisme et elle éclaire la compréhension et une meilleure prise en compte des erreurs actuelles des élèves. A la place d'erreur et de vérité en sciences, nous préférierions expliciter des possibles et des nécessités dans un système explicatif mis en contexte. Tandis que la méthode analogique explorée en histoire des sciences peut être conçue comme « un exercice renouvelé de la liberté de penser » (Lecourt, 1991, p. 16) inhérente à la nature de la science. Ces différents repères épistémologiques seraient des enjeux importants pour la formation des enseignants et des étudiants dans les nouvelles filières de master enseignement en changeant leur rapport à l'erreur.

Bibliographie

Sources historiques

Bertrand, É. (1763). Dictionnaire universel des fossiles propres et des fossiles accidentels. La Haye : Pierre Gosse junior et Daniel Pinet.

Buffon, G.-L. Leclerc, Comte de. (1778-1779/ 1998). Des époques de la nature - Introduction et notes de Gabriel Gohau. Paris : Diderot multimédia.

Diderot & d'Alembert (1751). Analogie. Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une société de gens de lettres. Paris : Briasson.

Cuvier, G. (1812). Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes. Paris : Deterville. (consultable sur www.lamarck.cnrs.fr).

Lamarck, J.- B. de Monet de. (1802). Hydrogéologie. Paris : Agasse et Maillard. (consultable sur www.lamarck.net).

Jussieu, A. de. (1722/1724). De l'origine et de la formation d'une sorte de pierre figurée que l'on nomme Corne d'Ammon. Mémoires de l'Académie Royale des sciences de Paris, 235-243.

Palissy, B. (1580). Discours admirables de la nature des eaux & fontaines [...]. Paris : Martin le Jeune.

Réaumur, R.-A. Ferchault de. (1720/1722). Sur les Coquilles Fossiles de quelques cantons de la Touraine, & sur les utilités qu'on en tire. Mémoire de l'Académie Royale des Sciences de Paris, 400-416.

Références contemporaines

Crépin-Obert P. (2010). Construction de problèmes et obstacles épistémologiques à propos du concept de fossile : étude épistémologique comparative entre des situations de débat à l'école primaire et au collège et des controverses historiques du XVII^e au XIX^e siècle. Thèse de doctorat, université de Nantes.

Crépin-Obert, P. (2011). Raison ou obstacle en histoire de la paléontologie et en classe de collège : analogie ou analogisme ? Recherches en didactiques des sciences et des technologies, n°3 Recherches en didactique des sciences et histoire des sciences, 21-54.

Delord, J. (2010). L'extinction d'espèce, histoire d'un concept & enjeux éthiques. Paris : Publications scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle

Durand-Richard, M.-J. (2008). L'analogie dans la démarche scientifique. Perspective historique. Paris : L'Harmattan.

Denis, G. (2008). L'analogie dans les sciences du végétal : à propos des positions de F. Fontana et d'A.-P. de Candolle sur les maladies des plantes. In Durand-Richard, M.-J. (dir.) L'analogie dans la démarche scientifique. Perspective historique. Paris : L'Harmattan, 237-281.

Ellenberger, F. (1994). Histoire de la géologie. Tome 2. Paris : Technique & Documentation-Lavoisier.

Fabre, M. (1999). Situations-problèmes et savoir scolaire. Paris : Presses universitaires de France.

Laurent, G. (2002). Jean-Guillaume Bruguière (1750-1798), et les débuts de la paléontologie des invertébrés. Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie (Cofrhigéo), 3^{ème} série, t.XVI, N°2, 37-46.

Lecourt, D. (1991). A quoi sert l'histoire des sciences ? Revue du palais de la découverte. Vol. 19, n° 190, p. 10-16.

Orange, C. (2003). Un exemple de problématisation en biologie : Claude Bernard et le milieu intérieur. Actes des troisièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST, p. 231-237.

Reconstruire des connaissances professionnelles d'enseignants à partir de l'action en classe, une étude de cas en physique.

David Cross, Univ. Pierre Mendès France - Grenoble 2, Laboratoire des sciences de l'éducation ; davidcross@orange.fr

Mots clés : Action conjointe, Connaissances professionnelles, PCK

Résumé : Les connaissances professionnelles des enseignants occupent une place centrale dans les recherches en éducation, notamment les connaissances pratiques, c'est-à-dire les connaissances mises en œuvre dans la pratique enseignante. La méthode employée pour étudier ces connaissances représente un défi. Nous proposons de reconstruire ces connaissances à partir de l'analyse de l'action de deux enseignants de physique en classe de seconde, lors d'un enseignement sur la partie « univers », en utilisant la théorie de l'action conjointe en didactique. Les connaissances ainsi reconstruites sont catégorisées en utilisant le cadre des Pedagogical Content Knowledge (PCK). Nos résultats montrent d'une part l'importance des connaissances sur les élèves dans la pratique de l'enseignant et d'autre part que ces connaissances sont développées par le travail collaboratif.

1. Introduction

La question des savoirs à inclure dans la formation, initiale ou continue, des enseignants est centrale (Cochran-Smith, 2004). La réponse à cette question repose sur des hypothèses relatives à la façon dont les enseignants apprennent à enseigner. Wideen et al. (1998) ont identifié plusieurs courants en ce qui concerne la recherche sur les connaissances des enseignants dont les deux principales semblent être en contradiction. Dans la première, appelée « positiviste » l'enseignant intègre puis applique dans sa classe des savoirs qui viennent de la recherche en éducation. Dans la seconde tradition, appelée « progressive », la recherche se focalise sur ce que les enseignants savent effectivement et sur la façon dont ils ont acquis ces connaissances. Ces deux courants de recherche reflètent deux points de vue sur les connaissances pertinentes pour enseigner : des savoirs issus des théories et modèles de la recherche dans le courant positiviste, versus des connaissances pratiques issues de l'observation d'enseignants expérimentés. Si ces deux courants semblent s'opposer, ils ne sont pour autant pas contradictoires, voire même complémentaires. Posséder des connaissances « théoriques » permet à un enseignant de situer sa pratique et de s'approprier celles-ci en fonction de son expérience quotidienne d'enseignant. Ces connaissances deviennent pratiques dans le sens où elles sont mises en œuvre dans sa pratique. Ainsi, comme le souligne Schon (1983), enseigner implique des décisions bien plus complexes que le simple fait d'appliquer la théorie à la pratique. Il s'agit plus de transformer des connaissances « théoriques » en connaissances pratiques. En d'autres mots, de passer de connaissances *sur* l'action à des connaissances *dans* l'action.

Étudier des connaissances pratiques comporte un défi méthodologique. En effet les enseignants sont peu conscients de leurs propres connaissances (Kagan, 1992) et manquent souvent de mots et de concepts pour y faire référence (Carter, 1993). Les questionnaires et les

entretiens sont ainsi une source d'information limitée aux connaissances que les enseignants ont conscience d'avoir et qu'ils peuvent exprimer. McMeniman et al. (2000) proposent de confronter l'enseignant à sa pratique à travers des enregistrements vidéo. Cette technique permet à l'enseignant d'explicitier des connaissances implicites, néanmoins le problème du manque de mots et de concepts pour parler de ses connaissances reste entier. Nous proposons, afin de contourner ces limitations, de reconstruire les connaissances de l'enseignant à partir d'une analyse de son action dans la classe. Les connaissances ainsi reconstruites ne sont plus issue d'une réflexion d'un enseignant sur sa propre pratique, mais d'une inférence par un chercheur à partir d'une analyse de l'action de l'enseignant. La question qui se pose est donc est celle de la validité du « saut » d'inférence faite par le chercheur entre l'analyse de l'action et la connaissance reconstruite, et non plus celle de la façon dont l'enseignant parle de ce qu'il a fait. Cette question du saut d'inférence réalisé par le chercheur n'est pas moins complexe, mais est plus facile à aborder du fait que le chercheur s'appuie sur des cadres théorique et méthodologique ce qui rend le processus plus facilement explicitable.

2. Cadre théorique

Nous nous référons à deux cadres théoriques, le premier, la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) concerne l'analyse de l'action du professeur. Le deuxième, celui des Pedagogical Content Knowledge (PCK) s'intéresse aux connaissances des enseignants.

2.1. La théorie de l'action conjointe en didactique.

Nous nous plaçons dans le cadre de la théorie de l'action conjointe (Sensevy, 2007) en ce qui concerne l'étude des pratiques de classe. La théorie de l'action conjointe modélise l'action didactique comme un jeu, ce qui permet de prendre en compte l'engagement affectif des acteurs ainsi que la façon dont le jeu est gagné (quelles sont les règles pour gagner, quels enjeux ?). Il s'agit d'un jeu de savoir, c'est à dire que pour gagner le jeu, l'élève doit mettre en œuvre le savoir visé par l'enseignant. La TACD propose trois catégories pour décrire l'action de l'enseignant :

- Chronogénèse

Pour répondre à la question « comment quand ? » il faut chercher à mettre en évidence comment le savoir évolue avec le temps dans la classe. L'enseignement est vu comme une évolution, les savoirs étant disposés le long d'un axe temporel (temps des horloges) ils sont constitutifs d'un temps-savoir (temps didactique). D'une classe à l'autre, le rythme d'introduction des savoirs varie (Tiberghien, Malkoun, Buty, Souassy, & Mortimer, 2007). L'avancement du savoir dans la classe est dû autant aux élèves (contraints par leurs temps d'apprentissage) qu'à l'enseignant (gestionnaire du temps d'enseignement).

- Topogénèse

La topogénèse permet de rendre compte de la distribution des rôles entre les acteurs de la classe. Cette répartition est le fruit d'une négociation qui précise les tâches dévolues à l'élève et celles dévolues à l'enseignant. L'ensemble de ces tâches définit la position (le *topos*) de chacun par rapport au savoir. Sensevy (2007) donne l'exemple d'une dictée au cours de laquelle l'enseignant décide d'écrire au tableau un mot de la dictée qu'il juge difficile. En agissant ainsi l'enseignant redéfinit la tâche de l'élève, celui-ci n'a plus à savoir écrire correctement le mot, mais à savoir le recopier.

- Mésogénèse

La mésogénèse s'intéresse au renouvellement du milieu. Dans les travaux de Piaget le milieu est vu comme un contexte cognitif de l'action (Sensevy, 2007). Il s'agit d'un contexte cognitif commun ainsi que des objets matériels grâce auxquels l'action d'enseigner et d'apprendre peut avoir lieu. Si l'on reprend l'exemple de la dictée, lorsque l'enseignant annonce aux élèves qu'ils vont faire une dictée, un contexte cognitif commun est instancié. Ainsi les élèves et l'enseignant se retrouvent placés dans un contexte comportant ses règles, codes ... Pour Brousseau (1998) le milieu devrait être, autant que possible, antagoniste, c'est-à-dire que l'élève, pour résoudre un problème (au sens large) agit sur le milieu et reçoit des rétroactions qui lui permettent de trouver la solution au problème.

La mésogénèse est la catégorie permettant de répondre à la question « Comment quoi ? ». C'est-à-dire qu'il s'agit de rendre compte de l'évolution du milieu, comment l'enseignant va introduire dans le milieu une signification, avec quel énoncé, avec quel(s) objet(s).

2.2. Les PCK

Depuis l'introduction du concept par Shulman (1986, 1987), de nombreuses recherches se sont focalisées sur les *Pedagogical Content Knowledge*, traduit en connaissances pédagogiques liées au contenu par Méheut (2006). Ce cadre consiste principalement en une catégorisation des connaissances des enseignants, catégorisation qui est faite *a priori* et en cherchant à répondre à la question : de quelles connaissances a besoin un enseignant pour enseigner un certain contenu de savoir ? Initialement les PCK ont été conceptualisées comme une forme particulière de connaissances du contenu, transformées dans le but d'enseigner. Shulman a décrit cette transformation comme survenant lorsqu'un enseignant réfléchit de manière critique sur un contenu et l'interprète, trouve des manières de le présenter (analogies, métaphores, problèmes, expériences ...) et adapte son enseignement aux capacités et aux idées des élèves. Pour Shulman, les PCK peuvent se voir comme un amalgame entre des connaissances pédagogiques et des connaissances sur le contenu. Magnusson et al. (1999) distinguent 5 composantes au sein des PCK : (1) Les connaissances sur les difficultés des élèves : les conceptions des élèves, les parties du programme qui sont difficiles ... (2) Les connaissances sur les stratégies d'enseignement correspondent à des connaissances de l'enseignant sur ses manières de présenter un savoir (métaphore, analogie, modèle, exemples...) d'une part, et sur ses connaissances liées aux activités qui peuvent aider les élèves à comprendre un contenu d'autre part. (3) Connaissances sur l'évaluation : ce qu'il faut évaluer et comment l'évaluer. (4) Connaissances sur le curriculum : connaissances du programme officiel et connaissances relatives au matériel et objets disponibles pour l'enseignement d'un contenu de savoir. (5) Orientation pour l'enseignement des sciences : cette composante chapeaute les autres composantes de PCK et oriente la pratique de l'enseignant.

Ainsi l'approche en termes de PCK est une catégorisation des connaissances des enseignants, mais n'offre pas de véritable théorisation de ce que sont ces connaissances. La TACD définit les connaissances professionnelles de l'enseignant comme des « déterminants » de l'action didactique, c'est-à-dire que ces connaissances guident l'action de l'enseignant et des élèves dans la classe. Notre cadre théorique est bien celui de l'action conjointe, c'est à travers celui-ci que nous interprétons l'action et donc que nous reconstruisons les connaissances de l'enseignant. Le cadre des PCK est utilisé ici comme un système de catégorie, nous permettant de caractériser les connaissances reconstruites. Nous ne cherchons donc pas à véritablement articuler deux cadres théoriques, ce qui demanderait une discussion plus longue du fait des ancrages épistémologiques différents.

3. Méthodologie

Deux enseignants de physique en seconde ont été filmés sur une durée d'environ deux mois. Seule 4 séances par enseignant ont été analysées pour la présente étude. L'un des deux enseignants (P1) participe à un groupe de recherche et développement (groupe SESAMES) dont le but est de produire des ressources pour l'enseignement. Ces groupes sont constitués de plusieurs enseignants et d'un ou deux chercheurs en didactique. Le second enseignant (P2) ne participe pas à un tel groupe.

Les vidéos ont ensuite été analysées suivant trois dimensions relatives à notre cadre théorique sur l'action de l'enseignant : (1) L'organisation de la classe caractérise la façon dont la classe travaille : en classe entière, par groupes ou de manière individuelle. Cette dimension rend compte, en partie, de la topogénèse (qui est responsable vis à vis du savoir dans la classe). (2) Le découpage en thèmes correspond à une analyse du savoir enseigné. Il s'agit de rendre compte de l'élément de savoir qui est en jeu dans le discours des acteurs de la classe (Cross et al. 2009), autrement dit regarder l'évolution du savoir dans la classe devient ce qui permet de prendre en compte la dimension chronogénétique de l'action didactique. (3) Enfin le découpage en phases didactiques rend compte de l'activité de la classe du point de vue fonctionnel (introduction, manipulation, correction ...). Cette dimension participe, avec les deux précédentes, à rendre compte de la mésogénèse, en distinguant par exemple une correction faite en classe entière à propos de la taille de l'univers d'une manipulation faite en binôme à propos de l'incertitude d'une mesure.

Il s'agit ici d'une analyse en traits de surface (Fisher et al., 2005), c'est-à-dire qu'il ne s'agit pas d'une analyse fine du savoir ou de l'action didactique. Cependant cette approche offre l'avantage de pouvoir être menée sur des corpus relativement importants et ainsi de pouvoir comparer des pratiques de classe sur un nombre important d'enseignants et sur des durées relativement longues.

4. Résultats

Nous présentons dans un premier temps les résultats de l'analyse de l'action didactique pour les deux enseignants observés. Dans un deuxième temps nous discuterons de cette analyse en termes de connaissances professionnelles mises en œuvre.

Notre analyse de l'action didactique en fonction de nos trois dimensions montre une nette différence entre les deux enseignants observés en ce qui concerne les phases didactiques et les thèmes. L'analyse en termes d'organisation de la classe ne montre pas de différences perceptibles entre les deux enseignants.

Les séances de P1 se caractérisent par de nombreux moments de la classe où plusieurs phases didactiques sont en jeu en même temps. Ainsi les phases de correction sont fréquemment concomitantes avec des phases de cours : l'enseignant ne fait pas que corriger l'exercice ou l'activité; il introduit, en établissant des liens entre des éléments de connaissances ou en institutionnalisant, lors de cette correction, de nouveaux savoirs. L'enseignement de P2, quand à lui, ne comporte pas de moments caractérisés par plusieurs phases didactiques simultanées. Il s'agit d'une succession de différentes phases didactiques. De plus l'enseignant P2 différencie des séances de travaux pratiques (TP) en demi-groupe, des séances de cours en classe entière. L'enseignant P1 intègre les manipulations aux séances de cours (en demi-groupe ou en classe entière) sans distinguer ces deux types de séances.

Certains thèmes se retrouvent dans plusieurs séances de P1. Ainsi le thème « Ordre de grandeur » est présent dans les quatre séances analysées, de même que le thème « Échelles et distances dans le système solaire, structure lacunaire ». Le thème « Année de lumière » se retrouve lui dans deux séances (séance 3 et 4), entrecoupé par d'autres thèmes (« Spectres et phénomènes de dispersion », et « Échelles et distances dans le système solaire, structure lacunaire » notamment). En ce qui concerne l'enseignant P2, le seul thème présent dans plusieurs séances est le thème « Ordre de grandeur » (Séances 1 et 3). Il semblerait que l'enseignant P2 traite un thème en une seule fois, alors que l'enseignant P1 fasse des liens et des rappels plus fréquents. Le thème « Échelles et distances dans le système solaire, structure lacunaire » semble être chez P1 un « fil rouge » pour les quatre séances observées.

Ainsi, notre analyse de l'action didactique nous permet de différencier d'un côté l'enseignant P2 qui a une organisation plus « linéaire », tant en termes de phases didactiques que de thèmes. De l'autre côté, l'enseignant P1 semble suivre une structure plus complexe. Hudson (2007) propose de situer la pratique des enseignants sur un continuum allant d'un enseignement centré sur l'enseignant à un enseignement centré sur l'apprenant. L'enseignant P2 serait ainsi plutôt du côté de l'enseignant en présentant un contenu très structuré (un thème à la suite de l'autre) et des activités très différenciées (une seule phase didactique à la fois). L'enseignant P1 quant à lui est plus proche de l'apprenant sur le continuum. Il adapte sa séance aux questions des élèves et revient sur certains thèmes précédemment abordés. Dans d'autres termes l'enseignant P1 prend, au moins partiellement, en charge le temps d'apprentissage dans sa classe, alors que le temps d'apprentissage est laissé à la charge de l'élève et est en dehors de la classe chez P2. En termes de connaissances professionnelles, il s'agit ici de la mise en œuvre de la composante « Orientation pour l'enseignement des sciences ». On pourrait ainsi dire que l'enseignant P1 a une orientation tournée vers l'apprenant, vers la prise en charge de son apprentissage dans la classe, alors que P2 a une orientation tournée vers un contenu structuré par des types de tâches bien définies et une présentation successive du contenu. Ces orientations n'ont pas été répertoriées dans la littérature (Magnusson et al., 1999). Nous y voyons ici l'influence de la méthode d'analyse sur le type de connaissances étudiées. Les connaissances répertoriées par Magnusson et al. ont été étudiées à partir d'une analyse fine du contenu enseigné et de ce que disent les enseignants sur leurs pratiques alors que les nôtres l'ont été à partir d'une analyse de l'action à une échelle mésoscopique.

5. Discussion

Deux points nous semblent importants à discuter, d'une part l'utilisation du cadre des PCK au sein de la TACD, et d'autre part les implications d'une telle recherche pour la formation des enseignants.

Nous l'avons dit, les PCK ne reposent pas sur une théorisation solide, ce qui de notre point de vue explique les divergences et le manque de consensus à propos de cette conceptualisation. Il s'agit donc pour nous d'apporter, grâce à la TACD, des outils, tant théoriques que méthodologiques, pour étudier les connaissances des enseignants. Le saut d'inférence, à la charge du chercheur, peut sembler important, mais il ne s'agit pas de reconstruire l'ensemble des connaissances de l'enseignant mises en jeu, mais seulement celles permettant de rendre compte de la différence observée entre les actions des deux enseignants. Il reste que les PCK offrent un outil heuristique intéressant pour reconstruire des connaissances à partir de l'action. Les catégories proposées, connaissances sur l'élève, sur les stratégies, sur le curriculum, sur l'évaluation et enfin les orientations pour l'enseignement, permettent de guider le regard lors

de l'analyse des résultats. Elles permettent aussi de caractériser les connaissances ainsi reconstruites. Rappelons toutefois que ces catégories ont été construites à partir de ce que les enseignants disent de leur pratique et non pas sur ce que les enseignants font (connaissances *sur* ...). Ainsi, si les catégories des PCK semblent pertinentes dans notre approche, le type de connaissances reconstruites sera, au moins en partie, différent des PCK référencés dans la littérature et reconstruites à partir du discours des enseignants. Ceci tient à ce que nous reconstruisons des connaissances dans l'action et non pas sur l'action. De plus, du fait de notre choix dans le grain d'analyse (une analyse à l'échelle mésoscopique) nous reconstruisons des PCK « globales » (Morge, 2009) c'est-à-dire peut dépendante d'une situation spécifique. Reste le problème de la formulation de ces connaissances par le chercheur. Ce problème est d'autant plus important lorsque l'on cherche à s'appuyer sur ces connaissances pour la formation d'enseignants.

Comment expliquer les différences observées chez les deux enseignants ? Nous ne disposons pas des données nécessaires pour répondre, mais nous pouvons toutefois formuler une hypothèse : il s'agit pour nous d'un effet de la participation au groupe de recherche et développement SESAMES. Un questionnaire passé auprès des enseignants participants à ces groupes (Coppé & Tiberghien, 2010) a montré que, pour les enseignants, le principal changement dans leur pratique est la prise en compte des difficultés des élèves. Ainsi ces groupes permettent aux enseignants de développer la composante « connaissances sur les difficultés des élèves » des PCK. Toutes les composantes des PCK interagissant fortement entre elles, la composante « connaissances sur les difficultés des élèves » a influé sur la composante « Orientation pour l'enseignement », ce qui se traduit in fine sur les pratiques. Ce résultat corrobore un certain nombre de travaux sur les connaissances des enseignants et le travail collaboratif. Ainsi Grangeat et al. (2009) notent que les échanges d'expériences, les discussions ou les actions communes ont une place prépondérante sur la façon dont les enseignants organisent leur activité et influent sur leurs connaissances. Cela nous amène, en supposant que la pratique de classe de l'enseignant P1, plus centrée sur les élèves, favorise les apprentissages, à pointer l'importance du travail collaboratif en termes de développement professionnel. Enfin notre étude confirme l'importance des connaissances sur les élèves dans la pratique de l'enseignant. Cette composante des PCK est d'ailleurs décrite comme étant fondamentale par Shulman dès l'introduction du concept de PCK.

Bibliographie

- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La pensée sauvage.
- Carter, K. (1993). The place of story in the study of teaching and teacher education. *Educational Research*, 22, (pp. 5-12).
- Cochran-Smith, M. (2004). "Ask a different question, get a different answer: the research base for teacher education." *Journal of Teacher Education*, 55 (2): 111–115.
- Coppé, S. & Tiberghien, A. (2010). Elements for teachers' development and teaching resources. S-TEAM WP4 report.
<https://www.ntnu.no/wiki/download/attachments/8325736/Deliverable+4b+April+2010.pdf?version=1&modificationDate=1274257368000>. Retrieved September 2011.
- Cross, D., Khanfour-Armale, R., Badredine, Z., Malkoun, L., Seck, M. (2009). Méthodologie de mise au point d'un consensus entre chercheurs : le cas du thème. 1^{er} colloque international de l'ARCD, Université de Genève. 15-16 janvier 2009.

- Cross, D. (2010). Action conjointe et connaissances professionnelles. *Éducation & Didactique*, 3(4), 39-60.
- Fischer, H., Duit, R., & Labudde, P. (2005). Video-studies on the Practice of Lower Secondary Physics Instruction in Germany and Switzerland – Design, Theoretical Frameworks, and a Summary of Major Findings. In R. Pintò & D. Couso (Eds.), *Proceedings of the fifth international ESERA conference on contributions of research to enhancing students' interest in learning science* (pp. 830-834). Barcelona, Spain.
- Grangeat, M., Rogalski, J., Lima, L., & Gray, P. (2009). Analyser le travail collectif des enseignants : effets du contexte de l'activité sur les conceptualisations des acteurs. *Revue Suisse des Sciences de l'Éducation*, 31 (1), 151-168
- Kagan, D. M. (1992). Professional Growth Among Preservice and Beginning Teacher. *Review of Educational Research*, 62(2), (pp. 129-169).
- McMeniman, M., J. Cumming, J. Wilson, J. Stevenson and C. Sim (2000) Teacher knowledge in action, in Department of Education, Training and Youth Affairs, Higher Education Division, *The Impact of Educational Research*, DETYA, Canberra.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In N. G. L. Julie Gess-Newsome (Ed.), *Examining Pedagogical Content Knowledge* (pp. 95 - 132). Boston: Kluwer.
- Méheut, M. (2006). Recherches en didactique et formation des enseignants de sciences. In *Rapport Eurydice : L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. Etat des lieux des politiques et de la recherche* (pp. 55-76). Bruxelles: Direction Générale de l'Éducation et de la Culture. Commission Européenne.
- Morge, L. (2009). La simulation croisée pour accéder aux connaissances professionnelles didactiques locales (LPCK) acquises par l'expérience. Présenté aux sixièmes journées scientifiques de l'ARDIST.
- Schön, D.A. (1983). *The reflective practitioner*. New York: Basic Books.
- Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds.), *Agir ensemble : Éléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves*(pp. 13-49). Rennes: PUR.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), (pp.4-14).
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundation of a new reform. *Harvard Education Review*, 57(1), (pp. 1-21).
- Tiberghien, A., Malkoun, L., Buty, C., Souassy, N., & Mortimer, E. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds.), *Agir ensemble : Éléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves*.(pp. 93-122). Rennes: PUR.

Cross D.

L'utilisation des logiciels de visualisation moléculaire : pour une mise en concordance entre monde scientifique et monde éducatif ?

Stanislas Dorey, UMR STEF, Ens Cachan, Ens de Lyon – Ifé ; dorey@ens-cachan.fr

&

**Maryline Coquidé, UMR STEF, Ens Cachan, Ens de Lyon – Ifé ;
maryline.coquide@ens-lyon.fr**

Mots clés : SVT, modèle moléculaire, biologie moléculaire, logiciel de visualisation moléculaire, pratiques scientifiques de référence

Résumé : Un travail que nous avons mené précédemment a montré que les logiciels de visualisation moléculaire (VM) sont utilisés au lycée en SVT, essentiellement pour de l'illustration. Pour envisager une ouverture vers de l'investigation avec les logiciels de VM, nous étudions une possibilité de mise en concordance de pratiques scolaires et de pratiques scientifiques. Nous analysons les utilisations de la VM dans les pratiques scientifiques de référence, à travers des articles scientifiques, un entretien avec un chercheur et une observation anthropologique lors d'un stage dans un laboratoire utilisant ces logiciels. Au-delà du temps nécessaire à de l'investigation, les résultats montrent que les connaissances mobilisées par les chercheurs lors des activités de VM sont d'un niveau scientifique très élevé, qui n'est pas du niveau de lycéens.

1. Introduction

Dans un travail précédent [Dorey & Coquidé, 2011], nous avons étudié l'utilisation de visualisation moléculaire (VM) dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre (SVT) au lycée. L'analyse des programmes, des manuels scolaires et du web francophone, la réalisation d'un questionnaire et d'entretiens auprès d'enseignants, nous ont permis d'arriver aux conclusions suivantes. La VM a commencé à apparaître dans l'enseignement des sciences de la vie au lycée au début des années 1990. Elle a commencé à vraiment s'étendre avec l'introduction du logiciel *RasMol* en 1996-1997, alors propulsé par l'Institut national de recherche pédagogique (INRP). *RasMol*, logiciel libre et gratuit, capable de fonctionner sur un ordinateur grand public, était aussi, en 1995, le logiciel de VM le plus utilisé au monde dans la recherche en biologie [Sayle & Milner-White, 1995]. Par la suite, au début des années 2000, le logiciel *RasTop* l'a peu à peu remplacé. Nous avons constaté une utilisation standardisée de la VM dans l'enseignement actuel des SVT, avec uniquement quelques molécules utilisées pour réaliser une ou deux activités pratiques (TP) par an, pour chaque niveau de classe du lycée. Ces activités, qui ont peu changé depuis le début des années 2000 et sont quasiment toutes réalisées avec le logiciel *RasTop*, relèvent davantage d'une visée d'illustration que d'une investigation. L'origine des modèles moléculaires, les fonctions de modélisation et de simulation ne sont pas, ou très peu, étudiées. Nous constatons donc une forme de « saturation » de l'utilisation actuelle de la VM au lycée en SVT, saturation dans le sens où les activités scolaires autour de la VM

semblent ne pas évoluer ni être conduites de façon optimale. Les conclusions de cette étude ont été confirmées ensuite par un entretien conduit récemment auprès de Naoum Salamé, acteur qui a joué un rôle majeur dans l'introduction de la VM dans les SVT au lycée en France²⁷.

Suite à ce constat de saturation de l'utilisation pédagogique de la VM, nous allons, ici, envisager d'autres approches didactiques éventuelles, en étudiant les possibilités de mise en concordance entre des pratiques scolaires et des pratiques scientifiques.

2. Contexte scientifique

Au début des années 1950, les biologistes ont commencé à réaliser des modèles structuraux de macromolécules. En effet, les macromolécules biologiques sont, en général, de dimensions trop petites pour être accessibles à des moyens d'observation directe. C'est donc par l'analyse de données indirectes qu'il est possible de reconstituer un modèle moléculaire. Les premiers modèles étaient alors de grandes constructions (plusieurs mètres) et c'est en 1966 que Cyrus Levinthal et son équipe [Levinthal, 1966] ont réalisé la première VM sur ordinateur. Par la suite, le développement informatique a permis une visualisation des modèles moléculaires sur ordinateurs de plus en plus performants²⁸. La recherche a connu un véritable essor, parce que connaître la structure des molécules biologiques, c'était bien souvent contribuer à comprendre leurs fonctions. Aujourd'hui, la VM est utilisée dans de nombreux domaines en biologie (Watson & al., 2009) et de gros investissements sont effectués pour connaître la structure des macromolécules biologiques, comme en témoignent des installations tel le synchrotron de Grenoble.

L'enjeu autour de la VM en éducation est double : d'une part, la formation d'étudiants scientifiques à l'université, afin qu'ils acquièrent un savoir important en biologie structurale ; d'autre part, la mise à disposition d'une formation plus générale, avec la possibilité pour les lycéens de percevoir et de comprendre la biologie moléculaire.

Il existe un très grand nombre de logiciels de VM utilisés pour l'enseignement. Ils sont pour la plupart gratuits et souvent open source. Bien qu'ils aient chacun leurs spécificités, ils ont, au premier abord, des fonctionnalités assez proches. Ils permettent de modifier l'observation (zoom, déplacement latéral, rotation ou vue en coupe de la molécule...), de choisir les couleurs pour l'affichage (couleur des atomes, des liaisons...), de choisir la représentation (représentation en boules, en bâtons...), de sélectionner tout ou une partie de la molécule, de faire des mesures (de distances, d'angles...), de modifier la taille des différents éléments de la molécule, d'afficher plusieurs molécules (dans différentes fenêtres ou de manière superposée) et enfin d'exporter des images (fig. 1). Au lycée, les programmes recommandent une utilisation des logiciels de VM pour à un ou deux travaux pratiques (TP) chaque année, durant lesquels les élèves manipulent le logiciel afin de tenter de mettre en évidence certaines propriétés des molécules observées. La figure 2 schématise le déroulement d'une séance de TP, faisant appel à un logiciel de VM, qui a été observée en classe de terminale. Les élèves avaient à localiser et à caractériser la zone de l'anticorps capable de fixer l'antigène, avec une utilisation d'illustrations du logiciel de VM. Si le but d'une activité de TP est aussi de solliciter une démarche d'investigation, il serait utile de mieux connaître les utilisations de logiciels de VM en recherche scientifique.

²⁷ Avec son équipe, à l'INRP, il avait d'abord mis en avant *RasMol* puis *RasTop* et avait développé, dès 1997, des propositions d'activités pédagogiques s'appuyant sur ces logiciels.

²⁸ Pour plus de détails sur l'historique de la VM, on peut consulter Matz & Francoeur (2010).

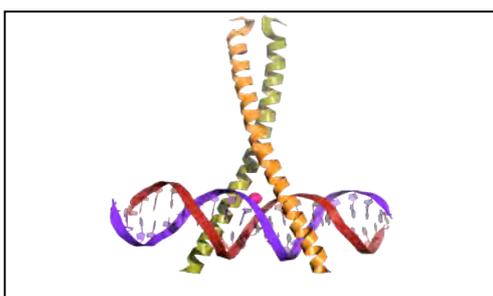


Figure 1. Modèle moléculaire d'une protéine en interaction avec une portion de molécule d'ADN (Source : http://en.wikipedia.org/wiki/BZIP_domain)

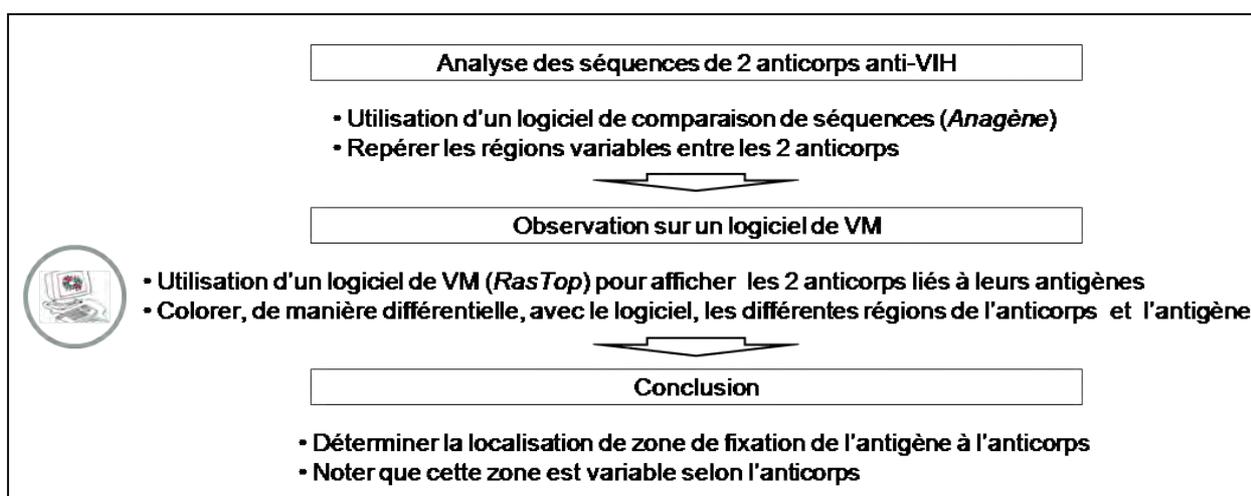


Figure 2. Exemple d'utilisation d'un logiciel de VM durant une séance de TP en classe de terminale

Quels peuvent être les apports de l'utilisation d'un logiciel de VM pour les apprentissages ? A partir du cas de l'animation de la réaction en chaîne par polymérase PCR, Yarden et Yarden (2009) ont montré que l'utilisation d'un logiciel de visualisation et d'une animation moléculaire donne un avantage significatif aux étudiants qui l'ont utilisée, par rapport à ceux qui ont uniquement utilisé des images, les animations pouvant faciliter la compréhension de processus moléculaires. Dans une autre étude (Ferk, Vrtacnik, Blejec et Grill, 2003), conduite auprès d'étudiants de 13 à 25 ans, il est constaté que des représentations sur ordinateur via un logiciel de VM permettaient une meilleure perception des modèles moléculaires que des représentations en deux dimensions (2D) (image ou représentation schématique du modèle moléculaire). Par ailleurs, une perception correcte de la structure tridimensionnelle (3D) de la molécule apparaît cruciale pour une compréhension liée aux structures moléculaires. Berry et Baker (2010) indiquent par ailleurs qu'il est souvent très difficile de comprendre des relations 3D en utilisant uniquement une projection en 2D. Par conséquent, l'utilisation d'un logiciel de VM peut contribuer à la compréhension des relations spatiales avec des images en 3D.

Ces différents travaux convergent quant à une possibilité de bénéfice pour l'enseignement de concepts moléculaires de l'utilisation de logiciels de VM.

3. Problématique

Notre enquête nous conduit cependant à envisager que ces logiciels ne sont pas utilisés à leur plein potentiel dans l'enseignement des SVT en France. Y a-t-il une possibilité de renouveler cet enseignement avec les logiciels de VM ?

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette saturation de l'utilisation des logiciels de VM. Cela peut, par exemple, être consécutif à des contraintes horaires imposées par le programme, et/ou à une difficulté pour l'élève ou l'enseignant à utiliser le logiciel de VM, et/ou encore à la démarche accompagnant l'utilisation du logiciel de VM. C'est cette dernière hypothèse que nous avons étudiée ici, en retenant le cadre théorique des *pratiques sociales de référence* (Martinand, 1986, 1989).

La notion de *pratique sociale de référence* vise à mettre en relation les contenus et les buts d'un enseignement avec les situations, les tâches et les qualifications d'une pratique donnée, alors appelée « *pratique sociale de référence* ». Trois aspects les caractérisent : « *Ce sont des activités objectives de transformation d'un donné naturel ou humain (« pratique ») ; elles concernent l'ensemble d'un secteur social, et non des rôles individuels (« social ») ; la relation avec les activités didactiques n'est pas d'identité, il y a seulement terme de comparaison (« référence »)* » (Martinand, 1986, p. 137). Nous ne retiendrons ici que la notion de *pratique scientifique de référence*. Il s'agit alors d'un guide d'analyse pour étudier ici une possibilité de *mise en concordance* de pratiques scolaires avec des pratiques scientifiques concernant l'utilisation des logiciels de VM.

L'introduction des logiciels de VM dans l'enseignement des SVT, au milieu des années 1990, répondait en particulier à une impulsion de l'inspection générale, afin être au plus proche des nouvelles avancées de la recherche en biologie [Demounem, 1992]. Naoum Salamé et son équipe ont d'ailleurs mis *RasMol*, puis *RasTop*, à la disposition des enseignants, via le site de l'INRP et les formations académiques, avec l'idée de transposer des pratiques scientifiques de biologistes dans le monde de l'éducation. Nous voulons répondre ici aux questions suivantes : quelles sont les utilisations des logiciels de VM dans le monde de la recherche en biologie ? Pour quels objectifs sont-ils utilisés ? A quels stades de la recherche ? Peut-on envisager des transpositions de pratiques scientifiques pour élaborer des activités scolaires ?

4. Méthodologie

Pour répondre à ces questions, nous avons employé une méthodologie composite d'analyse d'articles scientifiques en lien avec la VM, d'entretien avec un chercheur, et d'une observation anthropologique participative lors d'un stage d'immersion de trois semaines dans un laboratoire de recherche en biologie utilisant les logiciels de VM.

L'analyse des articles scientifiques devait contribuer à repérer la place de la VM dans ces publications. Pour cela, nous avons choisi l'ensemble des publications présentées comme significatives par chacun des laboratoires de l'institut de biologie structurale (IBS) de Grenoble (www.ibs.fr) sur leur site en mars 2011. Nous avons retenu l'IBS car c'est un centre important de biologie structurale en France, qui comporte de nombreuses équipes de travail donc susceptible de donner un vaste aperçu des publications dans ce domaine. Ce corpus a été complété par la recherche de quelques autres publications sur Pubmed²⁹, sélectionnés en

²⁹ Principal moteur de recherche de données bibliographiques de l'ensemble des domaines de spécialisation de la biologie et de la médecine : www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/

tapant les mots clés suivant : "*molecular visualization*", *rasmol*, *rastop*, *pymol*, *VMD*, *jmol*³⁰. Cette deuxième recherche bibliographique a été réalisée afin de s'assurer que les publications de l'IBS ne présentaient pas de disparités par rapport aux autres publications du domaine.

Nous avons réalisé un entretien oral avec un chercheur du conservatoire national des arts et métiers (CNAM) à la chaire de bioinformatique. Le choix s'est fixé sur ce chercheur car, en plus de faire des recherches mobilisant des logiciels de VM, il dispense également des enseignements et des formations dans le supérieur en lien avec la VM.

Enfin, nous avons effectué une observation inspirée d'une approche anthropologique de type participative (Latour & Woolgar, 1979), lors d'un stage d'immersion de trois semaines dans l'équipe *Bioinformatique, Modélisation et Dynamique Moléculaire* (BiMoDyM) du laboratoire de biologie et pharmacologie appliquée (LBPA). Ce laboratoire utilise des méthodes de bioinformatique, modélisation et dynamique moléculaire, modes normaux, calculs d'énergie libre et de chemin de réaction, docking. Durant ce stage d'immersion, il a ainsi été possible d'observer des doctorants et des post-doctorants, en particulier leur utilisation des logiciels de VM. Les données ont été recueillies à travers des conversations informelles, dont certaines enregistrées, à travers l'observation directe des chercheurs avec prise de notes, notamment devant leur poste informatique, et à travers la participation à certaines tâches sollicitées par les chercheurs en lien avec leur travail.

5. Résultats

5.1. Analyse de publication scientifiques

Dans les publications scientifiques retenues, il n'est jamais précisé directement le type d'usage des logiciels de VM. En fait, les logiciels de VM sont présents dans ces articles essentiellement au travers des images de molécules qu'ils ont servi à générer. Ceux-ci permettent en effet de produire des images de modèles moléculaires qui vont servir à illustrer le propos de l'article et à appuyer des explications. Les logiciels les plus utilisés pour réaliser ces illustrations sont *Pymol* et *Visual Molecular Dynamics* (VMD). Certaines publications sont également accompagnées de courtes animations disponibles sur le web qui, elles aussi, servent à illustrer le propos. Les logiciels de VM permettent donc principalement de **communiquer** des résultats dans les articles scientifiques, via la production d'images de modèles moléculaires. Leurs utilisations à d'autres stades de la recherche n'apparaissent pas directement dans les publications.

5.2. Synthèse des résultats obtenus via l'entretien avec le chercheur du CNAM et les observations en laboratoire

Les résultats présentés ici sont une synthèse des résultats obtenus via l'entretien avec le chercheur du CNAM et les observations en laboratoire. Nous avons été conduit à considérer que la VM était utilisée pour trois grands types de problèmes de biologie moléculaire, par trois catégories de chercheurs : les structuralistes, les interactants et les chercheurs de la dynamique moléculaire. Les domaines de ces trois catégories n'ont cependant pas vraiment de frontières et sont interconnectés.

³⁰ *Pymol*, *VMD* et *jmol* sont des logiciels de VM.

5.2.1. Utilisation des logiciels de VM par des « structuralistes »

Le premier de ces domaines concerne les chercheurs que l'on désigne ici par « structuralistes ». Ce sont des chercheurs, issus en général du monde de la physique et l'essentiel de leur travail est fondé sur des calculs mathématiques. Les structuralistes traitent des données expérimentales, obtenues par différentes méthodes d'analyse et de mesure de la molécule (diffractométrie aux rayons X, RMN) et qui constituent un fichier de coordonnées X,Y,Z, pour produire des modèles de macromolécules biologiques. Par exemple, dans le cas de données obtenues avec la résonance magnétique nucléaire (RMN), un logiciel communément utilisé est ARIA (<http://aria.pasteur.fr/>). Ces logiciels ont aussi des fonctionnalités de VM et ces chercheurs ne changent pas de logiciel pour effectuer de la VM. Par exemple, dans le cas de données provenant de technique de diffractométrie de rayons X, les chercheurs obtiennent une carte de densité électronique, à partir de laquelle ils vont faire du remplacement moléculaire qui consiste à insérer la structure dans l'espace de volume de la densité électronique. Ils continuent ensuite à utiliser le logiciel qui leur a servi à faire du remplacement moléculaire pour visualiser la molécule, **La VM intervient ici essentiellement à la fin de leurs travaux.**

Dans la figure 3, nous proposons une schématisation du mode opératoire des structuralistes avec la place de la VM dans ce mode.

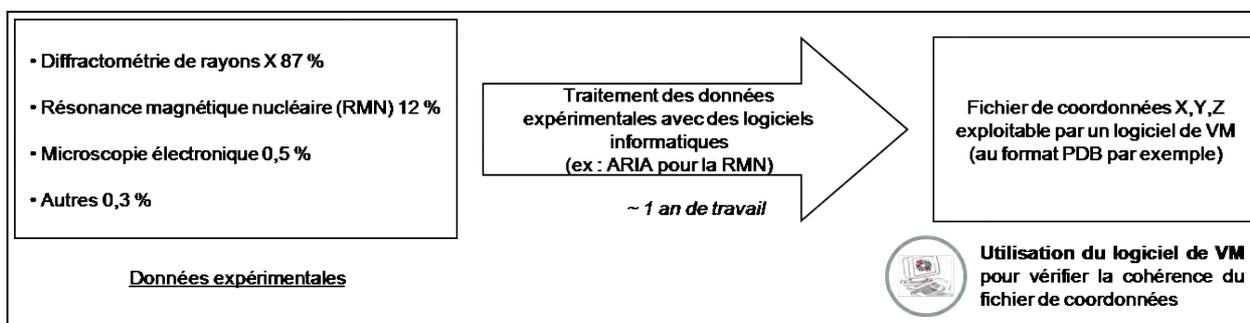


Figure 3. Proposition de schématisation du mode opératoire et de mobilisation de VM des biologistes structuralistes (Les pourcentages pour chaque technique expérimentale représentent le nombre relatif de structures présentes dans la Protein Data Bank³¹ (PDB) en septembre 2011)

5.2.2. Utilisation des logiciels de VM par des « interactants »

Le deuxième domaine concerne les chercheurs qui analysent les interactions entre les molécules et que nous désignons ici par « interactants ». L'étude peut être une interaction protéine/protéine, protéine/ADN ou bien encore protéine/ARN. Dans ce domaine, le *docking*, qui prédit l'orientation préférentielle d'une molécule lorsqu'elle se lie à une deuxième, occupe une place importante. Pour comprendre la place de la VM dans ce domaine, nous prenons l'exemple du développement d'un « interactant » ayant pour objectif d'augmenter l'affinité du complexe de la protéine A et de la protéine B (fig. 4).

L'utilisation de logiciels de VM se fait ici tout au long du processus de développement : « Dès la conception jusqu'à la fin c'est [les logiciels de VM NDLR] utilisé tout le temps » (extrait d'entretien avec le chercheur du CNAM). Le chercheur va ainsi se servir de ses propres connaissances ou rechercher dans la littérature pour interpréter ce qu'il observe via le logiciel de VM : « Nous, on travaille sur des données où il y a peu de connaissances voire pas de

³¹ La PDB est la collection mondiale de données sur la structure 3D des macromolécules biologiques (<http://www.rcsb.org/pdb/statistics/holdings.do>)

connaissances du tout. Le seul critère objectif qu'on a, c'est nous-même, c'est notre connaissance des autres structures et on ne peut pas faire ça de manière automatique. On est obligé de faire ça à l'œil, à la main encore, de regarder ce mode de liaison, dire est ce que ce mode de liaison il a l'air valable par rapport à nos connaissances de manière générale [...] et ça c'est purement subjectif, chaque personne aura son critère de pourquoi c'est bien ou pas » (extrait d'entretien avec le chercheur du CNAM).

Dans la figure 3, nous proposons une schématisation du mode opératoire et de la mobilisation de la VM d'un « interactant ».

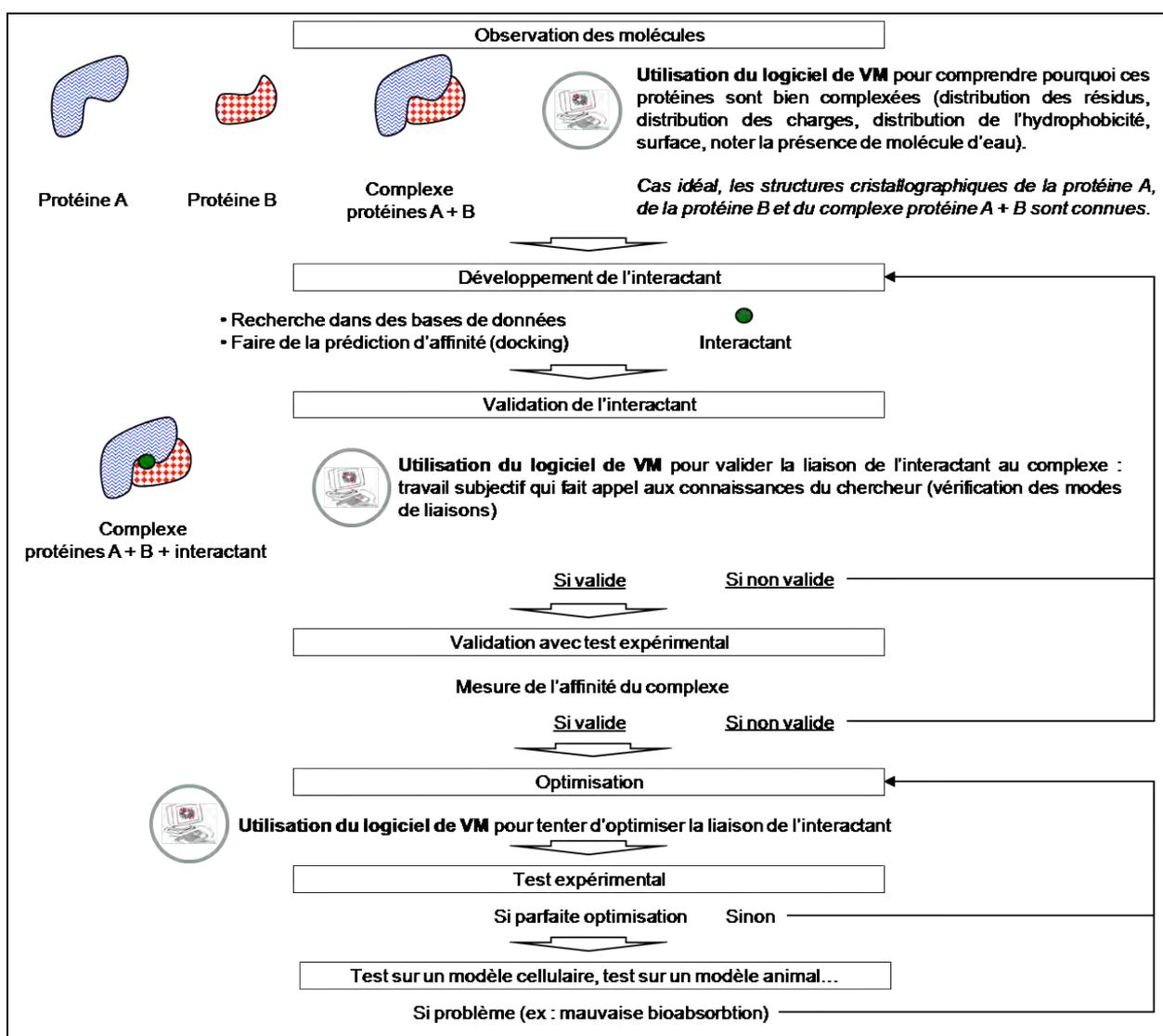


Figure 4. Proposition de mode opératoire et de mobilisation de la VM pour le développement d'un « interactant »

5.2.3. Utilisation des logiciels de VM par des chercheurs de la dynamique moléculaire

Le troisième domaine concerne les chercheurs de la dynamique moléculaire. La dynamique moléculaire consiste à simuler, par le calcul informatique, le mouvement d'un groupe d'atomes dans le temps. Le chercheur va ainsi assigner des forces à un groupe d'atomes et observer son évolution au cours du temps. Prenons l'exemple de la protéine ckit qui est un récepteur tyrosine kinase contrôlant la croissance et la prolifération cellulaire. Lors de la fixation d'un ligand sur la

partie extramembranaire, la partie intramembranaire se dimérise, ce qui entraîne la phosphorylation de la partie intramembranaire. Or il existe des mutations de la partie intramembranaire qui entraînent une dimérisation constitutive, la protéine ckit étant alors toujours active. Le but est alors de comprendre, via une dynamique moléculaire, en quoi ces mutations peuvent activer de manière constitutive la protéine ckit. Durant ce travail, **le chercheur utilise un logiciel de VM tout au long de sa démarche** : pour analyser le fichier structural de la protéine « *C'est vraiment [l'utilisation du logiciel de VM NDLR] pour tourner dans tous les sens, pour bien voir et tout, pour se mettre la molécule dans la tête* » (extrait de discussion avec un doctorant durant les observations en laboratoire) puis pour observer le résultat de la dynamique moléculaire. Pour interpréter les observations faites avec le logiciel de VM, il va se servir de ses connaissances et rechercher des informations dans la littérature.

Dans la figure 5, nous proposons une schématisation du mode opératoire et de la mobilisation de la VM pour la recherche en dynamique moléculaire.

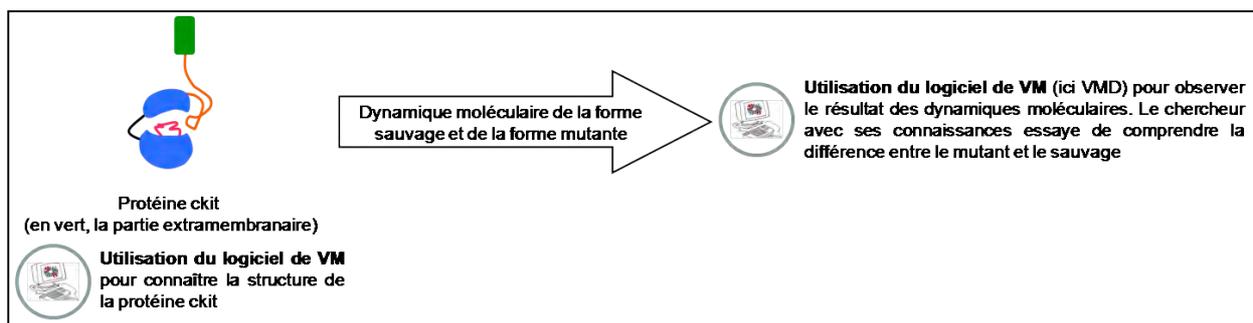


Figure 5. Proposition d'un mode opératoire et de mobilisation de VM pour une recherche en dynamique moléculaire

Dans ces trois domaines, **les logiciels de VM servent aussi à produire des images** : par exemple, les structuralistes vont produire une image de structure moléculaire, les développeurs d'interactants une image de l'interactant fixé au complexe, les chercheurs de dynamique moléculaire une vidéo de dynamique moléculaire.

5.3. Bilan des résultats

Nous constatons, dans les pratiques scientifiques de référence, **différentes utilisations des logiciels de VM selon le problème de biologie moléculaire étudié**. Ces logiciels sont utilisés à tous les stades de la recherche, à l'exception des structuralistes qui ne s'en servent qu'à la fin de leurs travaux. Lorsque les chercheurs se servent des logiciels de VM, ils font toujours appel à leurs connaissances sur la structure des molécules, par exemple aux propriétés de tel ou tel acide aminé, à ce que le voisinage d'un ensemble d'acides aminés implique... Lorsque leurs connaissances propres ne sont pas suffisantes, ils ont recours à la littérature scientifique.

6. Discussion / Conclusions

Dans les pratiques scientifiques de recherche, les connaissances de biologie moléculaire auxquelles les chercheurs font appel pour mobiliser le logiciel de VM sont d'un niveau très élevé qui n'est pas du tout du niveau de lycéens. Il apparaît donc difficile, actuellement, de mettre en concordance des pratiques d'investigation de lycéens dans ce domaine avec des pratiques de recherche. En effet, cela nécessiterait d'une part un « bagage scientifique » plus important des élèves, d'autre part davantage de temps afin de pouvoir développer de réelles

démarches d'investigation, incluant aussi une possibilité de confrontation à une forme de littérature scientifique. La question serait à développer davantage dans une perspective proactive d'éventuel renouvellement curriculaire de l'enseignement scientifique au secondaire.

Cela ne sous-entend cependant pas que l'utilisation des logiciels de VM soit inutile au lycée. Bien au contraire, la place considérable occupée par les représentations moléculaires conduit à une nécessité de sensibilisation des élèves à leur égard. Pour éviter de mobiliser les logiciels de VM uniquement pour de l'illustration ou pour de la « monstration » d'images, fussent-elles en 3D, il serait important de préciser davantage le problème biologique qui conduit à son utilisation. Par exemple, le problème de la recherche ou de la compréhension de fonctions d'une protéine. A l'observation avec un logiciel de VM, si sa forme est globulaire avec des acides aminés hydrophobes en périphérie et des acides aminés polaires en son centre qui forment un canal, on a probablement affaire à une protéine transmembranaire qui permet le passage de l'eau (une aquaporine). A l'inverse, si on observe une structure en filament, on a probablement affaire à une protéine qui va avoir un rôle structural et constitutif (par exemple, le collagène). Il serait utile, par ailleurs, de pouvoir informer les élèves sur la construction de ces modèles moléculaires et sur le statut épistémologique de la modélisation : la construction des modèles moléculaire, l'articulation entre expérimental et théorique, le rôle que nous voulons ou pouvons faire jouer à ces modèles, les caractéristiques des modèles qui sont ainsi manipulés (ils sont hypothétiques, modifiables, pertinents pour certains problèmes dans certains contextes), la manière dont ils peuvent ou non être appropriés...

Les logiciels de VM permettent, en effet, de présenter une même molécule sous diverses représentations. Ceci contribue ainsi à faire comprendre que la représentation choisie dépend de l'utilisateur : c'est toujours la même molécule mais la représentation met l'accent sur telle ou telle propriété. L'utilisation des logiciels de VM permet en outre de présenter des variations d'échelles, de mieux enseigner le monde microscopique en aidant à faire percevoir des phénomènes stochastiques et un déterminisme probabiliste au niveau cellulaire (Coquidé et *al.*, sous presse). Enfin, une utilisation renouvelée des logiciels de VM auprès des étudiants pour favoriser leur formation scientifique serait envisageable. Des essais didactiques contrôlés et analysés seraient alors nécessaires, afin d'envisager un curriculum possible de formation pour le supérieur.

Bibliographie

Berry, C., & Baker, M. D. (2010) Inside protein structures: Teaching in three dimensions. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 38, 425-429.

Coquidé M., Dell'Angelo M., Dorey S., Fortin C., Gallezot M., Henocq S., Kalali F., Lange J.-M., & Rumelhard G. (sous presse) Espace et temps dans les sciences du vivant : de nouvelles perspectives pour la recherche en didactique, *Recherches en Didactiques des Sciences et des Technologies*, n°4.

Demounem, R. (1992) *Préface*, In Sciences de la Vie et de la Terre au Lycée Activités scientifiques informatisées, rapport de l'INRP.

Dorey, S., & Coquidé, M. (2011) *Transposition of a scientific tool into the educational world: the case of molecular visualization*, ESERA.

Ferk, V., Vrtacnik, M., Blejec, A., & Gril, A. (2003) Students' understanding of molecular structure representations. *International Journal of Science Education*, 10, 1227-1245.

Latour B., & Woolgar, S. (1979, trad. fr. 1988, rééd 1996) *La vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*. Paris : La Découverte, coll. « Poche ».

Levinthal, C. (1966) Molecular model-building by computer, *Scientific american*, 214, 42-52.

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

Martinand, J.-L. (1989) Pratiques de référence, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences techniques. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, 2, 23-29.

Martz, E., & Francoeur, E. (2010) <http://www.umass.edu/microbio/rasmol/history.htm>

Sayle, R., & Milner-White, E. (1995) RASMOL: biomolecular graphics for all. *Trends in Biochemical Sciences*, 20, 374-376.

Watson, J.D., Bartlett, G.J., & Thornton, J.M. (2009) Inferring protein function from structure, In: Gu J, Bourne PE, eds. *Structural Bioinformatics. 2nd ed.* Hoboken NJ: John Wiley & Sons, 2009, 515-538.

Yarden, H., & Yarden, A. (2009) Learning Using Dynamic and Static Visualizations: Students' Comprehension, Prior Knowledge and Conceptual Status of a Biotechnological Method. *Research in Science Education*, 40, 375-402.

Enseignement du modèle de Lewis de la liaison de covalence en classe de seconde : pratiques déclarées des enseignants et difficultés des élèves.

**Christine Ducamp, UMR EFTS, ENFA, Univ. Toulouse ;
christine.ducamp@educagri.fr**

&

**Alain Rabier, Univ. Toulouse II, IUFM Midi-Pyrénées, département Métiers de l'Enseignement et de la Formation en Sciences et Technologies ;
alain.rabier@neuf.fr**

Mots clés : modèle de Lewis, liaison covalente, enseignement secondaire, transposition interne

Résumé : L'enseignement de la liaison covalente fait encore très largement appel à la théorie de Lewis aussi bien au niveau secondaire qu'au niveau du premier cycle universitaire. L'établissement des structures de Lewis de molécules n'est pas sans poser de nombreux problèmes à tous les niveaux d'enseignement. Après un bref aperçu des difficultés de son enseignement depuis quelques années, nous aborderons les pratiques déclarées d'enseignement concernant la formation de molécules à l'aide du modèle de Lewis de la liaison covalence en classe de seconde (programme 2000) ainsi que les éventuelles difficultés des élèves dans ce mode d'apprentissage. En conclusion, nous évoquerons la place de cet enseignement dans les programmes en vigueur depuis la rentrée 2010.

1. Introduction

Dans la partie de l'enseignement fondamental de chimie en classe de seconde (rentrée 2000) intitulée « constitution de la matière », on trouve entre autres contenus « application aux molécules à l'aide du modèle de Lewis de la liaison covalente ». Le document d'accompagnement de ce programme détaille et préconise une nouvelle méthode d'enseignement n'utilisant plus le schéma de Lewis des atomes isolés mais permettant d'obtenir directement le schéma de Lewis de la molécule. Comment un enseignant prend-t-il en compte les injonctions institutionnelles relatives à l'enseignement de la méthode de Lewis ? Peut-on évaluer l'influence de ce nouvel enseignement sur l'apprentissage des élèves ?

Notre recherche s'est appuyée sur les pratiques déclarées de 29 enseignants. Un autre questionnaire a été proposé à 365 élèves de seconde après enseignement du modèle de Lewis de la liaison covalente.

2. Cadre théorique

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.

Depuis plus de 30 ans, de nombreuses études notamment américaines et anglo-saxonnes (Perterson & Tréagust, 1989, JCE ; Taber, 1998, IJSE) ont mis en évidence les difficultés que rencontrent les élèves et les étudiants pour établir et justifier les structures moléculaires de composés. Il apparaît qu'un nombre limité de conceptions erronées sont à l'origine de ces obstacles. Plutôt que d'utiliser la règle de l'Octet comme guide pour identifier les espèces stables, ces étudiants perçoivent que les liaisons se forment pour satisfaire la règle de l'Octet c'est-à-dire « *pour leur donner une couche de valence remplie* », « *pour obtenir la configuration d'un gaz rare et être stable* » ou « *pour former une couche externe complète* ».

Selon William R. Robinson (1998), il n'est pas concevable d'abandonner la règle de l'Octet et ses applications comme méthode heuristique. Mais lors de son utilisation, il faudrait être certain que nos étudiants comprennent que la règle de l'Octet n'est seulement qu'un outil pour reconnaître les édifices stables et que ce ne n'est pas le remplissage des couches qui produit les liaisons mais que celles-ci résultent d'autres actions et que le remplissage des couches n'en est qu'une conséquence.

3. Question de recherche et méthodologies

Notre cadre théorique utilise le concept de transposition didactique de Chevallard (1991). Nous aborderons la transposition interne (c'est la mise en texte du savoir à enseigner par l'enseignant) à travers un questionnaire qui nous permettra d'apercevoir les pratiques déclarées des enseignants face à un nouveau mode d'apprentissage. Puis à partir d'un autre questionnaire pour les élèves, nous aurons une approche didactique du savoir enseigné au savoir appris. Pour construire ces deux questionnaires, nous sommes partis des études sur la mise en évidence des difficultés que rencontrent les élèves et les étudiants pour établir et justifier les structures moléculaires de composés (cf paragraphe précédent).

Cette étude concerne la partie II (constitution de la matière) de l'enseignement fondamental de la chimie en classe de seconde (programme 2000). Le deuxième objectif de cette partie est intitulé « de l'atome aux édifices chimiques ». Le contenu 2-1 « règle du Duet et de l'Octet » doit comporter « application aux molécules à l'aide du modèle de Lewis de la liaison covalente. Répartition de Lewis de quelques molécules. Dénombrement des doublets d'électrons liants et non liants. » Donner la représentation de Lewis de quelques molécules simples : H_2 , Cl_2 , HCl , CH_4 , NH_3 , H_2O , C_2H_6 , O_2 , N_2 , C_2H_4 , CO_2 ». Dans les commentaires relatifs à cette partie de programme, l'enseignant fait la distinction entre les électrons engagés dans les liaisons covalentes (doublets liants) et les électrons non engagés dans ces liaisons (doublets non liants). Les représentations de Lewis des molécules présentent les doublets liants et non liants sous forme de tirets. Les entités n'obéissant pas à la règle de l'Octet, comme certains oxydes d'azote par exemple, ne sont pas traitées. Elles peuvent cependant être évoquées pour sensibiliser les élèves aux limites d'un modèle (modèle de Lewis en l'occurrence). Pour établir la représentation d'une molécule, on procède par exploration systématique : les électrons des couches externes

des atomes présents dans la molécule sont dénombrés, puis associés en doublets ; les doublets sont ensuite répartis entre les atomes (doublets liants) ou autour des atomes (doublets non liants) de façon à satisfaire les règles du "Duet" et de l'Octet. Les élèves explorent donc plusieurs représentations de Lewis dont ils ne conservent que celles obéissant aux règles.

La différence entre l'ancienne méthode qui passait par le schéma de Lewis des atomes pour déterminer la molécule et cette nouvelle façon de procéder est détaillée dans le document d'accompagnement.

Le but de notre recherche est de :

- rendre compte de la manière dont les enseignants déclarent gérer les injonctions institutionnelles relatives à l'enseignement du modèle de Lewis ;
- mettre en évidence les difficultés rencontrées par les élèves de seconde scientifique dans ce domaine.

Questionnaires enseignants

En mars 2008, le questionnaire a été proposé à 29 professeurs (21 du Ministère de l'Agriculture et 8 de l'Éducation Nationale) qui enseignent dans des établissements publics dépendant soit de l'Éducation Nationale (6) soit du Ministère de l'Agriculture (21). Leur ancienneté varie de 1 à 37 ans.

Questionnaires élèves

Le questionnaire a été proposé à 365 élèves d'établissements publics de l'Enseignement Agricole et de l'Éducation Nationale. Le recueil des données s'est déroulé en 2008-2009. L'enseignement relatif à l'apprentissage du modèle de Lewis de la liaison covalente en classe de seconde a été traité par les enseignants dans un délai variant de 2 à 6 mois avant la passation de ce questionnaire.

4. Résultats et discussion

4.1. Analyse des questionnaires enseignants

Le questionnaire était intitulé : questionnaire relatif à l'enseignement du modèle de Lewis de la liaison covalente en classe de seconde. La période d'enseignement de cette partie se situe entre novembre et mars de l'année scolaire avec une forte proportion en janvier. La durée de cet enseignement hors évaluation varie d'une demi-heure à quatre semaines. Nous vous proposons l'analyse sur trois questions de ce questionnaire.

Les réponses à la question « Décrivez la méthode que vous présentez pour enseigner le modèle de Lewis de la liaison de covalence en classe de seconde », ont été classées en trois groupes :

- méthode 1: pratiquée par 56% des enseignants : celle du document d'accompagnement ;
- méthode 2 : pratiquée par 28% des enseignants : méthode que nous avons intitulée « hybride » (par exemple i) détermination de la structure électronique des différents atomes de la molécule et de leur valence ii) former ou vérifier les liaisons covalentes à partir des valences (en commençant par la plus élevée) iii) vérification de la règle du Duet et de l'Octet et ajustement avec les doublets non liants).

- méthode 3 : pratiquée par 16% des enseignants : méthode « ancienne » c'est à dire en passant par le modèle de Lewis des atomes comme c'était enseigné dans les programmes avant la réforme de 2000.

Nous pouvons constater que seulement la moitié des enseignants interrogés suivent le programme en vigueur depuis 8 ans. 11 enseignants sur 30 (soit 37%) utilisent le document d'accompagnement au programme comme supports de préparations à leur enseignement.

Nous avons noté que les enseignants qui utilisent la méthode 3 ont tous plus de 10 ans d'ancienneté. Un enseignant résume dans ces propos la nécessité d'avoir imaginé une méthode « hybride » entre le nouveau modèle et l'ancien : « *ma « nouvelle méthode », compromis entre les deux, fait travailler l'élève sur l'atome sans représentation puis on globalise pour donner le résultat* ».

A la question : « Quelles sont les molécules que vous utilisez i) pour présenter la méthode ii) pour mettre en œuvre cette méthode dans votre cours iii) pour les exercices iiiii) pour l'évaluation ? ». Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous avec la codification suivante : nous avons différencié les molécules utilisées pour la présentation de la méthode (P), pour le cours (C), pour les exercices (X), pour l'évaluation (E) et n'avons comptabilisé que les quatre premières.

	%	molécules	%	molécules	%	molécules	%	molécules
P	79	H ₂	68	H ₂ O	45	O ₂	52	HCl
C	86	NH ₃	86	CH ₄	66	H ₂ O	59	N ₂
X	55	C ₂ H ₄	41	C ₂ H ₆ O	31	C ₂ H ₂	38	C ₂ H ₆
E	28	H ₂ O ₂	28	COCl ₂	24	C ₂ H ₄	17	PH ₃

Tableau 1. Les quatre premières molécules utilisées dans la présentation de la méthode, dans les cours, dans les exercices, dans l'évaluation

Par rapport aux préconisations du programme, « Donner la représentation de Lewis de quelques molécules simples : H₂, Cl₂, HCl, CH₄, NH₃, H₂O, C₂H₆, O₂, N₂, C₂H₄, CO₂. », les molécules Cl₂ et CO₂ ne sont pas du tout mentionnées dans le tableau.

Nous constatons dans le tableau que pour les exercices, deux des molécules les plus citées ne sont pas préconisées dans le programme et pour l'évaluation, il y en a trois : il y a donc plus d'innovation/originalité dans les exercices et l'évaluation que dans la présentation et dans le cours. Ce qui peut être compréhensible dans le cas de nouvelles notions à aborder, on stabilise la notion en apprentissage dans la première partie de la séquence en s'appuyant sur les préconisations du programme.

Cette nouvelle manière d'aborder cette partie de programme ne fait pas un consensus auprès des enseignants consultés. Nous les avons regroupés en trois catégories :

- ceux qui utilisent la méthode et pour lesquels ils estiment que les élèves n'ont pas de difficultés ;
- ceux qui utilisent la méthode mais qui estiment que les élèves rencontrent des difficultés ;
- ceux qui mixent la nouvelle et l'ancienne méthode par nécessité de compréhension pour les élèves.

A la question « Pouvez-vous lister les avantages et les inconvénients de ce modèle par rapport au modèle relatif aux atomes (anciennement enseigné) ? », les avantages sont peu nombreux et résumés comme i) étant très mécanique ce qui rassure les élèves ii) le tableau et les mathématiques ne posent en général pas de problème dans une classe scientifique. Les inconvénients sont récurrents : i) un peu longue donc certains élèves auraient tendance à faire le tableau sans comprendre ii) confusion entre le nombre de doublet pour chaque atome et le

nombre total de doublet de la molécule iii) difficile et aléatoire contrairement à l'ancienne méthode qui était simple, rapide et concrète : les électrons sont mis en communs pour former une liaison.

En conclusion de cette partie, les enseignants, majoritairement, ne suivent pas les recommandations pédagogiques par rapport à l'enseignement du modèle de Lewis de la liaison de covalence. Ils estiment que cette nouvelle méthode est fastidieuse, mécanique puisque l'élève doit remplir un tableau sans forcément comprendre le sens chimique. Néanmoins, les enseignants font preuve d'originalité, d'innovation en inventant leur propre méthode qui est un mixte entre la nouvelle et l'ancienne et en abordant des molécules qui ne sont pas mentionnées dans le programme.

4.2. Analyse des questionnaires élèves

Des données communes aux différents exercices ont été formulées en tête du questionnaire comme suit :

Atomes	H	C	N	O	F	Si	S	Cl
Répartition élect	(K) ¹	(K) ² (L) ⁴	(K) ² (L) ⁵	(K) ² (L) ⁶	(K) ² (L) ⁷	(K) ² (L) ⁸ (M) ⁴	(K) ² (L) ⁸ (M) ⁶	(K) ² (L) ⁸ (M) ⁷

Le questionnaire comportait 3 exercices. Nous ne détaillerons ici que le premier.

Exercice 1:

Il avait pour but de tester l'application de la règle de l'Octet et du Duet dans le cas de molécules ne comportant que des liaisons simples (HF), que des liaisons multiples (CO₂) ainsi que des molécules comportant des liaisons simples et des liaisons multiples (HCN, H₂CO).

Donner la représentation de Lewis des molécules suivantes. Dans chaque cas, justifier votre réponse. Dans le cas de molécules non diatomiques, l'atome central est en gras.

Molécules	Représentation de Lewis	Justification
HF		
HCN		
CO ₂		
H ₂ CO		

L'analyse des réponses fait apparaître que quelque soit la classe considérée, on retrouve toujours dans cet ordre de bonnes réponses : HF > CO₂ > H₂CO > HCN

Une minorité n'a pas positionné l'atome en gras au centre de la molécule ou bien ont dupliqué certain atome donc ils ont formé des liaisons supplémentaires.

	HF			HCN			CO ₂			HCHO		
	F	V	PDR	F	V	PDR	F	V	PDR	F	V	PDR
% réponses	36	59	5	61	33	8	45	49	6	54	38	8

Tableau 2. Répartition des réponses pour l'exercice 1

(F : faux ; V : vrai ; PDR : pas de réponses)

En moyenne, 6% d'élèves n'ont pas répondu à l'une des questions de cet exercice.

HF (59% BR) et CO₂ (49% BR) sont des molécules « classiques » qui sont souvent vues en exemples en cours.

Nous pouvons constater qu'environ 20% des élèves qui ont répondu juste lors de ces deux molécules précédentes ne donnent pas de justifications. Pour ces élèves, décrire la molécule c'est déjà une justification.

HCHO (38% BR) et HCN (33% BR) sont des molécules qui sont souvent abordées lors des exercices. Les erreurs sont dues au non-respect de la règle de l'Octet de l'atome de C et de N.

	HF				HCN				CO ₂				HCHO			
	JE	JF	DES	PDR	JE	JF	DES	PDR	JE	JF	DES	PDR	JE	JF	DES	PDR
JUST %	21	9	42	19	17	8	42	7	21	8	43	15	20	7	40	11

Tableau 3. Répartition des réponses exactes

(JE : justification exacte ; JF : justification fautive ; DES : dessin ; PDR : pas de réponses)

Sur l'ensemble de ces quatre molécules, le taux de justification exact sur les réponses justes est constant et vaut 22%. Nous avons considéré qu'une justification était considérée comme juste quand les règles de l'Octet ou du Duet étaient mentionnées. La description des doublets liants et non liants de chaque atome n'implique pas une justification juste. Par contre, nous avons pointé les élèves qui ont une justification fautive mais une description de la molécule (ou des atomes) justes avec les doublets liants et non liants.

La référence aux règles de l'Octet et du Duet n'est faite que dans un petit nombre de cas. Or ces règles sont préconisées dans cette même partie de programme 2-1 et dans les connaissances et savoir-faire exigibles, nous trouvons: « *Connaître les règles du "Duet" et de l'Octet et savoir les appliquer pour rendre compte des charges des ions monoatomiques existants dans la nature.* »

Le faible taux de réussite à cet exercice essentiellement pour HCN et HCHO tend à montrer que les élèves de seconde rencontrent toujours des difficultés pour établir les structures de Lewis de composés moléculaires relativement simples. L'application de la règle de l'Octet (Duet) comme méthode heuristique ne semble pas en place si on se réfère au faible nombre de fois où il y est fait référence.

Une étude plus détaillée des données n'a pas pu mettre en évidence une corrélation entre la qualité des résultats obtenus par les élèves et la méthode déclarée par l'enseignant.

5. Conclusion

Malgré un effort important d'explicitation de la méthode à utiliser de la part des concepteurs du programme de seconde de 1999, notre étude confirme les difficultés rencontrées par les élèves dans ce domaine.

Dans les nouveaux curriculums de seconde (rentrée 2010) et du cycle S, le modèle de Lewis n'apparaît qu'en classe de première. Les seules compétences attendues à ce niveau sont :

- *Interpréter la représentation de Lewis de quelques molécules simples*
- *Mettre en relation la formule de Lewis et la géométrie de quelques molécules simples.*

On constate que les savoir-faire du programme de la classe de seconde (2000) ne font plus partie des compétences à acquérir au niveau du lycée. Elles sont reportées au niveau du premier cycle universitaire.

En classe de première S (rentrée 2011), la représentation de Lewis de molécules simples est donnée aux élèves. Elle ne leur sert plus qu'à trouver la géométrie de ces molécules. Même si cette formule de Lewis est à justifier à l'aide des règles du Duet et de l'Octet, il ne leur est en aucun cas demandé d'établir la dite formule. Les savoirs pour écrire la formule de Lewis d'une molécule et ceux pour proposer une ou plusieurs formules de Lewis à partir d'une formule brute ne sont plus à acquérir par les élèves dans ce nouveau programme. Ce modèle devient un « outil » permettant d'approcher la géométrie des molécules simples car il n'est plus construit par les élèves. Peut-on expliquer ce changement ? Il est difficile d'interpréter cette évolution des programmes car aucune justification n'a été fournie par les concepteurs. On peut cependant postuler que la prise en compte des difficultés rencontrées par les élèves dans ce domaine et que la difficulté des enseignants pour opérer le changement didactique de cette partie de programme a largement contribué à cette modification concernant l'enseignement de la liaison covalente.

Bibliographie

Peterson R.F., Treagust D.F. Grade-12 students' misconceptions of covalent bonding, *Journal of Chemical Education*, **1989**, 66 (6) , p.459.

Taber K.S., An alternative conceptual framework from chemistry education, *International Journal of Science Education*, **1998**, 20, p.597.

William R.Robinson., An alternative framework for chemical bonding, *Journal of Chemical Education* 1998, 75(9) pp 1074-1075.

Aide à la mise en œuvre du nouveau programme de chimie pour la classe terminale scientifique Ministère de l'Éducation nationale Paris : CNDP, 2002 (document d'accompagnement)

Bulletin officiel spécial n°9 du 30 septembre 2010 Programme d'enseignement spécifique de physique-chimie en classe de première de la série scientifique.
<http://www.education.gouv.fr/cid53327/mene1019556a.html>

Programme de physique-chimie, enseignement commun, seconde générale et technologique arrêté du 8 avril 2008 - BO spécial n°4 du 29 avril 2010.
<http://www.education.gouv.fr/cid51321/mene1007262a.html>

Programmes de la classe de seconde générale et technologique applicables à la rentrée de l'année scolaire 1999-2000 et à la rentrée de l'année scolaire 2000-2001.
<http://www.education.gouv.fr/bo/1999/hs6/default.htm>

Connaissances et opinions des enseignants de l'Enseignement Agricole sur la chimie verte et le plan Ecophyto 2018³²

**Christine Ducamp, UMR EFTS, ENFA, Univ. de Toulouse ;
christine.ducamp@educagri.fr**

&

**Laurence Simonneaux, UMR EFTS, ENFA, Univ. de Toulouse ;
laurence.simonneaux@educagri.fr**

Mots clés : chimie verte, plan Ecophyto, Questions Socialement Vives

Résumé : Dans cette recherche, nous avons recueilli les représentations d'enseignants de l'enseignement agricole sur le développement durable, l'environnement et la chimie verte. Globalement, les enseignants de l'Enseignement Agricole associent la chimie verte à la chimie produite à partir de plantes. Très peu connaissent les 12 principes de la chimie verte. Notre analyse est en cours sur la thématique du plan Ecophyto 2018...

1. Introduction

La durabilité fait partie des programmes de l'enseignement agricole (EA) depuis longtemps, d'abord à propos d'agriculture durable, puis plus globalement d'éducation au développement durable (EDD). Dans de nombreux pays, il a été démontré que le manque de connaissances des enseignants sur la durabilité était un facteur significatif de l'inhibition de son enseignement (Gough, 2002 ; Hart & Nolan, 1999 ; Scott, 2001). Eames et al. (2008) considèrent que dans la société la plupart des personnes peuvent être considérées comme « eco-analphabètes » parce qu'elles ne comprennent pas bien le terme « durabilité » bien qu'il soit associé à de plus en plus à notre quotidien. Nous nous interrogeons sur l'impact de cette médiatisation excessive ou utilisation « marchande » du terme sur les enseignants de l'EA. Nous voulons vérifier si cette sur-utilisation finit par agacer des enseignants qui ont été formés sur un modèle d'intensification de la production agricole, ou s'ils dénoncent une orientation post libérale du DD, ou encore s'ils sont sceptiques par rapport à la « couche de peinture verte » dont il conviendrait de recouvrir tout enseignement pour justifier le maintien d'un mode de développement.

En comparaison avec l'éducation nationale (EN), nous considérons que l'EA offre des conditions favorables à l'EDD, du fait de la construction des curriculums en interdisciplinarité. Il n'empêche que l'EA ne peut faire l'économie d'une reconstruction disciplinaire autour de l'EDD. Ainsi, les contenus notionnels et conceptuels des disciplines sont des appuis, mais au prix d'une ré-élaboration orientée vers leur implication socio-professionnelle : par exemple en biologie-écologie, au-delà du concept de biodiversité, il s'agit d'améliorer sa gestion en interdisciplinarité. En sciences physiques et chimiques, au-delà du concept d'énergie, il s'agit de questionner les sources et les économies d'énergie en interaction avec les enseignants d'agro-équipement, d'agronomie ou de zootechnie, et en chimie se pose la question de l'introduction de

³² Recherche réalisée dans le cadre du programme ANR-08-BLAN-135, ED2AO

la chimie verte... Par ailleurs, le monde agricole est confronté à des obligations d'évolution de ses pratiques dans la perspective du DD. Ces évolutions sont parfois controversées au niveau de la société, des agriculteurs et de la recherche, ce qui en fait des Questions Socialement Vives (QSV).

A travers des questionnaires destinés aux enseignants de l'Enseignement Agricole, nous sommes intéressées plus particulièrement à la chimie verte, au plan Ecophyto 2018 en lien avec les travaux de thèse menés à l'ENFA par Nadia Cancian.

2. Cadre théorique et méthodologie

Notre objectif à moyen terme est de cerner sur ces questions les reconstructions curriculaires à mettre en œuvre, les formations d'enseignants à construire, et évaluer leur impact sur les élèves. La recherche présentée ici correspond à une étape préalable incontournable.

La question de recherche est : Quelles sont les connaissances et opinions des enseignants de l'enseignement agricole sur le développement durable, l'environnement, la chimie verte, le plan écophyto 2018 ?

Les cadres d'analyse mobilisés sont : les rationalités (Simonneaux, à paraître) et la perception des risques (Douglas, 1992 ; Beck, 1986). Classiquement, en sciences humaines et sociales, la rationalité caractérise une conduite cohérente par rapports aux buts de l'individu. Elle est influencée par des valeurs et des savoirs situés dans un contexte. Nous nous appuyons sur les travaux de Beck (1986) en considérant que nous appartenons à une société du risque et sur la théorie critique de l'Ecole de Francfort qui porte la réflexion sur la relation entre les buts, les moyens et les valeurs, sur l'opposition entre les valeurs des Lumières –égalité et rationalité- et les buts d'efficacité ou de progrès techniques justifiant tous les moyens employés. Carr et Kemmis (1986) opposent la rationalité critique et la rationalité technique ; à partir de cette dernière, tout problème a une solution technique. et les individus n'ont pas à exercer leur réflexion pour contrôler le monde. Dans la même perspective, Beck distingue rationalité scientifique et rationalité sociale. La rationalité scientifique ne se préoccupe pas assez des répercussions des technosciences, en contrepoint doit s'exercer une rationalité sociale. Nous considérons que le type de rationalité (technoscientifique ou critique) adoptée par les enseignants déterminent leur conduite d'enseignement sur les thématiques qui nous intéressent.

Pour analyser les points de vue des enseignants sur le plan écophyto 2018, nous avons utilisé le modèle de Toulmin (1958) et les modalisations de Bronckart (1996). Toulmin identifie : les *données* (ce sont les faits que ceux qui développent une argumentation rapportent pour étayer leur conclusion), la *conclusion*, les *lois de passage* qui justifient les liens entre les données et la conclusion, les *supports* (ce sont des fondements généralement admis qui appuient les justifications particulières des raisons émises). Le schéma de base est : parce que (*données*), vu que (*loi de passage*), en vertu de (*support*), donc (*conclusion*). Dans des argumentations plus complexes, Toulmin identifie : les *restrictions* qui précisent les conditions dans lesquelles la conclusion peut être considérée comme vraie, c'est-à-dire les limites de la conclusion, et les *réfutations* qui précisent les conditions dans lesquelles une conclusion ne sera pas vraie. Les *qualificateurs modaux* (par exemple : vraisemblablement) articulent les conditions d'exception ou de réfutation à la conclusion. L'utilisation des modalisations marque également l'orientation d'un énoncé argumentatif. Bronckart retient les modalisations logiques, déontiques, appréciatives et pragmatiques.

Nous avons établi un pré-questionnaire construit à partir de questions d'évocations. Son analyse nous a permis d'affiner le questionnement. Nous présentons ici les résultats obtenus à partir de

deux questionnaires : l'un construit à partir de questions d'évocations et l'autre à partir de questions ouvertes et fermées. Ensuite, nous avons préféré faire un regroupement d'enseignants de physique-chimie (plutôt que des entretiens) pour pouvoir déceler les freins et les logiques d'engagements sur la chimie verte et responsable. Ce regroupement aura lieu en janvier 2012. Un autre objectif de ce regroupement sera la création de séances sur la thématique de la chimie verte et responsable.

2.1. Pré-questionnaire

Nous avons établi un pré-questionnaire diffusé auprès d'enseignants principalement des disciplines physique-chimie, agronomie, agroéquipement, économie, zootechnie, aménagement, productions animales et productions végétales de l'enseignement agricole en formation initiale (en présentiel : 24 réponses) ou ayant plusieurs années d'enseignement (à travers les conférences disciplinaires du MA : 58 réponses) à la fin du premier semestre 2009.

Les questions étaient posées dans l'ordre suivant :

1-1) Ecrivez ci-dessous cinq mots ou expressions qui vous viennent à l'esprit lorsque vous entendez l'expression « développement durable ».

1-2) Quels sont les cinq mots ou expressions que vous pensez que vos élèves associent en général à l'expression « développement durable » ?

2) Ecrivez ci-dessous cinq mots ou expressions qui vous viennent à l'esprit lorsque vous entendez le mot «environnement».

3) Ecrivez ci-dessous cinq mots ou expressions qui vous viennent à l'esprit lorsque vous entendez l'expression «chimie verte»

4) Ecrivez ci-dessous cinq mots ou expressions qui vous viennent à l'esprit lorsque vous entendez le mot «phytosanitaire»

Ces questions d'évocation classiques visaient une première approche des systèmes de représentations des enseignants sur ces notions.

2.2. Questionnaire

Pour créer le questionnaire, nous avons donc cherché à approfondir ces données notamment en insistant sur les notions suivantes : la chimie verte, le plan Ecophyto 2018. Dans les questions posées, nous avons utilisé des réponses du pré-questionnaire. Par exemple comme ce sera développé plus loin, la chimie verte est peu connue et elle est associée à la chimie issue du végétal. Cette analyse nous a permis d'orienter notre questionnement sur différents domaines de la chimie dont celui du végétal. Si l'analyse de ce pré-questionnaire nous avait permis d'affirmer que la majorité des enseignants connaissaient les principes de la chimie verte, nous aurions construit le questionnaire différemment par exemple sur l'explicitation des différents principes.

Pour créer le questionnaire, nous avons donc cherché à approfondir ces données notamment en insistant sur les notions suivantes : la chimie verte, le plan Ecophyto 2018.

Ce questionnaire a été réalisé en 2010 à travers des conférences disciplinaires de l'enseignement agricole et l'analyse est en cours sur le plan Ecophyto 2018. Nous présentons ici principalement la partie relative à la chimie verte.

Corpus :

Majoritairement, les 120 enseignants qui ont répondu à ce questionnaire enseignent dans des filières professionnelles du ministère de l'agriculture telles que les baccalauréats professionnels, le baccalauréat technologique STAV (Sciences et Techniques de l'Agronomie et du vivant) et les Brevets de Technicien Supérieur Agricoles. Les disciplines représentées sont la physique-chimie (PCEA et MSP), les productions végétales, les sciences économiques et les sciences de gestion, l'agroéquipement et en moindre proportion la biologie-écologie.

Le contexte environnemental dans lequel ces enseignants se reconnaissent le plus est la le rural anthropisé et l'espace naturel (86%) par rapport à la ville (6%) ou à la société de consommation (2%). On peut noter qu'il y a 6% de non réponses (pas de possibilité de réponses multiples d'où peut être ce pourcentage).

3. La chimie verte

L'industrie chimique s'est considérablement développée au cours du vingtième siècle. La chimie fait partie de notre quotidien. Cependant, l'image de la chimie auprès du public s'est progressivement dégradée au rythme de catastrophes aux conséquences humaines ou écologiques lourdes (Seveso, Bhopal ou AZF). Tout au long de sa phase de développement intensif, l'industrie chimique a libéré des substances de manière non-contrôlée dans les airs, les eaux ou les sols. En effet, la dilution était alors considérée comme la meilleure solution aux problèmes de pollution. Une réflexion sur une « réforme de la chimie » s'est engagée. Le concept de « chimie verte » (green chemistry) a été développé aux États-Unis vers 1990 dans le but d'offrir un cadre à la prévention de la pollution liée aux activités chimiques (Colonna, 2006). « La chimie verte a pour but de concevoir des produits et des procédés chimiques permettant de réduire ou d'éliminer l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses ». Dans cette définition, le qualificatif « dangereuses » est pris au sens le plus large : le danger peut être physique (substance inflammable, explosive...), toxicologique (cancérogène, mutagène...) ou global (destruction de la couche d'ozone, changement climatique...).

Cette définition a été développée en douze principes par les chimistes américains Anastas et Warner, qui ont contribué à faire naître et à populariser ce concept.

Ces douze principes sont donc relatifs à l'industrie chimique. Mais dans l'enseignement de la chimie, peut-on appliquer et/ou inculquer certains de ces principes ? Nous plaçons non seulement pour une intégration de la chimie verte à l'enseignement de la chimie, mais aussi pour le développement d'un enseignement d'une chimie responsable, et cela passe par un enseignement scientifique citoyen faisant place à l'analyse des choix de société en matière de développement de la chimie.

4. Résultats et discussions

4.1. Analyse du pré-questionnaire

Les réponses (82) communes à toutes les disciplines sont les suivantes :

Q1-1) respect de l'environnement, gestion durable, développement économique, réduction des déchets, ressources-écologie.

Q1-2) déchets (tri, ramassage, recyclage) ; énergie (renouvelable et économie d'énergie) ; écologie ; produits bio ; protection de la nature.

On note une différence entre les réponses des enseignants et l'idée qu'ils se font des conceptions des élèves vis-à-vis du développement durable. Pourquoi une telle différence ? Nous pouvons formuler plusieurs hypothèses : les enseignants s'imaginent connaître d'expérience les sensibilités des élèves et/ou ils s'appuient pour cerner les représentations de leurs élèves sur les programmes d'enseignement.

Il y a une forte sensibilisation dès l'école primaire par rapport aux *déchets* qui se poursuit ensuite avec les actions d'agenda 21 dans les établissements. *L'énergie* est un concept développé dans plusieurs disciplines comme la physique, l'économie, la biologie. *L'écologie* fait partie des référentiels de l'enseignement agricole puisque notre enseignement de biologie est couplée avec l'écologie (et non avec la géologie comme à l'éducation nationale). Protection de la nature, produits bio sont présents dans l'enseignement des disciplines comme la zootechnie, l'agronomie, la biologie.

Q2) respect de la nature, protection de la nature, respect des écosystèmes, régulations des exploitations de ressources, qualité de l'eau. Nous formulons l'hypothèse que les réponses fournies sont en rapport avec le fait que le terme « environnement » est très médiatisé. De plus, nous n'avons pas trouvé de relation précise entre les réponses et les disciplines.

Q3) molécules extraites de plantes, biocarburants, agrocaburants, engrais vert (ortie, compost), remplacement de la chimie de synthèse.

Nous constatons que le terme « chimie verte » est souvent relié à la chimie issue de végétaux ce qui est une vision très restrictive du terme. De plus, on peut s'interroger si les termes agrocaburants et biocarburants sont utilisés à bon escient et s'il existe ou pas une différence entre ces termes dans l'esprit des enseignants qui ont répondu.

Q4) produits chimiques, protection de la nature (santé des plantes, des cultures) par traitement chimique, produits toxiques, surconsommation, Monsanto. Nous pouvons constater qu'un enseignant sur 82 (soit 1.2%) a mentionné le plan Ecophyto 2018 qui vise une réduction de 50% de l'usage des pesticides, ce qui interroge. Mais, 10% des enseignants parlent du respect de la réglementation.

Les différentes réponses des enseignants dans des disciplines d'enseignement général et technique, et quelle que soit leur ancienneté, nous ont permis d'avoir un aperçu des représentations des enseignants sur des notions médiatisées et intégrées dans les programmes de formation agricole (développement durable, environnement, phytosanitaire). Très peu d'enseignants associent phytosanitaire au contexte de l'après Grenelle de l'environnement qui a décidé le plan Ecophyto 2018. Le terme « chimie verte » ne fait pas partie de ces référentiels. Les enseignants s'appuient alors sur la sémantique du terme.

4.2. Analyse du questionnaire

Nous présenterons qu'un résultat concernant la chimie verte et le plan phyto-éco 2018.

A la question : Assimilez-vous la chimie verte aux termes suivants ?, les réponses sont répertoriées dans le tableau suivant :

		NR	oui	non
1	Agro-ressources	14%	65%	21%
3	Bio-plastiques	11%	80%	9%
4	Photosynthèse	13%	55%	32%
5	Compost	16%	52%	33%
6	Engrais vert	16%	52%	33%
7	Purin d'ortie	19%	43%	38%
8	Agriculture biologique	18%	38%	45%
9	Phytothérapie	18%	40%	42%
10	Utilisation solvant	17%	36%	48%
11	Limitation des entrants	19%	38%	43%
12	Fabrication de plantes génétiquement modifiables	20%	30%	50%
13	Utilisation d'herbicide non polluant	16%	60%	24%
14	Fabrication de colle à partir de plantes	13%	78%	10%
15	Fabrication de colorants à partir de plantes	13%	78%	9%
16	Réduction de produits toxiques dans la fabrication chimique	18%	51%	32%
17	Réduction de produits toxiques dans le traitement des plantes	18%	50%	32%
18	Extraction de molécules chimiques à partir de plantes	13%	52%	19%

La chimie verte est assimilée en priorité à bio-plastiques, colle et colorants à base de plantes. Viennent ensuite les agro-ressources, puis les herbicides et l'extraction de molécules à partir de plantes. Par contre, elle est peu associée aux OGM, à l'agriculture biologique, à la limitation d'entrants, aux solvants et à la phytothérapie. Nous constatons que les réponses formulées ont plutôt tendance à faire référence à la chimie en lien avec les plantes (par exemple bio-plastiques ou fabrication de colle à partir de plantes). Cependant des réponses comme solvant ne font pas partie du haut du classement alors qu'elles sont liées directement à l'industrie chimique et à la transformation de produits issus du pétrole: cela fait écho aux représentations sociales négatives de la chimie bien connues depuis longtemps (Davallon & François, 1991 ; Bensaude-Vincent, 2005). Nous pouvons faire le lien avec un article récent qui interroge les représentations que se font les chimistes de leur discipline, les représentations de la société sur la chimie et sur l'évolution nécessaire des modes de communication des chimistes.(Eastes, 2010). Pour Eastes, il faudra que les chimistes passent « d'une attitude défensive, positiviste et, il faut bien l'admettre, un peu condescendante parfois, à une démarche plus ouverte d'écoute et de respect des inquiétudes, des intérêts et des attentes de nos concitoyens, notamment à travers la compréhension des valeurs et des imaginaires qui les sous-tendent » p. 4. Au-delà de la promotion des produits issus de la chimie, des bienfaits proclamés à renfort de faits scientifiques, il va falloir discuter des valeurs. Chimistes et scientifiques ne peuvent plus se laver les mains (même à l'eau verte) des dérives possibles néfastes des applications de leur production. C'est la question de la gouvernance qui est posée, comme elle l'est, selon nous, pour toutes les questions socialement vives relatives à l'environnement. Il convient d'associer les citoyens aux prises de décision, aux choix de société.

A la question : Avez-vous entendu parler du plan Ecophyto ? 62% des enseignants répondent par l'affirmation. Dans le cas d'une réponse positive, ils devaient le définir et dire ce qu'ils en pensent. En général, nous notons que globalement la définition est correcte. Par contre, des avis sont mitigés quant à la réalisation du projet comme le montre la réponse suivante : « *belle idée. Sauf (restriction) qu'en lisant entre les lignes, il apparaît qu'il ne concerne pas tous les pesticides et que l'on se contentera de je cite « limiter l'impact de ceux qui resteront indispensables pour protéger les cultures des parasites, des mauvaises herbes et des maladies ». Comment limiter vraiment l'impact sans réduire l'utilisation ? 10 ans seront-ils suffisants pour obtenir des résultats quand on sait que l'agriculture raisonnée dont on parle depuis plus de 15 ans et malgré les incitations et les aides n'est pas encore rentrée dans toutes les exploitations ?* ».

Ils jugent positivement le plan Ecophyto 2018, mais leurs argumentations sont souvent complexes marquées par des restrictions et des conditions. Ils font preuve de scepticisme quant à l'application du plan et ils dénoncent ses limites. Les modalités sont déontiques et appréciatives. Ils ont largement recours au registre prescriptif.

L'analyse des questions ouvertes relatives au plan Ecophyto 2018. Les enseignants qui ont donné leur avis expriment majoritairement une rationalité critique.

5. Conclusion

Cette première analyse, qui demande à être complétée, nous conforte dans l'idée que la chimie verte c'est « tout ce qui est produit par transformation chimique en utilisant des plantes » et la chimie verte est aussi associée au durable, même s'il est question d'une expression du capitalisme *vert*. Nous pensons qu'il convient d'approfondir les représentations des enseignants sur la chimie verte pour voir si leurs rationalités environnementale, économique, technoscientifique peuvent être des freins ou des obstacles à l'évolution de leur enseignement, dans la prise en compte des principes de la chimie verte, mais aussi plus globalement, vers l'enseignement d'une chimie plus *responsable*, appréhendée dans ses dimensions vives.

Bibliographie

- Bensaude-Vincent, B. (2005). *Faut-il avoir peur de la chimie ?* Ed les empêcheurs de penser en rond.
- Beck, U. (1986). *La société du risque, sur la voie d'une autre modernité*. Paris: Flammarion, traduction française 2001, (édition 2008).
- Bronckart, J-P (1996). *Activités langagières, textes et discours. Pour un interactionnisme sociodiscursif*. Lausanne-Paris : Delachaux et Niestlé.
- Colonna, P. (2006). *La chimie verte*. Ed Tec & Doc, Lavoisier.
- Carr, W. & Kemmis, S. (1986). *Becoming critical*. London : The Falmer Press.
- Davallon, J. & François, E. (1991). *Étude en vue de l'élaboration d'un Cahier de programmation muséale*, vol. 2, *Étude détaillée des représentations de la chimie*. Rapport d'étude. Lyon/Saint-Fons: LARMURAL/Ville de Saint-Fons.
- Douglas, M. (1992). *Risk and blame : Essays in Cultural Theory*. London: Éd. Routledge.
- Eames, C., Cowie, B., & Bolstad, R. (2008). An evaluation of characteristics of environmental education practice in New Zealand schools. *Environmental Education Research*, 14(1), 35-51.
- Eastes, R.E. (2010). La chimie durable : verte et responsable. *L'Actualité chimique*, 342-343.
- Gough, S. (2002). Increasing the value of the environment : A 'real options' metaphor for learning. *Environmental Education Research*, 8(1), 61-72.
- Hart, P. & Nolan, K. (1999). A critical analysis of research in environmental education. *Studies in Science Education*, 34, 1-69.

Ducamp C. & Simonneaux L.

Scott, A. (2001). Technological risk, scientific advice and public' education : Groping for an adequate language in the case of GM foods. *Environmental Education Research*, 7(2), 129-139.

Simonneaux, L. Rationalités d'enseignants en productions animales sur des questions socialement vives en élevage. Accepté *Revue de Didactique des Sciences et Techniques*.

Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge : Cambridge University Press.

Cohérence discursive du savoir enseigné : cas où l'enseignant utilise un dispositif TICE

**Suzane EL Hage, UMR ICAR, CNRS, Univ. Lyon 2, Ens de Lyon – Ifé ;
suzan_hj@hotmail.com**

**Christian Buty, Univ. Lyon 2, Ens de Lyon, Univ. de Saint-Etienne, EA CEP ;
christian.buty@univ-lyon2.fr**

&

**Zeynab Badreddine, UMR ICAR, CNRS, Univ. Lyon 2, Ens de Lyon – Ifé ;
zeynab_badreddine@yahoo.fr**

Mots clés : Cohérence, analyse discursive, TICE, physique, Terminale scientifique

Résumé : Cette communication présente une étude de cas sur les liens cohésifs établis par un enseignant lors du débriefing d'une activité de Travaux Pratiques. Cette activité appartient à une séquence d'enseignement d'électricité du programme de Terminale Scientifique. Nous utilisons des éléments théoriques empruntés aux travaux sur l'analyse du discours en classe de sciences, notamment la notion d'épisode (Mortimer et al, 2007) et les catégories d'articulation développées par Badreddine (2009). La méthodologie utilisée consiste en un découpage en épisodes de l'extrait étudié, à l'aide d'un logiciel d'indexation des données audiographiques et vidéographiques (Transana). L'étude montre la richesse du débriefing en actions d'articulation ainsi que le rôle des élèves (par leurs questions) dans la construction de l'articulation dans le discours de l'enseignant.

1. Introduction

Ce travail fait partie d'une ligne de recherche sur la cohérence des discours didactiques et son influence sur les apprentissages (voir Badreddine & Buty, 2009 ; 2011). Un moyen langagier, d'usage fréquent chez les enseignants expérimentés, d'assurer cette cohérence, est d'établir des liens cohésifs entre le moment présent et des moments antérieurs ou ultérieurs de la séquence d'enseignement. On peut raisonnablement faire l'hypothèse que les enseignants de science, ici de physique, disposent de procédures spécifiques pour effectuer ces articulations discursives.

De plus, lorsqu'ils utilisent des technologies de l'information et de la communication dans leur enseignement, cette pratique peut influencer les éventuelles articulations, tant pour leur fréquence que pour leurs caractéristiques. El Hage et ses coauteurs (2010) ont présenté une étude de cas portant sur l'utilisation d'une simulation en optique en collège ; le cas présenté ici porte sur un logiciel d'acquisition et de modélisation de données numériques, dans un autre domaine et à un autre niveau scolaire ; les méthodes d'analyse utilisées sont également différentes.

2. Cadre théorique

Pour étudier la cohérence discursive de l'enseignant, nous nous repons principalement sur deux éléments théoriques : les outils de caractérisation de la cohérence du discours d'une part, et les échelles temporelles d'analyse du discours en classe et les moyens de le découper d'autre part. Nous donnerons également quelques éléments sur l'utilisation des technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement des sciences.

2.1. Caractéristiques de la cohérence du discours

Les notions de cohérence et de cohésion relèvent de la linguistique textuelle et ont été définies dans ce contexte par Halliday & Hasan (1976). Dans cette optique, d'une part la *cohésion* est liée au texte et à son organisation interne, c'est-à-dire aux règles grammaticales qui visent à la bonne présentation et à la forme adéquate du texte ; d'autre part la *cohérence* est liée au discours, c'est-à-dire au contexte institutionnel donc situationnel, et met en relief l'aspect pragmatique du texte.

Dans le langage commun, référencé par exemple par le Trésor Informatisé de la Langue Française (<http://atilf.atilf.fr/>, consulté le 26 septembre 2011), la *cohérence* apparaît essentiellement, au sens figuré, comme un **état** de non-contradiction, d'harmonie, entre des éléments d'un tout, d'un discours en ce qui nous concerne. La *cohésion* apparaît comme **ce qui provoque** la cohérence : on parle par exemple de « force de cohésion ». Nous définirons donc la cohésion comme l'ensemble des mécanismes langagiers qui contribuent à créer la cohérence d'un texte, compte tenu du contexte social qui lui donne sens (Martin, 2003). C'est dans l'expression « liens cohésifs » que cette signification se déploie le plus clairement ; ce sont les liens qui exercent la cohésion.

Badreddine (2009, pages 98-109) a proposé une typologie d'articulations discursives portant sur le contenu de l'enseignement en classe. Elle a décrit six catégories d'articulations, qui peuvent être considérées comme autant de moyens pour assurer la cohésion des contenus enseignés:

- remettre : l'enseignant reporte sa réponse à une séance ou un moment ultérieur. En général cette action d'articulation n'est pas prévue dans la progression de l'enseignant,
- annoncer : l'enseignant signale qu'il abordera ultérieurement un sujet, parfois à la suite d'une demande des élèves. Le contenu annoncé est souvent prévu dans la progression de l'enseignant,
- avancer : l'enseignant décide d'avancer immédiatement sur un contenu prévu ultérieurement dans sa préparation,
- appeler : l'enseignant fait référence à un épisode déjà passé, que ce soit une situation déjà vécue dans la classe (appel de situation) ou une notion déjà enseignée (appel de notion). Nous pouvons distinguer deux niveaux d'appel, l'appel de degré fort et l'appel de degré faible.
- rappeler : l'enseignant fait une synthèse de ce qui a été présenté dans une séance passée, ou demande aux élèves de faire cette synthèse.
- reprendre : l'enseignant décide de continuer et poursuivre un contenu en cours de présentation dans la séance ou dans une séance antérieure après l'avoir mis en attente.

2.3. Les échelles d'analyse et la procédure du découpage du discours

Le discours de la classe peut être organisé selon trois échelles de temps (Tiberghien & Buty, 2007) :

- l'échelle macroscopique analyse le savoir à un niveau de granularité élevé, celui de la séquence. Elle correspond au temps académique (Mercier et al, 2005), qui s'étend sur plusieurs semaines. Les subdivisions pertinentes sont principalement dans notre contexte les séances de cours ou de Travaux Pratiques.
- l'échelle mésoscopique analyse le savoir à un niveau de granularité moyen, inférieur à une séance de cours. Elle correspond au temps didactique (idem). Les subdivisions principales sont les thèmes ou les phases didactiques ; leurs durées sont de l'ordre de la dizaine de minutes.
- l'échelle microscopique caractérise « les énoncés et les gestes des personnes ». Elle correspond au temps interactionnel (Badreddine & Buty, 2011). Elle représente un niveau fin de granularité, de l'ordre de la minute et de la seconde.

Les notions de *zoom in* et *zoom out* introduites par Lemke (2001) permettent de décrire le rapport entre les différentes échelles d'analyse. Lemke considère que le passage d'une échelle d'analyse plus grande à une échelle d'analyse plus petite (le *zoom-in*) est une opération « simple ». Par contre, l'opération inverse (le *zoom out*) est selon lui plus complexe et nécessite le recours à une technologie spécifique, permettant de construire des événements à l'échelle supérieure à partir de l'échelle inférieure. Badreddine & Buty (2011) ont proposé une telle technologie, qui consiste à découper le discours en unités de sens à l'échelle microscopique, les épisodes, ensuite à relier entre eux les épisodes pertinents, afin de reconstituer des éléments de cohérence à l'échelle mésoscopique ou à l'échelle macroscopique.

2.4. Les Technologies de l'Information et de Communication dans l'Enseignement (TICE)

Les logiciels éducatifs sont nombreux et divers. Plusieurs auteurs ont effectué des classifications de ces logiciels selon différents aspects (par exemple, Bruillard 1997, De Vries 2001, Pinto & al. 2010). Nous présentons brièvement dans ce qui suit deux classifications.

De Vries (2001) a élaboré une typologie des logiciels éducatifs basée sur l'attribution de huit fonctions pédagogiques remplies par des dispositifs d'apprentissage assisté par ordinateur. Elle propose une caractérisation sous trois aspects: les tâches proposées aux élèves, le point de vue théorique sous-jacent à la conception des logiciels, et la manière dont sont traitées les connaissances. Les différents types de logiciels sont les suivants : tutoriel, exercices répétés, tuteur intelligent, jeu éducatif, hypermédia, simulation, micro-monde et apprentissage collaboratif.

Pinto et ses collègues (2010) distinguent pour leur part sept types de logiciels couramment utilisés dans les classes de sciences : « software that allows teachers to design interactive tasks », « software to represent and organize knowledge », « software to visualize systems and phenomena (computer animations) », « software to visualize and interact with systems and phenomena (computer simulations, virtual laboratories) », « computational modelling tools », « Video-Based Laboratory » et « data-logging systems and Microcomputer-Based Laboratory ».

Il y a lieu de penser que la plupart des recherches portant sur les TICE envisagent des situations limitées dans le temps, et non les effets à l'échelle de la séquence d'enseignement.

Par exemple, dans une méta-analyse portant sur 37 études, Hogarth et ses co-auteurs (2006), qui se focalisent pourtant sur les effets de l'emploi des TICE sur les apprentissages scientifiques réalisés par les étudiants, ne mentionnent pas cet aspect de la question.

3. Problématique

Nous faisons l'hypothèse que les articulations discursives sont favorisées quand l'enseignant institutionnalise le savoir en jeu en utilisant la forme pédagogique du débriefing. Ce dernier est caractérisé par le fait que l'enseignant reprend la responsabilité de la manipulation du savoir, en passant en revue une activité expérimentale réalisée par les élèves dans une phase antérieure. Cette mise en relation de deux moments différents de la séquence d'enseignement doit respecter simultanément deux conditions : les connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage dans l'activité doivent se retrouver dans le débriefing, de même que le contexte dans lequel l'activité a été conçue pour la mise en œuvre de ces connaissances (Khanfour-Armalé, 2008, page 96).

Lors d'un débriefing l'enseignant peut ou non utiliser des logiciels. Nous adoptons le point de vue de Osborne & Hennessy (2003, « ICTs as teaching resources are not considered a benefit in themselves ») : l'utilisation des TICE par elle-même ne constitue pas un gain pour l'apprentissage, c'est le discours qui l'accompagne, les interactions qui se dérouleront dans la classe, ainsi que l'approche pédagogique choisie par l'enseignant qui lui donneront son importance. Un volet important de cette utilisation est à notre sens la cohérence que l'enseignant parvient ou non à installer entre son emploi des TICE dans le débriefing, l'emploi que les élèves en ont fait lors des activités expérimentales, et aussi le reste de la séquence. Nous avons dit plus haut, faisant écho aux remarques de Hogarth et de ses co-auteurs, que les recherches se limitaient souvent à des durées courtes ; mais dans l'enseignement, on peut également estimer que l'utilisation de l'ordinateur se limite à une plage restreinte de la séquence d'enseignement, quelque peu exotique et faiblement reliée au reste des activités.

Les questions qui découlent de ces considérations sont : comment l'utilisation d'un dispositif TICE par un enseignant lors du débriefing d'une activité permet-il de construire des liens cohésifs entre les savoirs enseignés à différentes échelles ? Peut-on discerner un type de catégorie d'articulation favorisé dans cette activité ? En quoi, le mode d'utilisation du logiciel influence-t-il ces processus d'articulation ?

4. Méthodologie

Nous présentons dans ce qui suit notre méthode de collecte des données ainsi que notre méthode de traitement des données.

4.1. Choix de l'extrait analysé

La séquence d'électricité observée en Terminale scientifique est constituée de trois grandes parties : dipôle RC, dipôle RL et dipôle RLC. Nous avons choisi d'analyser le débriefing d'une activité située au milieu de la séquence, le premier débriefing du dipôle RL ; puisque les séances antérieures aussi bien que celles qui restent à venir sont assez consistantes, on augmente en faisant ce choix la possibilité de voir se produire des processus d'articulations

dans le discours de l'enseignant, vers le passé comme vers l'avenir. La durée de l'extrait est de 25 minutes.

4.2. Méthode de prise de données

Le déroulement de la séquence d'électricité a été enregistré en vidéo dans sa totalité. En ce qui concerne l'extrait étudié (le débriefing), une caméra enregistre l'activité de l'enseignant, intervenant au tableau en classe entière, et permet de suivre son interaction avec les élèves. La caméra, située au fond de la salle, a été manipulée pour suivre l'enseignant quand il se déplaçait ; le zoom a été utilisé lorsqu'il écrivait au tableau.

L'enseignant a par ailleurs accepté de participer à un entretien d'auto-confrontation après la fin de la séquence, où il a visionné et commenté l'extrait étudié ici (le débriefing tel qu'il l'avait réalisé).

4.3. Méthode de traitement des données

a- Découpage en épisodes

Nous avons effectué un découpage en épisodes du débriefing, en suivant les marqueurs définis par Mortimer et al. (2007). Ces auteurs se basent sur des indicateurs verbaux et non verbaux pour déterminer le début et la fin d'un épisode. Les indices non verbaux incluent des changements proxémiques (en relation avec l'orientation des participants : changement de position...) et kinésiques (en rapport avec les gestes et les mouvements du corps) ; les indices verbaux prennent en compte le changement d'intonation, le contenu ou le thème, les pauses, le genre du discours...

b- Codage des épisodes par mots clés

Nous avons choisi deux catégories de mots clés : des mots clés indiquant les catégories d'articulation et des mots clés relatifs à l'usage du dispositif TICE (modélisation, acquisition).

- Le codage des épisodes selon les catégories discursives se fait par cinq catégories d'articulation parmi six. Nous avons écarté la catégorie du rappel. En effet, le débriefing est par excellence un rappel, même si l'enseignant introduit parfois des éléments nouveaux. C'est d'ailleurs une pratique courante de l'enseignant observé : « *depuis quelques années je répète aux élèves que quand je vais corriger des activités ou des exercices, je leur dis parfois débrieffier des activités, eh ben je vais plus loin de ce que j'aurai à faire et de ce qui est demandé. Donc, il y a des trucs à faire en plus des réponses qui étaient attendues et c'est typique* » (extrait de l'entretien d'auto-confrontation).
- Le codage des épisodes par des mots clés prenant en considération l'utilisation du dispositif TICE sont de deux sortes : TICE-modélisation et TICE-acquisition. Dans la catégorie TICE-acquisition, nous avons utilisé les mots clés suivants : réaliser une expérience, afficher des points expérimentaux. Pour la catégorie TICE-modélisation, nous avons utilisé les mots clés dépendant du logiciel Regressi dont se sert l'enseignant ; ce sont aussi forcément les termes utilisés par les acteurs dans le discours. On trouve dans cette catégorie les mots clés : varier les paramètres pour un modèle, écrire des expressions mathématiques et modéliser. Ce dernier est utilisé dans le sens du choix d'un modèle prédéfini parmi une liste ; c'est un sens légèrement différent de celui que prend classiquement le terme « modélisation » (la mise en relation du monde des objets et des événements avec le monde des théories et des modèles pour reprendre la terminologie de Tiberghien, 1994).

Tous les épisodes découpés dans le discours ne sont pas forcément codés par ces mots-clefs.

Pour réaliser ces opérations analytiques, nous avons utilisé le logiciel Transana³³. Grâce à ses fonctionnalités d'indexation, les épisodes sont matérialisés par des clips du logiciel, auxquels les mots clefs peuvent être attribués. Une fois cette affectation réalisée, le logiciel permet de réaliser diverses opérations de recherche.

5. Contexte de l'étude

Dans ce qui suit, nous décrivons brièvement ce qu'il était demandé aux élèves de faire dans le TP précédent d'une part, et le dispositif TICE utilisé par l'enseignant ainsi que les grandes lignes du contenu du débriefing d'autre part.

L'activité 3 réalisée au cours du TP s'intitule « modélisation numérique de l'intensité en fonction du temps, $i(t)$; détermination expérimentale de l'inductance (L) ». Les tâches prescrites aux élèves sont des activités de mesure et des activités de traitement :

- Les activités de mesure consistent à : réaliser un montage RL, réaliser l'acquisition de la tension aux bornes du conducteur ohmique après la fermeture de l'interrupteur, en utilisant le logiciel Mesure Electrique.
- Les activités de traitement consistent à : exporter les données dans le logiciel Regressi, créer une nouvelle variable i à partir de la tension acquise u_1 .

Le but est de tracer i en fonction du temps pour modéliser numériquement cette courbe et relever l'expression mathématique donnant l'intensité en fonction du temps ; on cherche alors à déterminer les deux paramètres (calculés par l'ordinateur) dont dépend cette expression : l'asymptote et la constante de temps.

Lors du TP, l'enseignant a ajouté oralement une tâche supplémentaire pour les élèves qui avaient fini avant les autres : changer la valeur de L en enfonçant plus ou moins le noyau de fer doux dans la bobine, et comparer l'allure des deux courbes obtenues.

Pour résumer, dans cet usage du dispositif TICE en TP, l'enseignant et les élèves ont suivi la démarche classique (Durey & Beaufils, 1998), en trois étapes, lors de l'utilisation d'un logiciel d'acquisition : l'acquisition automatique de mesures, la représentation, enfin la modélisation mathématique.

Dans la salle de cours (lors du débriefing de l'activité du TP), l'enseignant a utilisé un dispositif TICE constitué de : un logiciel (Regressi), un vidéo-projecteur et un ordinateur.

L'enseignant a projeté deux courbes superposées (fig. 1). Il s'agit de deux acquisitions de la tension en fonction du temps pour un même circuit RL, qu'il avait réalisées avant la séance, et qu'il avait enregistrées dans Regressi. La seule différence entre ces 2 acquisitions est la variation de la valeur de l'inductance de la bobine (l'enseignant a réalisé la deuxième expérience en enfonçant plus le noyau de fer doux dans la bobine).

³³ www.transana.org

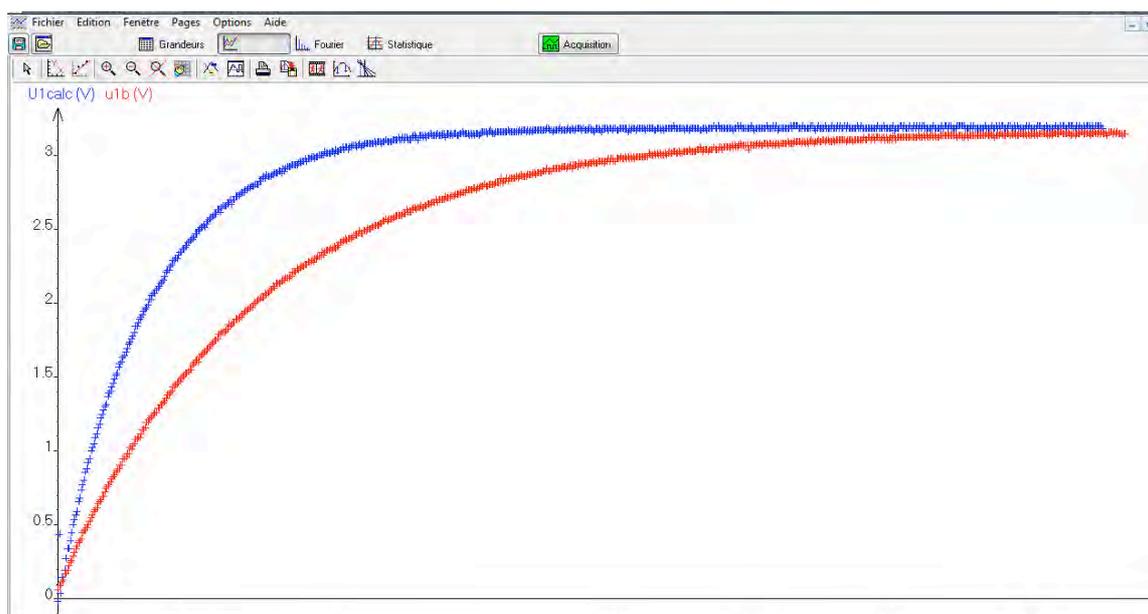


Figure 1. Représentation graphique de la tension en fonction du temps pour un dipôle RL, avec deux valeurs de l'inductance.

Après la projection des 2 courbes déjà enregistrées, l'enseignant a introduit une nouvelle variable (i) sur Regressi. Il a fait calculer et tracer i en fonction du temps (il a écrit l'expression de $i = f(t)$; il a modélisé la courbe, il a ajusté la courbe, etc.).

Si on se reporte aux classifications des logiciels dont nous avons parlé dans le cadre théorique, le logiciel utilisé est un logiciel de modélisation des données après acquisition ; on peut le classer dans la catégorie « Data-logging systems and Microcomputer-Based Laboratory » d'après la classification de Pinto (2010). Il est principalement utilisé ici pour comparer des résultats de mesures avec un modèle théorique, où s'appliquent les lois de l'électricité en régime variable.

En ce qui concerne les fonctions pédagogiques que ce dispositif TICE peut jouer, sans doute faut-il distinguer la situation d'utilisation en TP par les élèves, et ce qui se joue quand l'enseignant fait en classe entière le débriefing de cette situation de TP. Quand les élèves manipulent le logiciel, il leur fournit un « environnement pour la découverte de lois naturelles », pour reprendre une des catégories de de Vries (2001). Cependant, alors que de Vries n'envisageait que les simulations pour remplir cette fonction pédagogique, nous avons affaire à un système d'acquisition de données et de comparaison à un modèle. Il est intéressant de noter que l'auteur relie cette fonction avec un point de vue sur l'apprentissage relevant à la fois du constructivisme et de la cognition située, au motif qu'il s'agit de « promouvoir des activités authentiques dans des situations ressemblant à la réalité ». Lorsque l'enseignant utilise pour faire le débriefing les mêmes outils de la même façon que ceux que les élèves ont utilisés en TP, on peut en effet considérer qu'on est proche de cette préoccupation. Nous y reviendrons dans la partie consacrée aux résultats.

6. Résultats et discussion

Sur les 25 minutes du débriefing analysé (de 50 :00 à 1 :14 :47), le découpage en épisodes (une cinquantaine d'épisodes ont été déterminés) et l'affectation des mots clés aux épisodes produit le rapport ci-dessous (fig. 2).

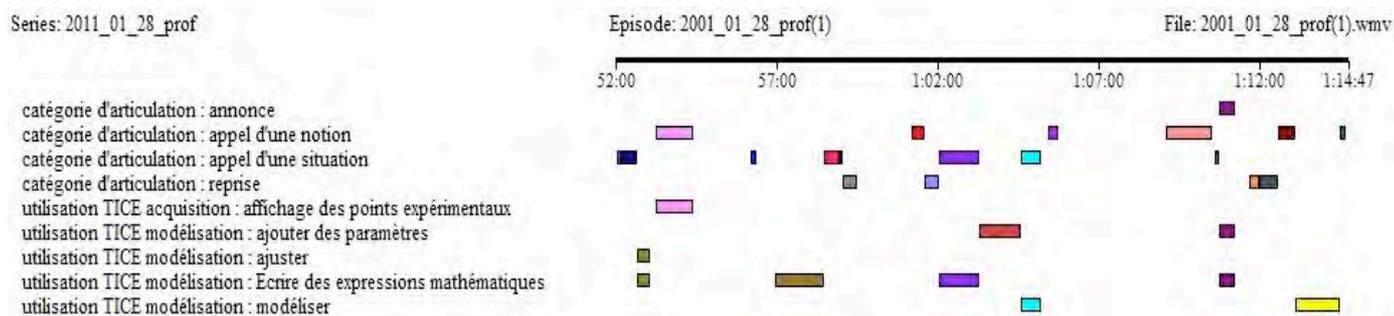


Figure 2. Rapport de codage du débriefing de l'activité RL

Dans cette représentation matricielle, un épisode est marqué (dans une couleur arbitraire) s'il est affecté du mot clef qui se trouve sur la même ligne. Sa coordonnée horizontale est la date de son apparition dans la séance.

Nous pouvons faire quelques remarques sur ces résultats.

- Trois catégories d'articulation sont utilisées avec des occurrences variées. Les plus fréquentes sont les appels (rappelons que l'appel de notion et l'appel de situation appartiennent à la même catégorie d'articulation). L'appel de situation a une occurrence de 7 fois (dont deux épisodes consécutifs) et a « duré » 3 minutes 20 secondes alors que l'appel des notions a une occurrence de 6 fois et a duré 4 minutes. Le degré de ces appels n'est pas du même niveau. Généralement, les appels des notions sont de degré fort alors que les appels de situations sont de degré faible.
- Nous pouvons remarquer que quand l'enseignant fait des appels, il fait successivement des appels des notions et des appels des situations ou vis versa (ce qui signifie que nous trouvons des appels par groupes de deux ou trois). Ces appels des notions et des situations permettent d'assurer l'articulation au niveau de la séquence, au niveau macroscopique, alors que les reprises sont des articulations au niveau microscopique.
- La durée totale des épisodes contenant des catégories d'articulation est de 9 minutes 50 secondes, soit environ les 2/5 du temps total du débriefing, ce qui justifie assez bien a posteriori le choix d'une activité de débriefing pour mener cette étude. La visualisation de la vidéo permet de voir que les élèves jouent un rôle dans l'apparition de ces articulations : une reprise ainsi que 4 appels sont provoqués par une question d'élève. Rappelons qu'il n'est pas obligatoire que chaque épisode soit codé par des catégories d'articulations.
- Dans ce débriefing, les catégories d'articulations sont mobilisées lors de l'utilisation du logiciel dans le mode du traitement des données et de la modélisation. Ce résultat est normal car l'enseignant n'a pas réalisé une acquisition devant les élèves. La démarche générale est traduite par une présentation des résultats des courbes obtenues, puis par une modélisation.

Par ailleurs, comme nous l'avons dit précédemment, l'utilisation du dispositif TICE pour faire ce débriefing est un facteur de cohésion dans la séquence, par le simple fait que l'enseignant utilise les mêmes outils pour faire la même chose que ce qui est demandé aux élèves à de nombreuses reprises dans ladite séquence. L'enseignant a ainsi pu illustrer successivement et dans l'ordre les étapes à suivre sur Regressi pour pouvoir tracer et modéliser une courbe en fonction du temps, dans une procédure très normée : introduire l'expression dans Regressi, effectuer des mises à jour régulières, ajuster la courbe obtenue après l'avoir modélisée, prendre ensuite les valeurs figurant sur la partie gauche de l'écran.

Cette démarche a été déjà expliquée aux élèves (identique mais mettant en jeu d'autres variables) dans des séances antérieures de la séquence ; par contre elle n'a pas toujours été répétée à l'identique dans des séances suivantes, par exemple lorsque l'enseignant a projeté l'allure des courbes sous un format Powerpoint (lorsqu'il n'avait pas, pour des raisons contingentes, la possibilité de manipuler le logiciel Regressi).

Que l'enseignant ait pu utiliser le même outil que les élèves lors d'un débriefing, donc lors d'une phase nécessairement plus courte que le TP dont il fait le bilan, tient aux propriétés de ce dispositif TICE, en particulier à la rapidité d'exécution que procure l'ordinateur.

Au titre des limites de cette méthodologie, nous pouvons mentionner un moment de ce débriefing où l'enseignant a répondu à une question qui lui avait été posée lors de la séance précédente, sans qu'aucun marqueur langagier ne l'ait exprimé. Sans l'entretien d'auto-confrontation, nous n'aurions probablement pas mis en évidence cette cohérence « cachée ».

7. Conclusion et perspectives de la recherche

Cette analyse, basée sur une méthodologie semi-quantitative, a montré que le moment de débriefing étudié était riche en liens cohésifs avec d'autres parties de la séquence. Nous avons pu également constater que certains modes d'utilisation de l'outil TICE étaient particulièrement favorables à l'établissement de ces liens cohésifs, notamment l'usage de la fonction « modélisation » du logiciel. Un troisième résultat établi porte sur le rôle des élèves dans l'apparition des liens cohésifs dans le discours de l'enseignant.

Ces résultats sont conformes à ce qu'on pouvait attendre. Cela ne veut pas dire pour autant qu'ils soient triviaux. Par exemple, nous pourrions nous demander si on observe la même densité d'appels lors de débriefings faits par d'autres enseignants, ou de débriefings ne faisant pas intervenir les TICE. Ce travail est pour l'instant limité au repérage des liens cohésifs dans le débriefing analysé, mais la même méthodologie est en train d'être étendue à la totalité de la séquence. Par ailleurs, pour étudier qualitativement la cohérence qu'ils installent, nous devons nous reporter aux moments de la séquence qui sont pointés par les liens cohésifs.

La multiplication d'études de cas de ce type, en faisant varier les conditions (enseignant, type d'activité...) peut servir de base à des propositions de formation des enseignants d'une part, à l'ouverture de recherches sur les effets de la densité de liens cohésifs sur la compréhension et l'apprentissage des élèves d'autre part.

Remerciements

Nous remercions l'enseignant qui a accepté d'être filmé.

Nous remercions également l'Association Française des Femmes Diplômées des Universités (AFFDU) pour leur soutien.

Bibliographie

Badreddine, Z. (2009). *Etude des décisions chronogénétiques des enseignants dans l'enseignement de la physique au collège*. Unpublished Thesis, Université Lyon II, Lyon.

- Badreddine Z. & Buty C. (2009). Étude de la cohérence discursive du savoir enseigné; cas du court-circuit en cinquième. *Communication à l'ARDIST 2009*, Nantes, actes sur CD ROM et en ligne.
- Badreddine Z. & Buty C. (2011). Discursive reconstruction of the scientific story in a teaching sequence. *International Journal of Science Education*, 33(6), 773-796.
- El Hage S., Becu-Robinault K. & Buty C. (2010). Consistency of an optics lesson including ICT at grade 8. *Actes de la conférence CBLIS*, Varsovie, 165-175.
- Bruillard, E. (1997). *Les machines à enseigner*. Paris: Hermès.
- De Vries, E. (2001). Les logiciels d'apprentissage : panoplie ou éventail ? *Revue Française de Pédagogie* (137), 105-116.
- Durey, A. & Beaufils D. (1998). L'ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques : questions de didactique. *Acte de la 8èmes Journées Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques – Montpellier*. <http://www.inrp.fr/Tecne/Rencontre/Jipsp8/Pdf/Durey2.pdf> (consulté le 28 novembre 2011).
- Halliday, M.A.K. & Hasan, R. (1976). *Cohesion in English*. London: Longman.
- Hogarth S., Bennett J., Lubben F., Campbell B., Robinson A. (2006). *ICT in science teaching, the effect of ICT teaching activities in sciences lessons on students' understanding of science ideas*. <http://eppi.ioe.ac.uk/cms/LinkClick.aspx?fileticket=pGZPQL4IPG8%3d&tabid=945&mid=2149> (consulté le 1 novembre 2011).
- Khanfour Armalé, R. (2008). *Structuration par le professeur des connaissances construites par des élèves ayant travaillé en autonomie lors d'une activité expérimentale de chimie*. Unpublished Thesis, Université Lumière Lyon II : Lyon.
- Lemke, J.L. (2001). The long and the short of it: Comments on multiple timescale studies of human activity. *Journal of the Learning Sciences*, 10 (1-2), 17-26.
- Mercier, Schubauer-Leoni, M. L., Donck, E., & Amigues, R. (2005). The intention to teach and school learning: The role of time. In A. N. Perret-Clermont (Ed.), *Thinking time: A multidisciplinary perspective on time*. USA/Canada/Switzerland: Hogrefe & Huber, 141–154.
- Martin, J. R. (2003). Cohesion and texture. In D. Schiffrin, D. Tannen & H. E. Hamilton (Eds.), *The Handbook of Discourse Analysis* (pp. 35-53). Oxford: Blackwell.
- Mortimer, E. F., Massicame, T., Tiberghien, A. & Buty, C. (2007). “Uma metodologia para caracterizar os gêneros de discurso como tipos de estratégias enunciativas nas aulas de ciências”. In R. Nardi (Org.). *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil: alguns recortes*. 1 ed., São Paulo: Escrituras, 53-94.
- Osborne, J. & Hennessy, S. (2003). *Literature Review in Science Education and the Role of ICT. Promise, Problems and Future Directions*. <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/19/04/41/PDF/osborne-j-2003-r6.pdf> (Consulté le 22 novembre 2011)
- Pinto, R., Cousa, D., & Hernandez, M. I. (2010). An inquiry-oriented approach for making the best use of ICT in the classroom. *eLearning Papers*(20), 1-13
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4, 71-87.
- Tiberghien, A. & Buty, C. (2007). Studying science teaching practices in relation to learning. Times scales of teaching phenomena. In R. Pintó & D. Couso (Eds.), *ESERA Selected Contributions Book*. Berlin: Springer, 59-75.

La liaison invariant(s) – concept comme stratégie didactique : le cas en Sciences physiques du concept d'élément chimique au lycée.

Pierre Fleury, Univ. Bordeaux IV, IUFM d'Aquitaine ; Univ. Bordeaux Ségalen, Laboratoire de Sciences cognitives, EA 487; fleurypierre@wanadoo.fr

Mots-clés : Concept – Élément chimique – Filiations cognitives – Invariant(s) – Représentations

Résumé : Vergnaud (1985) propose une structure de type (S,I,S) laquelle sous-tend que la construction d'un concept scientifique est accompagnée entre autres de l'émergence d'un système d'invariant(s) lié au concept. Nous proposons ici d'observer si, en sciences physiques, sur l'exemple du concept d'élément chimique – au sein d'une classe de seconde générale du lycée –, l'élaboration de l'invariant, dans le cadre d'une structure (S,I,S), est, sinon la condition de celle du concept, susceptible de le rendre plus lisible. Une catégorisation³⁴ des niveaux de construction de l'invariant et du concept est proposée. Les deux niveaux atteints par chaque élève sont mis en regard de l'ensemble des représentations des sujets au cours du protocole expérimental, afin de déterminer dans quelle mesure, les filiations cognitives³⁵ pourraient influencer la qualité de la liaison invariant-concept.

1. Introduction

Après avoir revisité le cadre théorique du concept d'élément chimique, nous décrirons, le contexte expérimental utilisé, les méthodes analytiques choisies, les résultats obtenus.

2. Le cadre théorique

2.1. Définir et caractériser le concept d'élément chimique

Interroger le cadrage théorique de l'élément chimique est une nécessité. En effet, la lecture des nouveaux programmes de seconde générale³⁶ d'une part, ainsi que les propositions éditoriales via les manuels scolaires destinés aux élèves révèlent une réelle difficulté à aborder ce concept. Dès la programmation de ce concept au collège (en 5^e) à la fin des années 70, sont apparues des confusions importantes entre ce qui relève de la définition du concept et ce qui

³⁴ Cette proposition innovante de catégorisation est en débat et pourrait être réinvestie pour d'autres concepts

³⁵ L'idée de filiations cognitives est un apport théorique nouveau susceptible de renseigner sur les cheminements cognitifs individuels des élèves – elles doivent apporter des éclairages sur la liaison sciences et langages.

³⁶ BO spécial n°4 du 29 avril 2010.

est du domaine de sa caractérisation. Martinand (1986) nous éclaire à ce sujet en posant comme préalable qu'un élément chimique se définit à travers les transactions électroniques lors des transformations chimiques. Il ne saurait donc être question d'avoir recours à la structure de la matière (nombre de protons) pour définir le concept. Pour autant s'intéresser au noyau informe sur la caractérisation du concept et lui donne une autre lisibilité.

Cela étant posé, force est de constater qu'il persiste au mieux une ambiguïté entre **définir** et **caractériser** le concept d'élément chimique. Ce piège peut être entre autres révélé par l'utilisation à mauvais escient qui est faite des deux verbes précédents (caractériser à la place de définir). Les approches « chimiques » et « structurales » sont complémentaires voire indispensables pour prétendre « tenir » le concept d'élément chimique. Toutefois la première relève de la définition du concept quand la seconde aborde sa caractérisation. Alors que le concept d'élément chimique « appartient » aux domaines des électrons, il se trouve très souvent « propulsé » vers celui des protons et de la physique nucléaire !!

Les divers travaux en formation des maîtres³⁷ avec des enseignants de lycées et collèges témoignent de ce transit intellectuel qui s'observe de fait dans les cahiers des élèves.

Si les obstacles³⁸ liés à l'apprentissage de ce concept sont nombreux, il reste digne d'intérêt de s'intéresser aux conditions didactiques susceptibles de le rendre plus lisible : confronter ce concept à son invariant *par transformation*. Nous retiendrons donc, s'agissant de la définition et de la caractérisation de ce concept les formulations suivantes :

Définition : « L'élément chimique est ce qui se conserve lors d'une transformation chimique »

Caractérisation : « Ensemble des espèces chimiques ayant le même numéro atomique (Z) ou nombre de protons »

2.2. Les deux approches de VERGNAUD

1- Vergnaud dès (1985)³⁹ engage une réflexion sur la lisibilité des concepts. Il propose pour le concept une structure de type **(S,I,S)** : **S** : ensemble des situations qui donnent du sens au concept / **I** : ensemble des invariants opératoires qui sont sous-jacents au traitement de ces situations par le sujet / **S** : ensemble des signifiants (ou symbolisations) qui permettent de représenter les invariants, les situations, les procédures du traitement (1985, p.247 et p.248).

2- Vergnaud (1991)⁴⁰ reprend sa proposition de 1985 et construit sa « théorie des champs conceptuels » dans laquelle il préconise d'analyser le comportement cognitif d'un sujet à travers divers concepts et situations.

Ainsi, selon la première approche, nous proposons une série de situations expérimentales (**S**), susceptibles de faire émerger l'invariant *par transformation* (**I**) en incitant les sujets à représenter (**S**).

³⁷ Travaux de Sallaberry (2000) avec des PLC2 en sciences physiques : *Didaskalia*, n° 17.

³⁸ Travaux sur les repérages des obstacles liés à l'expérimentation dans *Didaskalia*, n° 22.

³⁹ Vergnaud (1985) pp 245-251.

⁴⁰ Vergnaud (1991) pp 133-170.

2.3. La catégorisation des représentations : l'apport des sciences cognitives

Il existe de nombreuses propositions de catégorisations des représentations. Nous retiendrons pour cette étude, celle de Sallaberry (2004)⁴¹, qui présente quatre classements distincts dont nous utiliserons les exploitables codées R1/R2/R3 (coordinations actives R1-R2).

- S'agissant des représentations codées R1 : Ces représentations que l'on pourrait définir comment étant « descriptives » ont pour vocation au cours d'un protocole expérimental d'acter les différents observables et de se poser comme un préalable aux R2.

Exemple R1: « On voit des bulles qui s'échappent du morceau de cuivre »

- S'agissant des représentations codées R2 : Ces représentations ont des visées « interprétatives » et témoignent d'un autre niveau de la pensée.

Exemple R2: « Je crois que la poudre rouge doit être du métal cuivre »

- S'agissant des coordinations R3, elles sont des coordinations actives R1- R2. On pourrait avancer que ces représentations témoignent d'un niveau intéressant de la construction d'un concept. Elles sont le siège d'un recadrage des R1 et des R2.

Exemple R3: « Normalement, le filtrat obtenu aurait dû être transparent, je pense donc que l'on a pas mis assez d'hydroxyde de sodium. »

L'utilisation de ces différentes catégorisations des représentations des élèves, doit permettre l'analyse des parcours cognitifs personnels, à l'issue du protocole expérimental.

2.4. Les questions de recherche

En sciences physiques la question de l'invariant se pose tant sur le plan didactique que sur le plan cognitif. Le premier renvoie aux stratégies des formateurs, le second attrait au comportement des sujets en situation de formation. Ce sont ces derniers qui pourraient légitimer, ou remettre en question, les conceptions scénarisées des premiers. Ainsi est-il envisageable de prévoir deux orientations de recherche qui soient complémentaires et interconnectées.

La première consiste à faire l'hypothèse que mettre en œuvre une situation de type (S,I,S) en sciences physiques serait susceptible de donner de la lisibilité aux concepts qui participent à la lisibilité de ce champ disciplinaire. Le travail présenté est organisé sur le concept de l'élément chimique tout en s'intéressant plus particulièrement au lien invariant - concept. Comment l'invariant *par transformation* impacte-t-il la construction du concept d'élément chimique ?

La seconde consiste à rechercher d'une part, comment se sont organisés les cheminements intérieurs des sujets à travers les symptômes extérieurs que sont les représentations produites, et d'autre part, de croiser ces « filiations cognitives » avec les résultats des premiers travaux. Les représentations impactent-elles la qualité de la liaison invariant-concept ?

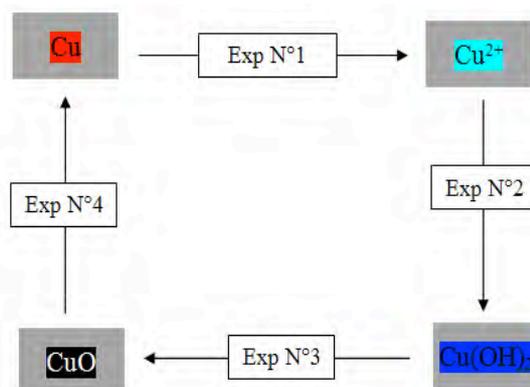
⁴¹ Dans sa contribution à la théorie des représentations, Sallaberry, essaie de porter au concept cette notion et après un passage en revue des différentes existantes, propose quatre catégories de la représentation.

3. Le recueil des données

3.1. Le protocole expérimental

On trouve dans les laboratoires de lycée de nombreux protocoles basés sur un système de *boucle réactionnelle*⁴² laquelle peut être résumée (pour l'élément chimique cuivre) sous la forme de l'organigramme ci-contre.

Le protocole expérimental est organisé autour d'une série de quatre expériences qui ont été réalisées en binôme. Les transformations chimiques mises en jeu sont singulières dans la mesure où le ou l'un des produits formés « devient » l'un des réactifs de la transformation suivante. Ainsi, le protocole est élaboré dans une logique de faire émerger l'invariant de par la nature *cyclique* de l'ensemble. L'idée de conservation est donc implicite de par cette mise en scène opératoire.



L'expérience met en jeu quatre espèces chimiques différentes contenant l'élément cuivre dans l'ordre chronologique suivant: (Cu), (Cu²⁺), (Cu(OH)₂) et (CuO).

3.2. Le recueil du corpus

L'expérience a été réalisée en seconde générale au lycée Arnaut Daniel⁴³, situé en zone rurale sur la commune de Ribérac (Dordogne), pendant une séance de travaux pratiques sur un groupe de quatorze élèves en novembre 2010. Le concept d'élément chimique est abordé en débutant par ce protocole expérimental. Les élèves ont réalisé les expériences à partir d'un document qui servait de protocole général. À titre individuel, ils ont rempli une fiche par expérience partagé en trois zones, leur demandant, de schématiser l'expérience, de rendre compte de leurs observations (R1), et de donner des interprétations susceptibles d'éclairer l'ensemble (R2 et R3). En fin de séance, chaque élève a été invité, à répondre à la question : « *Que pensez-vous de cette séries d'expériences ?* » (sur une fiche à part), et à écrire un titre qui pourrait convenir au protocole expérimental (sur une bandelette fournie).

Ainsi, le corpus de chaque élève était constitué de 4 fiches expérimentales (une par expérience), d'une fiche-bilan et d'une proposition de titre. Ce sont donc 70 fiches et 14 titres qui ont été analysés ce qui a représenté environ, 150 R1, 380 indices de R2 et 110 R3.

⁴²Ce mode expérimental était proposé dans les programmes d'accompagnement (78) et avait été repéré comme digne d'intérêt par Martinand et Viovy (79).

⁴³ Les IPES (Indicateurs pédagogiques économiques et sociaux) de l'établissement sont dans la moyenne académique.

4. La méthode d'analyse

4.1. La catégorisation des représentations : l'apport des sciences cognitives

Par la méthode d'analyse de contenu, l'ensemble des représentations des élèves est passée au filtre d'une catégorisation aux mailles plus fines que celles proposées par Sallaberry.

Afin de pouvoir être au plus proche de l'invariant et des ses indices de présence, chaque catégorisation R1, R2 et R3 (les coordinations R1-R2) ont été différenciées en deux sous-catégories. Les deux sous-catégories R1(a) et R1-R2(e) relèvent exclusivement de celle de l'invariant attendu (présence de l'élément cuivre). Les sous-catégorisations R1(b) et R1-R2(f) relèvent des représentations n'ayant aucun rapport direct avec l'invariant. La sous-catégorie R2(c) est celle qui présente des indices relevant d'une représentation à visée interprétative simple (usage de causalité principalement) et celle R2(d) qui traduit une pensée plus complexe (tentatives d'explications [Te] ou usage d'hypothèses [Hy] par exemple).

Exemple R1(a) : « Le filtrat obtenu est clair et la méduse est bizarre »

Exemple R1(b) : « Il y a un gaz roux qui sort du tube »

Exemple R2(c) : « Si l'eau de chaux se trouble alors du dioxyde de carbone s'est formé »

Exemple R2(d) : « Il est probable que l'ion cuivre II se soit formé »

Exemple R1-R2(e) : « Je pense que l'on a fait une sorte de cycle puisque on revient au cuivre »

Exemple R1-R2(f) : « Puisque l'on a obtenu un solide noir ce doit être de l'oxyde de cuivre »

Pour les R2 et les R3, on peut observer des indices (soulignés dans les exemples ci-dessus) d'une abstraction plus réfléchie. Le suivi, à partir des éléments de langage utilisés par chaque sujet au sein de ses représentations, sur les plans qualitatifs et quantitatifs, au cours d'un apprentissage, est un témoignage singulier des cheminements cognitifs intérieurs de celui-ci. Nous proposons de définir ces symptômes extérieurs comme les « **filiations cognitives** » des élèves en cours de formation, à partir des représentations R1/R2/et R3 (R1-R2).

Exemple pour l'élève H (cf. tableau IV) : R1(6-3)R2(10-14)R3(2-3)

4.2. La catégorisation des niveaux de construction, de l'invariant par transformation et du concept d'élément chimique

Les deux catégorisations s'apprécient à partir de l'ensemble du corpus d'un sujet et ne sauraient être réduites à une des innombrables représentations construites.

La construction de l'invariant s'apprécie à partir de sa présence (ici les espèces chimiques contenant l'élément cuivre) au cours du protocole expérimental. La construction du concept d'élément s'apprécie à partir de l'idée de sa conservation tout au long du protocole. Ainsi la seule présence ne peut à elle seule préjuger de l'idée de conservation. En effet, un élève aura pu identifier la présence de l'élément cuivre à chaque étape du protocole sans pour autant y « voir » l'idée de conservation.

-Le niveau de construction de l'invariant *par transformation* est organisé en **cinq** catégories.

I₀ : aucun indice de présence de l'invariant n'est donné. Pour ces élèves la présence de l'élément cuivre n'est pas entrevue.

I₁ : présence d'indices implicites et/ou contradictoires. Pour certains élèves, la présence de l'élément cuivre est partielle ; pour d'autres, il y a apparition et/ou disparition de l'élément. « *Le cuivre disparaît sous forme de gaz* » ; « *Le cuivre réapparaît à la fin* ».

I₂ : les indices sont convergents mais demeurent implicites. La présence de l'élément est continue, mais l'élève ne parvient pas à en rendre compte explicitement.

I₃ : l'invariant est désormais identifié de manière explicite. Désormais l'élève parvient à identifier de manière explicite la présence continue de l'élément cuivre.

«Dans toutes les expériences on a du cuivre sous des formes différentes sauf à la fin ».

I₄ : la présence de l'invariant est non seulement identifiée mais généralisée. Ici l'élève indique qu'au-delà de l'élément cuivre, la présence d'autres éléments doit l'être aussi.

«Le cuivre est là à chaque expérience mais c'est vrai aussi pour le carbone quand on l'a chauffé puisque on a eu du dioxyde de carbone ».

- Le niveau de construction du concept est organisé en **trois** catégories.

C₀ pour laquelle le concept n'est pas construit : l'idée de conservation est absente.

«On a fait des expériences avec des solides et des gaz et aussi des solutions colorées »

C₁ pour laquelle le concept est en construction : l'idée de conservation est restée implicite

«On est revenu au point de départ car on a fait une boucle » ; «Je pense que ces expériences sont liées les unes aux autres ».

C₂ pour laquelle le concept est vraisemblablement construit : l'idée de conservation est explicite *«Donc on peut faire toutes les modifications que l'on veut mais le cuivre se conserve quand même » ; « Ces expériences servent à montrer que le cuivre est toujours conservé ».*

Exemple pour l'élève H (cf. tableau IV): **I₃-C₂**

5. Les résultats

ELEVE	R1			R2		R3 (R1-R2)			I _x	C _y
	a	b	Total	c	d	e	f	Total		
A	12	3	15	10	23	1	5	6	0	0
B	6	2	8	9	26	3	4	7	1	1
C	6	1	7	8	13	2	7	9	2	1
D	6	5	11	8	9	2	4	6	2	1
E	7	4	11	10	17	2	7	9	2	1
F	7	2	9	11	19	3	5	8	2	1
G	8	4	12	5	26	1	5	6	2	1
Sous Total (Moy/él)	40 (6,7)	18 (3)	58 (9,7)	51 (8,5)	110 (18,4)	13 (2,2)	32 (5,4)	45 (7,5)		
H	6	3	9	10	14	2	3	5	3	2
I	5	3	8	4	7	2	5	7	3	2
J	8	2	10	10	15	2	6	8	3	2
K	11	6	17	13	25	5	6	11	4	2
L	10	7	17	14	30	7	2	9	4	2
M	7	4	11	16	38	6	7	13	4	2
N	6	3	9	11	28	3	3	6	4	2
Sous Total (Moy/él)	53 (7,6)	28 (4)	81 (11,6)	78 (11,1)	157 (22,4)	27 (3,9)	32 (4,6)	59 (8,4)		

Bilan des filiations R1/R2/R3 et des liaisons I_x-C_y

Le tableau ci-dessus récapitule pour chaque élève l'ensemble des représentations qu'il a produit lors du protocole expérimental et met en relation chaque filiation R1/R2/R1-R2 avec la filiation I_x - C_y correspondante. Trois groupes d'élèves sont alors repérés en fonction du niveau de construction (C_y) du concept / **Groupe 1** (élève A pour C₀), **Groupe 2** (élèves de B à G pour C₁) et **Groupe 3** (élèves de H à N pour C₂). Sont repérés en caractère gras pour chaque colonne des représentations, les 4 valeurs maximales atteintes (cases colorées).

-S'agissant des R1, elles sont bien réparties sur l'ensemble du groupe-classe et ce quel que soit le niveau de construction du concept *in fine*. La quantité des R1 n'est pas un facteur suffisant pour parvenir à un niveau I_x élevé ce qui s'observe entre autre dans les productions antagonistes des élèves A et N. En outre, la moyenne des représentations produites par les trois catégories d'élèves sont dans des ordres de grandeurs comparables.

-S'agissant des R2, la quantité moyenne des représentations produites par élève est élevée et plutôt homogène (environ vingt/élève pour les R2 (d)). Toutefois, il existe une discrimination significative entre les élèves. En effet à l'exception de l'élève atypique A, les indices favorables R2(d) aux représentations R2 sont majoritairement produits par les élèves qui atteignent un niveau d'acquisition I_x élevé (+20% pour les catégories ≥ I₃ et +65% pour la catégorie I₄). Par ailleurs on observe une répartition très hétérogène pour les indices

favorables spécifiques R2(c) qui sont plus présents chez les meilleures liaisons I_x-C_y (+30% pour les catégories $\geq I_3$ et +59% pour la catégorie I_4).

- S'agissant des coordinations R1-R2, on observe une discrimination tout aussi significative que pour les R2. Si les coordinations liées aux identifications des espèces chimiques contenant l'élément chimique cuivre R1-R2(f) sont en quantité comparables chez les élèves (ce qui est cohérent avec les remarques précédentes sur les R1 et les R2(c)), en revanche il existe un différentiel important sur les R1-R2(e) (+78% pour les catégories $\geq I_3$ pour atteindre +108% pour la catégorie I_4). Ces coordinations pourraient être « décisives » pour l'émergence de l'invariant (leur conférant alors un statut singulier).

- S'agissant des liaisons $I_x - C_y$, l'observation la plus significative est le lien étroit entre les niveaux de construction de l'invariant et du concept. Ce qui pourrait se résumer par la formule lapidaire : « *pas d'invariant, pas de concept* » en témoigne l'absence de liaison entre les niveaux de I_0 à I_2 et le niveau C_2 .

L'analyse des bilans personnels a pu montrer que les meilleures liaisons $I_x - C_y$, sont les seules à réinvestir des formules symboliques des espèces chimiques mises en jeu pour justifier l'invariant, ce qui va dans le sens de la structure de Vergnaud évoquée au départ.

Enfin, si l'on s'accorde sur les indicateurs employés, les résultats montrent que la moitié des élèves ont vraisemblablement construit à l'issue de la séance le concept d'élément chimique grâce à l'émergence de l'invariant *par transformation* et que la majorité de la moitié restante est parvenue à l'approcher et ce sans avoir eu recours à un guidage de l'enseignant pendant le protocole. Ces résultats semblent légitimer le bien fondé du scénario, qui d'une part, favorise la lecture de l'invariant et d'autre part, met l'élève en situation de produire individuellement des représentations par constellation.

6. Conclusion

Le concept d'élément chimique et son invariant par transformation nous apparaissent comme intimement liés. À ce stade, cela encourage à rechercher, en sciences physiques, d'autres liaisons invariant-concept valorisables et à questionner plus avant la « nature » des invariants susceptibles de donner de la lisibilité à d'autres concepts lors des phases d'apprentissages. Enfin, ce travail questionne implicitement comment accompagner les élèves, pour qu'ils produisent des représentations à visée interprétative, celles-ci semblant être plus particulièrement intéressantes pour faire émerger l'invariant et rendre ainsi plus lisible le concept. La conception de scénarios favorisant l'émergence de l'invariant d'une part, l'élaboration de supports adaptés qui puissent donner la possibilité aux sujets de construire des représentations d'autre part sont des pistes à éprouver. Sur le plan de la programmation, aborder le concept d'élément chimique par l'expérimentation paraît le plus judicieux : en effet la conservation qui en découle permet de définir le concept et invite logiquement à identifier le pourquoi de cette conservation pour s'intéresser alors à ce qui le caractérise. Il y a ici des enjeux didactiques importants qui pourraient être pris en compte au sein des différents établissements de formation.

Bibliographie

- Bachelard G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*, 11e éd., Paris, Vrin, 1980.
- Bensaude-Vincent B. (1984). Regards sur l'histoire de l'élément chimique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°666, juillet-août-septembre, pp. 1273-1284.
- Bruner J. S. (1983). *Le développement de l'enfant, savoir faire savoir dire*, Paris, P.U.F.
- Laugier A. & Dumon A. (2003). Obstacles épistémologiques et didactiques à la construction du concept d'élément chimique : quelles convergences ? *Didaskalia* n°22 INRP
- Martinand J-L (1986). *Connaître et transformer la matière ; des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. Bern : Peter Lang, pp148 -174
- Martinand J.-L. & Viovy R. (1979). La notion d'élément chimique en classe de cinquième : difficultés, ressources et propositions. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°613, pp878-884.
- Morandi. F (1997). Dynamique de modélisation dans la formation des maîtres. *Spirale Revue de recherches en éducation HS N°2* pp 93-126
- Piaget J. (1968a). *Le structuralisme*, Paris, PUF.
- Sallaberry J.-C. (2000). Coordination des « représentations image » et des représentations rationnelles dans la construction du concept d'élément chimique. *Didaskalia* n°17 INRP
- Sallaberry J.-C. (2004). *Dynamique des représentations et construction des concepts scientifiques*, L'Harmattan
- Vergnaud G. (1985). Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation. *Psychologie Française*, n.spécial "Les représentations".
- Vergnaud G. (1991). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en didactique des mathématiques*, 10, pp.133-170
- Vergnaud G. (1995). Théorie et concepts fondamentaux, in *Apprentissages et Didactiques, où en est-on ?*, coord G.Vergnaud, Paris, Hachette.
- Viovy R. (1984). La notion d'élément chimique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°663, pp. 901-910.

Fleury P.

La démarche d'investigation au collège en SVT : quels enjeux selon les enseignants ?

Evelyne Fontaine, UMR STEF, Ens Cachan, Ens de Lyon - Ifé ; Collège Jean Bertin de Saint-Georges-sur-Baulches ; fontaine.evelyne@free.fr

&

Michèle Dell'Angelo-Sauvage, UPEC ; UMR STEF, Ens Cachan, Ens de Lyon - Ifé ; dellangelo.michele@gmail.com

Mots clés : SVT, démarche d'investigation, pratiques enseignantes déclarées, socle commun, évaluation.

Résumé : Inspirée des travaux de recherche de Stéphanie Mathé, Martine Méheut et Cécile de Hosson (2008) sur les enjeux didactiques de la démarche d'investigation en Sciences Physiques au collège, cette étude porte sur l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre au collège. Nous nous basons sur l'analyse de fiches pédagogiques, complétée par des entretiens d'explicitation auprès de cinq enseignants, pour examiner comment ces derniers s'approprient cette démarche. Nous rejoignons les résultats de l'étude prise en référence qui montre des écarts par rapport à une réelle démarche scientifique et une variabilité inter et intra-individuelle au niveau des enseignants. Nous constatons aussi des difficultés propres aux SVT face aux programmes de 2010-2011.

1. Introduction

Depuis de nombreuses années, la place des activités expérimentales dans l'enseignement des sciences fait l'objet de recherches tant au niveau national qu'international. Des enseignements stéréotypés (Jenkins, 1999 ; Leach et Paulsen, 1999 cités par Mathé et *al.* 2008), une démarche inductiviste, laissant peu de liberté aux élèves sont dénoncés. Des démarches donnant plus d'autonomie à l'élève en le rendant acteur de la construction de son savoir sont proposées (Giordan, 1999 ; Cariou, 1997). En France, une démarche d'investigation scientifique d'enseignement (DIES) est institutionnalisée dans les programmes des collèges en 2005. Réaffirmée en 2007 (MEN, 2007, p.144), elle est fondée sur les expériences de « la Main à la pâte » (Charpak, 1996) et présentée en 7 étapes (MEN, 2008, p.4).

Notre travail s'inscrit dans le cadre d'une exploration des méthodes d'enseignement de la DIES dans le domaine des sciences de la vie et de la Terre (SVT) en collège. En référence à une recherche (Mathé et *al.* (2008) qui a exploré la façon dont des enseignants de sciences physiques se sont appropriés cette nouvelle norme pédagogique, nous présentons ici les résultats d'une étude réalisée près de 5 ans après la parution dans les prescriptions officielles des textes sur la DIES. Les objectifs de cette recherche sont doubles ; d'une part étudier les connaissances acquises par les enseignants sur ce dispositif pédagogique; d'autre part montrer les adaptations qui en sont faites et les raisons évoquées pour cela.

2. Cadre théorique

L'investigation est menée par les élèves eux-même et « *débouche sur l'acquisition de connaissances, de compétences méthodologiques et sur la mise au point de savoir-faire techniques* » (MEN, 2008, p.4). D'un point de vue institutionnel, la DIES est basée sur la résolution d'une situation-problème choisie par le professeur permettant la construction d'un savoir scientifique par franchissement d'un obstacle - vision bachelardienne de l'apprentissage- : celui de la conception initiale de l'élève dans une démarche hypothético-déductive (Robardet, 2001). L'élève doit ainsi vérifier ses hypothèses par conception et réalisation d'un protocole expérimental (Coquidé et al., 2009). Cette nécessité d'autonomie et d'activité cognitive peut être rapprochée des principes de l'IBSE (Inquiry Based Science-Education) aux USA dont les prémices voient le jour avec la théorie de l'enquête de Dewey (1859-1952). Cette démarche est introduite dans les instructions officielles de 2008 de la même manière pour les disciplines scientifiques (Physique et SVT). Toutefois les objectifs disciplinaires diffèrent quant au statut de l'expérience qui ne présente pas les mêmes enjeux : en physique la production de savoirs a pour objectifs d'élaborer des *lois universelles pour rendre le monde intelligible et de faire émerger des vocations scientifiques telles que des techniciens, des ingénieurs[...]*(MEN, 2008, p.10). En SVT, l'enjeu est de *comprendre le monde, expliquer le réel par l'observation de phénomènes, par des manipulations et des expérimentations [...] développer un comportement citoyen responsable vis-à-vis de l'environnement et de la vie [...] afin de développer une démarche ouverte et critique [...]*. (MEN, 2008, p.9). Une difficulté particulière réside dans l'évaluation des compétences liées à l'investigation (Rey et all, 2006). Le vade mecum de 2008 préconise l'utilisation de situations complexes dont le canevas reprend la DIES.

3. Problématique et questions de recherche

D'après les programmes officiels de 2005, la démarche d'investigation doit être l'unité d'enseignement des SVT. L'objectif de cette étude est double : il s'agit dans un premier temps de caractériser la démarche d'investigation de l'enseignement des SVT, et par ailleurs de savoir si les enseignants voient en la démarche d'investigation un outil pour l'évaluation du socle commun de connaissances et de compétences. On s'interroge alors sur l'existence d'un décalage entre les prescriptions officielles des programmes de l'enseignement des SVT (tout comme constaté dans la recherche de Mathé et al. dans l'enseignement de la Physique), et leur application en situation de classe. Comment les enseignants procèdent-ils dans la construction des savoirs chez des élèves du secondaire ? Quelles adaptations font-ils de cette démarche et comment la mettent-ils en œuvre ? Nous faisons l'hypothèse que les enseignants ayant suivi les formations IUFM appliquent cette démarche (proposent une situation de départ, s'appuient sur un problème, des hypothèses, un protocole permettant de résoudre le problème) dans la plupart de leurs séquences d'enseignement. La considèrent-ils comme un outil d'évaluation pour les compétences et les connaissances du socle commun obligatoire depuis 2010 ?

4. Méthodologie

Afin de constituer le corpus des données à analyser, nous avons sollicité cinq enseignants de collège de SVT de profils différents en âge, nombre d'années d'expérience professionnelle et formation. Des fiches pédagogiques de déroulement de séquences sur deux niveaux (6^e et de

5^e) leur ont été demandées pour deux thèmes jugés propices à la mise en œuvre d'une démarche d'investigation. Ils ont aussi été soumis à des entretiens individuels semi-directifs comportant vingt-cinq questions réparties en quatre parties : leurs connaissances du dispositif, leurs pratiques, leur regard critique par rapport à des fiches « experts » mettant en jeu la démarche d'investigation, ainsi que leurs avis sur la démarche d'investigation comme outil d'évaluation du socle commun. Les entretiens enregistrés ont fait l'objet d'une retranscription aussi exhaustive que possible. L'ensemble des fiches pédagogiques a été analysé et comparé selon une grille répertoriant les quatre premières déclinaisons du canevas de la démarche d'investigation (MEN, 2008, p.4) telle qu'elle est décrite dans les instructions officielles. Les rubriques d'analyse croisent celles utilisées en physique pour permettre la comparaison : la construction de la situation de départ (contextualisation, problèmes à résoudre, conceptions des élèves) et les types de démarche (formulation de prévisions/hypothèses, élaboration de protocoles et réalisation d'expériences) utilisés.

5. Résultats

L'analyse des données a été réalisée globalement (sans séparer les fiches et les entretiens) pour chacune des sous-rubriques de la grille d'analyse.

5.1. Construction de la situation de départ

Appelée « situation déclenchante » par les enseignants, la **contextualisation** est souvent jugée « *anecdotique* », par les enseignants de sciences physiques mais nécessaire à la motivation et prétexte pour la formulation du questionnement scientifique. Mathé (2010) l'explique par le fait que la majorité des problématiques de cette discipline sont liées à des situations non scolaires. En biologie les problèmes sont, eux, très souvent du domaine du scolaire. On relève des visées différentes : « *il faut soigner l'entrée en matière pour susciter le questionnement* » dit un enseignant, *pour faciliter la recherche d'hypothèses* » et « *pour amener sur un plateau la question* » dit un autre, tandis que pour un troisième : « *on peut vivre un véritable fiasco si elle n'est pas suffisamment préparée !* ». Parfois les élèves sont provoqués en remettant en question des savoirs pré-établis : « *les êtres vivants respirent..., ce n'est pas prouvé !* ». Il peut aussi être fait appel au vécu des élèves en soulevant le cas de situations comme la reprise de végétation au printemps. Pourtant dans les situations proposées la situation déclenchante reste bien souvent réduite au rappel des acquis ou des pré-requis, et lorsqu'ils étudient les fiches « expert », les enseignants n'en pointent pas l'absence.

Tout comme évoqué par Mathé et al. (2008) dans l'enseignement des sciences physique, le recueil des conceptions initiales des élèves avant la réalisation de la préparation de séance ne transparait pas en SVT. Tous les enseignants soulignent son importance : « *j'essaie de leur faire dire ce qu'ils savent, de leur montrer ce qu'ils connaissent* », mais aucun ne relate leur prise en compte.

5.2. Problème à résoudre

Aucune séance de SVT, qu'il s'agisse d'investigation ou non, n'est construite sans problématique de départ ; la phase de « problématisation » est donc à l'unanimité reconnue comme l'un des aspects fondamentaux de l'activité scientifique en classe (c'était aussi le cas en physique). Pourtant les enseignants soulignent l'absence de motivation des élèves et leur difficulté à s'approprier « l'activité de chercheur ». Majoritairement, le problème est amené

collectivement, mais parfois il est donné par l'enseignant, puis reformulé par les élèves. Lorsqu'il est amené collectivement on constate que l'action est guidée et orientée par le professeur en fonction de ses objectifs de départ. Par ailleurs, pour un même thème du programme, une grande variabilité dans la formulation du problème, suivant les objectifs de connaissances et le type de recherche visée, apparaît. Soit, on tente d'établir un lien entre deux concepts, soit on cherche une explication au mécanisme d'un phénomène, soit on veut le mettre en évidence, ou bien encore on recherche les conditions influençant ce phénomène. Par exemple en 5^{ème} sur la respiration un enseignant propose : « *comment les animaux font-ils pour respirer ?* », un autre : « *en quoi consiste la respiration?* », un troisième : « *comment mettre en évidence qu'un être vivant respire ?* » et un quatrième : « *comment intervient la respiration sur l'air que l'on respire ?* ».

En résumé, les situations de départ et les problèmes peuvent différer entre enseignants mais aussi pour un même enseignant selon les thèmes étudiés et selon les niveaux de classe. Elles ne tiennent pas compte des conceptions des élèves.

5.3. Types de démarche

Les enseignants de Sciences physiques ne prêtent que peu de crédit à la demande de **formulation d'hypothèses** par leurs élèves (Mathé et al. 2008). En revanche, pour ceux de SVT émettre une ou des hypothèse(s) est l'étape qui suit obligatoirement l'établissement du problème scientifique à résoudre et permet l'entrée en investigation de l'élève. Toutefois pour des raisons de gestion du temps, cette étape peut ne pas apparaître dans le déroulement des séances : « *suivant les parties du programmes les recherches d'hypothèses sont plus ou moins squeezées* ». Elle est décrite comme difficile au niveau de l'élève car la compréhension de sa définition et de son rôle dans la démarche d'un scientifique est un obstacle récurrent à l'avancée de la séance : « *j'insiste sur le fait que l'on n'écrira pas que des choses justes...en général ça les offusque* », « *ils n'ont pas le réflexe de se dire " je réfléchis par l'expérience" réussir à leur faire comprendre que l'hypothèse doit être vérifiée par l'expérience avant d'affirmer les choses, c'est ce qui pose problème.....il est très rare qu'ils donnent des hypothèses fausses ...* ». Au niveau des enseignants eux-mêmes, une certaine confusion semble exister quant à la définition du mot « hypothèse » ; certains expliquent l'hypothèse comme la formulation d'une « conséquence vérifiable » et ils ne relèvent pas cette formulation dans les fiches à critiquer. De même les termes de « conjectures » et de « prévisions » cités dans le canevas de la démarche d'investigation donné aux enseignants en comparaison avec les fiches à analyser ne sont pas relevés, par manque de signification pour l'enseignant. On peut attribuer cet « échec » à un manque de clarté des instructions officielles qui ne précisent pas ce qu'est réellement une hypothèse... Par ailleurs cette analyse fait ressortir une grande différence d'autonomie laissée aux élèves lors de cette étape : « *je ne les ai pas assez guidés sur la mise en hypothèses,... je devrai la prochaine fois ré expliquer, et les orienter plus...* »

« *... le principe c'est qu'en général je fais une séance commune où on discute, à partir de là, plusieurs émettent différentes hypothèses, ensuite, je fais un petit résumé de tout ça et j'en tire ce qui est exacte pour qu'on puisse écrire l'hypothèse commune pour tout le monde* » Il y a aussi parfois décalage entre les attentes des enseignants et les faits observés.

Les programmes d'enseignement des SVT (MEN, 2005, p.18), insistent sur le caractère fondamental des **activités pratiques**. En Sciences physiques, les enseignants accordent une place importante à l'expérience même si l'autonomie laissée aux élèves est très variable. L'élaboration des protocoles est la plupart du temps très contrôlée, voire corrigée par le professeur, qui impose le matériel pour éviter de décevoir les demandes des élèves si cette étape était laissée à leur entière responsabilité. En SVT, le constat est identique. Les contraintes temporelles et matérielles empêchent tout tâtonnement possible par les élèves. Les

enseignants définissent la possibilité de mettre en place une démarche d'investigation « *selon les thèmes des programmes* », « *quand il y a beaucoup de manipulations, d'expériences[...]dont on connaît les résultats* ». Toute démarche scientifique qui ne recourrait pas à l'expérimentation ne serait pas, selon ces enseignants, « digne » de ce nom. Il s'agit là d'une confusion entre démarche expérimentale et démarche d'investigation.

D'autre part, l'expérimentation est l'un des premiers aspects soulignés comme positifs de cette démarche : elle serait à l'origine de « *la motivation des élèves même pour les élèves les plus faibles* » selon tous les enseignants interrogés et d'autant plus que l'on se trouve en établissement classé zone d'éducation prioritaire. D'ailleurs tous les interviewés sont d'accord pour dire que cette étape du passage à la manipulation sur le réel est à conserver quelque soient les évolutions technologiques proposées par l'éducation nationale. En effet, aucun enseignant interrogé, quelque soit sa formation ou son âge, n'adhère à l'expérimentation par simulation : *ils voient des choses dans le livre, mais à partir du moment où c'est du vrai, c'est pas pareil...* », « *c'est extrêmement passif pour les élèves parce que le logiciel leur donne tout ...* ». L'utilisation de l'informatique est jugée « *source de passivité des élèves* » ou « *atteinte à la structuration des connaissances* ». Rien ne semble donc remplacer le « concret » dans l'acquisition des connaissances scientifiques même si les aléas dus au matériel vivant biaisent parfois les résultats escomptés; En ce qui concerne la phase d'**élaboration du protocole** expérimental, elle représente un passage essentiel pour tous les enseignants mais pose des problèmes d'effectifs, de matériels, et de temps. Dans la mesure du possible, tous les enseignants tentent de faire élaborer le protocole par les élèves, collectivement ou individuellement et montrent son intérêt. Un compromis entre le guidage total de l'élaboration du protocole et l'autonomie laissée aux élèves semble être adopté : le matériel nécessaire à l'expérience est présenté et les élèves sont amenés à réfléchir par groupes aux montages réalisables plus ou moins guidés par l'enseignant. On constate pourtant que bien souvent, les enseignants fournissent aux élèves « *des fiches TP très détaillées* » pour les guider dans leurs activités et leur permettre un travail individuel « *en autonomie* ». Pour les dissections par exemples, les protocoles sont toujours donnés par soucis de gain de temps et d'économie de matériel. On peut alors se demander quelle signification les enseignants donnent à l'«autonomie» des élèves, dans cette phase d'expérimentation...La phase de **manipulation**, est en revanche, quant à elle, largement laissée aux élèves dans les deux disciplines.

En résumé, si les hypothèses semblent être incontestablement à la base de la mise en place d'une séance, cette étape est bien souvent guidée et orientée sans laisser une place prépondérante à l'autonomie des élèves, et ce terme, systématiquement utilisé par les enseignants reste à définir clairement. L'investigation reste très variée en matière de procédure. Sa mise en œuvre est conditionnée par un facteur incompressible, le temps donné à l'activité scientifique en classe. Elle varie aussi selon le professeur, selon les contraintes de classe (effectifs, matériels) inégales selon les établissements, et selon les thèmes d'études scientifiques.

5.4. Démarche d'investigation et socle commun

Les enseignants interrogés, restent dubitatifs et interrogatifs quant au recours à la démarche d'investigation comme outil pour l'évaluation du socle commun, même si on peut associer certains points du canevas de cette démarche (comme l'autonomie, le raisonnement par formulation de problèmes, l'élaboration et la validation d'hypothèses...) à certaines compétences. Ils en donnent plusieurs raisons : les contraintes de temps et d'effectif, un sentiment de redondance par rapport aux divers types d'évaluations déjà effectuées tout au long de l'année. Un autre point rapporté par les enseignants, concerne le moment de l'évaluation de ces compétences car il existe une grande hétérogénéité quant au moment de

maîtrise des différentes compétences retrouvées dans la démarche d'investigation. Ce procédé serait ressenti par l'élève en difficulté comme une sanction supplémentaire.

6. Conclusion

Coquidé et al. (2009) montrent que l'investigation expérimentale sur le vivant « *nécessite des protocoles et des méthodes souvent spécifiques* ». Bien qu'elle fasse parfois appel à des protocoles expérimentaux semblables à la physique, les facteurs étudiés sont « *des facteurs limitant et non de stricte causalité* ». De plus, « *la séparation des variables ne convient pas aux investigations en biologie* », puisque les causes d'un phénomène biologique sont pluri et non mono factorielles (ex. facteurs biotiques et abiotiques influençant la germination). Nous pouvons cependant constater des similitudes entre programmes officiels de physique ou de SVT ; certaines activités visent juste à la découverte d'éléments préalables à la construction de concepts par utilisation de techniques expérimentales. Par ailleurs il existe des situations d'enseignement, où il est difficile de mettre en place une investigation avec les élèves mais où les notions ne peuvent être amenées que de manière plus transmissive.

Dans la pratique de classe en général, seuls les résultats expérimentaux obtenus au cours de l'investigation avec les élèves suffisent à construire les concepts scientifiques ; tout comme Coquidé et al.(2009) l'écrivent, nous pensons qu'il s'agit là d'une vision réductrice de l'activité scientifique, et « *on n'apprend donc pas aux élèves à faire de la science* » mais « *le plus souvent les résultats de la science* » car « *c'est le savoir à enseigner qui pilote* » l'investigation.

A la question en quoi les enseignants de SVT adaptent-ils les prescriptions officielles, nous rejoignons là encore l'étude de Mathé et al. 2008 en ce sens qu'il existe une obligation pour les enseignants de construire, en un temps défini et précieux, les concepts et les savoir faire propres à chaque niveau d'enseignement en tenant compte des nombreuses contraintes liées à l'établissement auquel il se rattache. Il en ressort donc une variabilité dans la mise en œuvre de cette DIES au sein des pratiques enseignantes comme peut le préciser Calmettes (2009), qui note « *une variabilité inter ou intra-individuelle dans les déroulements de séances* » ainsi que « *des écarts avec les demandes institutionnelles* » dus aux contraintes spécifiques à chaque enseignant ainsi qu'aux imprévus.

Les résultats de cette étude n'ont pas la prétention de donner des faits généralisables à la discipline considérée (SVT) du fait du faible nombre de données recueillies. En revanche elles mettent en parallèle des situations semblables à celles relatées dans la recherche de références sur les sciences physiques. Au regard de ces données nous pouvons constater qu'il existe un réel besoin de mettre en accord les demandes des prescripteurs et les actions des « opérateurs » (les enseignants) : d'une part par une redéfinition plus claire des différentes étapes de la démarche d'investigation et de leurs intentions par rapport à la démarche scientifique, d'autre part en renforçant la formation spécifique des enseignants

Bibliographie

Calmettes, B. (2009). Démarche d'investigation en physique. Des textes officiels aux pratiques de classe. *Spirale*, 43, p. 139-149.

- Cariou J.-Y. Lexique sommaire en didactique des sciences. *Document interne, IUFM*, Paris, 1997.
- Coquide, M., Fortin, C., & Rumelhard, G. (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites. *Aster*, n°49, p. 49-76.
- Giordan A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Guide Belin de l'enseignement. 238 pp.
- Jenkins E.W. (1999). Practical work in school science. In J. Leach et A. Paulsen (éd.) *Practical Work in Science Education – Recent Research Studies*. Dordrecht, Kluwer, p. 19-32.
- Leach J. & Paulsen A. (1999). Introduction in J. Leach et A. Paulsen (éd.) *Practical Work in Science Education – Recent Research Studies*. Dordrecht, Kluwer, p. 17-18.
- Mathe S., Meheut M., & de Hosson C. (2008). Démarche d'investigation au collège : quels enjeux. *Didaskalia*, 32, p.41-76.
- Mathe, S. (2010). *La "démarche d'investigation" dans les collèges français. Elaboration d'un dispositif de formation et étude de l'appropriation de cette nouvelle méthode d'enseignement par les enseignants*. Thèse de l'Université Paris-Diderot-Paris 7.
- Rey, B., Carette, V., Defrance, A. & Kahn, S. (2006). *Les compétences à l'école. Apprentissage et évaluation*. Bruxelles : De Boeck.
- Robardet G. (2001). Quelle démarche expérimentale en classe de physique ? Notion de situation-problème. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°836, p. 1172-1190.

Sur les traces des savoirs étudiés dans Mecagenius, un *Serious Game* en génie mécanique.

**Michel Galaup, UMR EFTS, Univ. Toulouse II, ENFA ;
michel.galaup@univ-tlse2.fr**

&

**Catherine Lelardeux, Univ. Champollion Albi, SGRL ;
catherine.leardeux@univ-jfc.fr**

Mots clés : Serious Game, apprentissage, génie mécanique, didactique, théorie des situations didactiques, pédagogie universitaire.

Résumé : La recherche que nous présentons porte sur l'usage d'un serious game pour l'enseignement du génie mécanique à l'université. Les traces informatiques recueillies permettent le repérage de différents indices du parcours des étudiants dans le jeu au regard des savoirs attendus. L'analyse et la description des caractéristiques de ce fonctionnement dynamique montrent les rapports que deux apprenants contrastés peuvent entretenir avec les savoirs lors de l'utilisation de ce milieu didactique. Enfin, sera discuté le degré d'a-didacticité qu'offre le Serious Game.

1. Introduction

Les jeux sérieux ou Serious Game se situent au carrefour de plusieurs domaines : jeux, enseignement, Tice. Ils permettent d'enseigner et d'apprendre tout en s'amusant au travers d'applications informatiques. Pour (Alvarez & Michaud, 2008), « *la vocation d'un Serious Game est d'inviter l'utilisateur à interagir avec une application informatique dont l'objectif est de combiner des aspects d'enseignement, d'apprentissage, d'entraînement, de communication ou d'information, avec des ressorts ludiques et/ou des technologies issus du jeu vidéo. Une telle association a pour but de donner à un contenu utilitaire (serious), une approche vidéo-ludique (game). Elle s'opère par la mise en relation d'un scénario utilitaire avec un scénario ludique* ». Mais l'absence de consensus sur la définition des Serious Game est souvent soulignée dans la littérature. En effet, plusieurs définitions possibles sont proposées insistant tour à tour sur différentes facettes du Serious Game : son aspect ludique, l'importance de l'apprentissage, un outil cognitif destiné à stimuler le joueur dans son apprentissage, un développement informatique spécifique. Face à cette multiplicité d'approches nous pouvons dire que, de façon plus générale, les jeux sérieux sont des jeux vidéo qui s'appuient sur les ressorts des jeux pour véhiculer des connaissances spécifiques à des fins d'apprentissage. Ainsi, de nombreuses recherches ont montré différents apports des Serious Game sur l'apprentissage, prenant leur suite nous avons voulu aborder cette question avec un positionnement didactique. Plus particulièrement dans cette communication nous nous interrogeons, en situation d'enseignement universitaire sur le parcours du joueur au regard des savoirs de génie mécanique intégrés dans un « Serious Game ».

2. Cadre théorique et questions de recherche

Dans cette communication en nous appuyant sur la théorie broussaldienne, nous considérons le Serious Game comme un milieu didactique (Brousseau 1990). Nous rejoignons ainsi Sanchez (2011), lorsqu'il indique que le Serious Game peut être modélisé sous forme d'une situation a-didactique au cours de laquelle des interactions se mettent en place entre au moins un élève et le milieu didactique représenté par le jeu. Lors de l'utilisation d'un Serious Game en classe, l'apprenant est placé dans un environnement informatique sous engagement tacite avec l'enseignant⁴⁴, dans une visée d'acquisition de connaissances. Dans la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1998) désigne par le terme situation didactique l'ensemble des interactions du sujet avec le milieu permettant de favoriser ces acquisitions de nouvelles connaissances. Il introduit la notion de situation a-didactique qu'il définit comme « des situations d'apprentissage dans lesquelles le maître a réussi à faire disparaître sa volonté, ses interventions, en tant que renseignements déterminants de ce que l'élève va faire : ce sont celles qui fonctionnent sans l'intervention du maître au niveau des connaissances.» (Brousseau, 1998, p. 311). Pour Margolinas (1993), dans une situation a-didactique "l'élève devient indépendant du système enseignant" (Margolinas, 1993, p.33), il est alors dans une relation privilégiée avec le savoir disciplinaire. Parmi les trois grands types de situations a-didactiques⁴⁵, nous retiendrons ici la situation d'action dans laquelle le sujet est confronté à un milieu qui interagit avec lui.

Dans le cadre de l'utilisation d'un Serious Game en classe, les apprenants sont placés en interaction avec un milieu didactique qui a été conçu de manière à ce que les rétroactions dans le jeu soient compatibles avec les savoirs visés. D'une certaine manière dans un Serious Game, les intentions du professeur restent en partie opaques à l'élève. Seules les relations avec le milieu didactique que constitue le jeu doivent être suffisamment prégnantes et adéquates pour que l'élève puisse construire des connaissances.

Dans cette recherche, une de nos préoccupations consiste à étudier les rapports que les apprenants peuvent entretenir avec les savoirs cristallisés dans un Serious Game nommé Mecagenius⁴⁶, dédié au génie mécanique. Cette recherche s'inscrit dans la continuité des travaux de recherche en didactique professionnelle de (Becceril Ortega, 2008). Le travail de cet auteur porte sur l'étude de la chaîne transpositive complète allant de l'analyse du travail professionnel jusqu'au contexte de la formation via un simulateur informatique appelé Mouv⁴⁷. A la lumière de ces travaux, notre objectif est de modéliser « ce qui se passe » lors de l'utilisation d'un Serious Game en classe, en analysant l'impact de ce milieu didactique sur les apprenants. Dans cette communication, il s'agit de décrire quelques caractéristiques de ce fonctionnement. Comment le décrire ? Comment modéliser les connaissances des apprenants au regard des savoirs visés ? Notre hypothèse est la suivante : si le milieu didactique Serious Game permet de transmettre des connaissances, alors nous devrions pouvoir identifier quelques indices sur la dynamique de la construction des connaissances des apprenants.

⁴⁴ Cet engagement est le contrat didactique.

⁴⁵ Situation d'action, situation de formulation, situation de validation.

⁴⁶ Mecagenius est un Serious Game en génie mécanique construit dans le cadre d'un projet de recherche - développement. Il permet de découvrir un atelier de fabrication, d'apprendre à mettre en œuvre des Machines Outil à Commande Numérique (MOCN) et de gérer un projet de fabrication.

⁴⁷ http://mouv.univ-jfc.fr/presentation_projet.html

3. Matériel et méthodes

Cette recherche vise à rassembler et de confronter des éléments de description, de compréhension et d'explications relatives aux pratiques d'enseignement-apprentissage (Bru, 2002). Il s'agit avant tout de construire une connaissance scientifique des pratiques telles quelles existent dans leur diversité. Notre intention est ici de rendre compte de la dynamique dans laquelle l'élève agit et réagit aux situations proposées par Mecagenius et de décrire quelques éléments de fonctionnement de ce système a-didactique. Pour rendre compte du parcours de l'élève dans Mecagenius, nous avons élaboré un outil permettant le repérage de différents indices grâce aux traces informatiques recueillies lors de l'utilisation de Mecagenius par les étudiants. Dans cette perspective méthodologique, nous étudions les conduites de deux élèves : le premier (A1) est déclaré "*sensé suivre sans problèmes*" par son enseignant et le deuxième élève (A2) est déclaré "*avoir des difficultés en génie mécanique*". A chaque séance, deux apprenants sont ainsi désignés par l'enseignant. A la suite de Leutenegger (2003), nous considérons que ces deux étudiants contrastés par leur position d'excellence dans la classe peuvent s'avérer des révélateurs du fonctionnement du système didactique observé (Leutenegger, 2003).

L'étude a impliqué deux enseignants de génie mécanique d'une université toulousaine et 6 groupes d'étudiants de Licence Pro « génie mécanique ». Au total, 59 étudiants ont utilisé Mecagenius pendant une séance de quatre heures. Parmi ces étudiants, douze ont été désignés par leurs enseignants comme « fort ou faible » en génie mécanique.

Le dispositif que nous avons implémenté dans Mecagenius permet de tracer temporellement toutes les actions effectuées par les joueurs. Un marqueur temporel de l'action (frappes clavier, clics souris) réalisée par les élèves lors de l'utilisation de Mecagenius est enregistré sous la forme d'une liste. Nous avons analysé « *à la main* » les traces relatives aux douze étudiants (6409 évènements tracés ont été recueillis) en procédant d'abord à un découpage et une réorganisation des traces brutes. Deux types de données ont été analysées : les premières de type macro sont liées au jeu (niveau de jeu, nombre de parties jouées, score, types d'erreurs) ; les secondes, de type micro, rendent compte chronologiquement du détail des actions effectuées par le joueur. Le travail de segmentation sur ces traces permet de découper par parties tous les essais fructueux ou infructueux du joueur. Des données micro, nous avons ensuite inféré au regard de l'analyse des activités d'un opérateur expert⁴⁸, les temps de réglage, le nombre de coups effectués ainsi que les actions réalisées ayant conduit aux erreurs repérées au niveau macro.

Ainsi, à partir de ces traces nous pouvons comptabiliser, catégoriser et analyser les différentes actions, et les durées entre deux actions effectuées. Ces données rendent compte des interactions de l'étudiant avec le Serious Game et permettent de suivre « *à la trace* » son activité de joueur. De ces traces, nous pouvons inférer les stratégies d'utilisation du jeu des différents étudiants au regard des savoirs implémentés dans le jeu. L'expérience s'est déroulée sur une seule séance lors de laquelle nous avons recueilli les traces informatiques. Les étudiants travaillent individuellement sur différents postes informatiques. Dans cette recherche, nous nous sommes orientés vers une méthodologie qui puisse rendre compte de la dynamique des apprentissages au regard des savoirs visés par le jeu « *le roi de pref* » que nous décrivons ci-dessous. Mecagenius est composé de soixante mini-jeux, la réussite de ce jeu conditionne les résultats globaux du joueur.

⁴⁸ Travail mené en didactique professionnelle pour l'étude du simulateur Mouv (Becceril Ortega, 2008)

Description du jeu utilisé dans le cadre de l'expérience



Figure 1. Le jeu « *Le roi de la préf* »

La figure 1 représente l'interface graphique d'un des jeux de Mecagenius intitulé « *Le roi de la préf* ». La compétence visée dans ce jeu est la suivante : « *Procéder à des réglages (PREF⁴⁹ et DEC⁵⁰)* ». Le jeu comporte trois niveaux de difficulté (débutant, confirmé et expert) établis à partir d'une enquête sur les compétences professionnelles en génie mécanique. Cette enquête a été réalisée lors de la conception du jeu au travers de l'analyse des curricula existants, et auprès d'enseignants de génie mécanique experts du domaine (Galaup & al, 2010). Le jeu vise l'acquisition de savoirs de génie mécanique constitutifs de la compétence de réglage préalable à l'usinage d'une pièce. Il s'agit de palper la face avant d'une pièce à 10 microns près en un minimum de coups et le plus rapidement possible. La compression admissible sur le palpeur est de $8/10^{\text{ème}}$. Ainsi, pour réussir au jeu, le joueur doit déplacer la tourelle de la Machine Outil à Commande Numérique (MOCN) jusqu'à la pièce à usiner en utilisant les diverses commandes : axes de déplacement (X ; Z) ; sens (- ; +). Le joueur a aussi la possibilité de modifier l'incrément afin de faire varier la distance de déplacement et pouvoir ainsi diminuer le nombre de coups. Il est également demandé un calcul vectoriel relatif à « la prise de référence ».

Des contraintes ludiques (limite de temps et limite du nombre de coups) permettent de proposer graduellement des difficultés pour contraindre le joueur à optimiser ses réglages. D'autres fonctions sont disponibles comme le zoom qui permet d'agrandir la fenêtre afin de pouvoir affiner le réglage ainsi qu'une aide au joueur et un rappel de la consigne « *Palpe la face avant de la pièce à 10 microns près en un minimum de coups. Calcule la prise de référence. Compression admissible sur le palpeur : $8/10^{\text{ème}}$* ».

4. Résultats

A partir du recueil des traces informatiques issues du Serious Game, nous avons extrait les données relatives à chacun des douze joueurs. Nous avons synthétisé l'ensemble du corpus de façon à documenter le parcours du joueur dans le jeu « *le roi de la préf* ». Le tableau ci-dessous présente à travers les cinq variables listées ci-après, la condensation des résultats pour les différents étudiants observés (A1 "*sensé suivre sans problèmes*" et A2 "*en difficulté scolaire*") :

⁴⁹ Pref : Prise de Référence.

⁵⁰ Dec : Décalage.

- les scores
- le nombre de fois que le joueur a joué au jeu
- la moyenne des temps de réglage de la MOCN
- la moyenne des nombres de coups effectués pour réussir le réglage de la MOCN
- les erreurs et problèmes rencontrés par l'apprenant

		Points Tps de réglage Remarques	Niveau de jeu débutant	Niveau de jeu confirmé	Niveau de jeu expert
Groupe A Séance 8/04/11	A1 a	Nombre - Points	2 fois - 50 pts	0 fois - 0 pts	9 fois - 600 pts
		Temps de réglage	26,6 s - 24 coups		6,2 s - 15 coups
		Remarques	erreur de signe (1)		manque de précision (2)
	A2 a	Nombre - Points	6 fois - 50 pts	18 fois - 200 pts	0 fois - 0 pts
		Temps de réglage	20,4 s - 15 coups	8,55 s - 20 coups	
		Remarques	Erreur de signe (1) erreurs de calcul (3)	palpeur cassé (2)	
Groupe B Séance 7/04/11	A1 b	Nombre - Points	3 fois - 100 pts	1 fois - 100 pts	1 fois - 200 pts
		Temps de réglage	21,23 s - 23 coups	13,8 s - 18 coups	9,1 s - 16 coups
		Remarques	erreur de calcul (1)		
	A2 b	Nombre - Points	3 fois - 50 pts	0 fois - 0 pts	0 fois - 0 pts
		Temps de réglage	19,8 s - 26 coups		
		Remarques	Erreur de signe (1) erreur de calcul (1)		
Groupe C Séance 6/04/11	A1 c	Nombre - Points	2 fois - 50 pts	2 fois - 100 pts	4 fois - 200 pts
		Temps de réglage	38,05 s - 42 coups	13,2 s - 33 coups	8,3 s - 13 coups
		Remarques	erreur de signe (1)		erreurs timeout (1) manque de précision (1)
	A2 c	Nombre - Points	2 fois - 50 pts	3 fois - 100 pts	7 fois - 200 pts
		Temps de réglage	60,05 s - 66 coups	11 s - 23 coups	11,9 s - 17 coups
		Remarques	Erreur de signe (1) erreurs de calcul (1)		erreurs timeout (3) erreurs de calcul (2)
Groupe D Séance 21/04/11	A1 d	Nombre - Points	0 fois - 0 pts	5 fois - 300 pts	0 fois - 0 pts
		Temps de réglage		11,26 s - 8 coups	
		Remarques		erreur timeout (1)	
	A2 d	Nombre - Points	0 fois - 0 pts	7 fois - 100 pts	0 fois - 0 pts
		Temps de réglage		12,2 s - 21 coups	
		Remarques		Palpeur cassé (1) erreurs de calcul (3)	
Groupe E Séance 27/04/11	A1 e	Nombre - Points	1 fois - 50 pts	1 fois - 100 pts	1 fois - 200 pts
		Temps de réglage	13,7 s - 16 coups	10,6 s - 16 coups	11,2 s - 16 coups
		Remarques			
	A2 e	Nombre - Points	4 fois - 0 pts	0 fois - 0 pts	9 fois - 400 pts
		Temps de réglage	24,9 s - 63 coups	11 s - 23 coups	11,9 s - 17 coups
		Remarques	Palpeur cassé (1) erreurs de signe (2)	erreurs timeout (3) erreurs de signe (1) manque de précision (2)	
Groupe F Séance 20/04/11	A1 f	Nombre - Points	3 fois - 100 pts	2 fois - 0 pts	4 fois - 400 pts
		Temps de réglage	26,75 s - 37 coups	12 s - 25 coups	13,3 s - 18 coups
		Remarques		erreur de signe (1)	erreur time out (1)
	A2 f	Nombre - Points	6 fois - 50 pts	0 fois - 0 pts	0 fois - 0 pts
		Temps de réglage	33,4 s - 92 coups		
		Remarques	Palpeur cassé (2) erreurs de calcul (2)		

Tableau 1. Synthèse des résultats du jeu « le roi de la préf »

Les résultats mettent en évidence des différences entre les deux groupes étudiés (A1 & A2) ce qui permet d'inférer les stratégies de jeu utilisées. Nous constatons que pour les étudiants déclarés « *sensé suivre sans problème* » (A1), les scores, au regard du nombre de fois que le joueur a joué au jeu, sont de manière générale plus élevés. Nous pouvons souligner aussi certaines stratégies de jeu de ces joueurs qui testent tous les niveaux de jeu en marquant des points dans chacun d'entre eux. Ils jouent notamment davantage au niveau de jeu « expert », jeu le plus difficile. Nous constatons également des stratégies de jeu qui consistent à une accumulation de points (*farming*) chez certains joueurs qui restent beaucoup de temps sur un même jeu pour augmenter leur score.

En ce qui concerne la moyenne des temps de réglage de la MOCN et le nombre de coups effectués, nous observons des différences significatives. Pour les étudiants déclarés par l'enseignant "*en difficulté scolaire*" (A2), les temps de réglages sont plus longs. Les traces révèlent également que pour arriver à obtenir le premier réglage de la MOCN, ces joueurs mettent beaucoup plus de temps. Le nombre de coups utilisés pour obtenir le réglage est donc plus important pour ces étudiants. Enfin, en ce qui concerne les erreurs et problèmes rencontrés, nous pouvons noter que le nombre d'échec (palpeur cassé, erreur de signe, manque de précision, ...) est plus élevé. Ce constat est relatif à une stratégie de jeu du joueur qui correspond au tâtonnement, par une succession d'essai-erreur le joueur arrive au résultat attendu.

- Pour ce qui concerne les échecs de type palpeur cassé ou manque de précision, nous avons pu identifier que la difficulté provient soit d'une absence de prise en compte de la variable incrémentielle du MOCN, soit d'un mauvais choix de sa valeur. Ces erreurs témoignent d'une maîtrise insuffisante des savoirs à mobiliser et ont pour incidence un nombre de coups trop élevé (liés à des déplacements trop réduits de la tourelle) ou la détérioration du palpeur (en raison de déplacements trop importants). Cette stratégie de jeu correspond à une succession de petites valeurs de déplacement pour déplacer à vitesse constante la machine et donc de limiter la casse de cette dernière.

- Pour les échecs « *erreur de signe* », qui apparaissent presque systématiquement chez les étudiants A2, nous constatons que ces difficultés proviennent d'un manque de connaissances relatives aux axes de déplacement de la MOCN. Pour atteindre la compétence visée dans ce jeu « *Procéder à des réglages (PREF et DEC)* », il était nécessaire que les étudiants puissent mobiliser à minima des savoirs relatifs aux notions d'axes et de sens tel que ceux impliqués dans la compétence du curriculum de formation en génie mécanique : « *Se déplacer en manuel sur une MOCN* ». Enfin l'analyse pointe que ces étudiants ont utilisé l'aide plus souvent lors de l'utilisation du jeu. Cette stratégie de jeu qui conduit le joueur à s'appuyer sur les réponses fournies dans le jeu pour surmonter ses problèmes.

5. Discussion et perspectives

Le but de cette communication était de présenter une réflexion didactique autour de l'utilisation d'un Serious Game dans un enseignement universitaire. Nous avons analysé comment des étudiants aux prises avec un Serious Game de génie mécanique mobilisent ou non des savoirs permettant de réussir ou non le jeu. Pour cela, nous avons analysé les traces informatiques lors de l'utilisation de Mecagenius. Les outils que nous avons construits au cours de cette recherche mettent en évidence des différences de dynamique d'apprentissage entre étudiants. L'analyse de ces traces a permis de repérer quelques indices des stratégies de jeu utilisées. Elles se révèlent être de sérieuses pistes pour mieux comprendre les différences de dynamique d'apprentissage au regard des objets de savoir visés. Nous sommes en train de

développer d'autres pistes pour affiner ces résultats en les soumettant à un traitement statistique plus profond permettant de rendre compte de l'évolution des compétences afin de fournir des informations aux acteurs du système didactique ainsi que des traits génériques de l'action des apprenants.

Nos résultats suggèrent par ailleurs que le Serious Game offre une situation d'action dans laquelle l'étudiant est confronté à un milieu avec lequel il interagit. Ce qui va dans le sens des travaux menés par Sanchez (2011). En effet, les traces informatiques mettent aussi en lumière que les élèves prennent des initiatives, des décisions et s'engagent dans le Serious Game. Ces éléments semblent accréditer l'idée d'une certaine a-didacticité du dispositif Mecagenius. Cette question reste cependant ouverte et suppose des approfondissements théoriques que nous souhaiterions poursuivre dans le futur. Pour la suite de notre recherche, dans une perspective comparatiste, ces résultats vont être analysés au regard des observations de la séance ainsi que des entretiens avec les enseignants et les élèves.

Bibliographie

Alvarez, J., & Michaud, L. (2008). *Serious Games : Advergaming, edugaming, training and more*.

Amade-Escot, C. (2005). *Milieu, dévolution et contrat didactique : regard de l'éducation physique*. In M.H. Salin, P. Clanché, & B. Sarrazy (Éd.), *Sur la théorie des situations didactiques. Questions, réponses, ouvertures. Hommage à Guy Brousseau* (pp. 91-98). Grenoble : La pensée sauvage.

Becceril Ortega, R. (2008). *Contexte professionnel, contexte de la formation supérieure technologique, approche didactique. Les cas des formations utilisant des simulateurs informatiques*. Toulouse.

Brousseau, G. (1990). Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9(3), 309-336.

Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La pensée sauvage.

Bru, M. (2002). Pratiques enseignantes : des recherches à conforter et à développer. *Revue Française de Pédagogie*, n°138.

Galaup, M., Viallet, F., Amans-Passaga, C. (2010). *Conception d'un jeu sérieux en génie mécanique : identification des compétences et des savoirs à enseigner*. Séminaire doctoral de l'Ardist.

Leutenegger, F. (2003). *Etude des interactions didactiques en classe de mathématiques : un prototype méthodologique*. Numéro spécial Bulletin de psychologie, tome 56 (4), 466, 559 - 571.

Margolinas, C. (1993). *De l'importance du vrai et du faux dans la classe de mathématique*. Grenoble : La pensée sauvage.

Sanchez, E. (2011). *Usage d'un jeu sérieux dans l'enseignement secondaire. Modélisation comportementale et épistémique de l'apprenant*. RSTI – RIA – 25/2011.

Schubauer-Leoni, M.-L. (2008). *La construction de la référence dans l'action conjointe professeur-élèves*. In N. Wallian, M.-P. Poggi, & M. Musard (Eds.). *Co-construire des savoirs : les métiers de l'intervention dans les APSA* (pp. 67-86). Besançon : Presses Universitaires de Franche Comté.

Pratiques ordinaires d'écriture en sciences de la vie et de la Terre en Première et Terminale Scientifique

**Myriam Gaujoux, Univ. Lille 3, Laboratoire CIREL-Théodile ;
myriam.gaujoux@wanadoo.fr**

Mots-clés : Sciences Expérimentales, pratiques d'écriture, écrits scientifiques, étude comparée, lycée, génétique

Résumé : Cette proposition s'inscrit dans le cadre d'une recherche en cours sur les pratiques ordinaires d'écriture en SVT au lycée. L'objectif de ce travail est d'étudier dans quel contexte didactique et pédagogique les pratiques d'écritures s'élaborent dans différentes classes afin de les décrire et de les caractériser. Pour cela, une première recherche en classe de première scientifique a été faite au cours d'un Master 2, elle est prolongée et approfondie avec l'observation de 4 séances en enseignement de spécialité dans deux classes de Terminale S. Une grille d'analyse a été adaptée à partir d'une grille proposée par Giguère J. et Reuter Y (2003). Dans un deuxième temps, des comparaisons entre les pratiques d'écriture dans les différentes classes cherchent à mettre en évidence les spécificités propres à chaque niveau ainsi que les invariants en matière de pratiques d'écriture.

1. Cadre théorique de recherche

De nombreux travaux de chercheurs en linguistique, anthropologie ainsi que dans certains courants de psychologie considèrent que l'écriture participe pleinement à la construction de la pensée, qu'elle permet l'expérience d'une prise de distance entre l'intention initiale et ce que dit de cette intention, l'écrit résultant. En sciences de l'éducation, plusieurs recherches montrent que certaines activités d'écriture interviennent dans les apprentissages des élèves (Klein 2004, Rowell 1997, Prain et al, Vérin 1988), les activités les plus efficaces seraient celles qui encouragent les reformulations, les réécritures ou qui placent les élèves dans des situations réflexives. L'écriture scientifique à l'école peut être considérée comme pluridimensionnelle, activité culturelle et sociale en partie déterminée par les pratiques sociales de références, activité langagière et activité fonctionnelle au service des contenus à élaborer. Les séances de travaux pratiques parce qu'elles s'élaborent à partir de démarches d'investigation, autorisent les travaux en groupes, les déplacements des élèves, mettent en œuvre l'écriture au service d'une démarche, et peuvent permettre de l'observer dans sa pluralité. (Vérin 1988).

Qu'observe-t-on dans les classes ? L'écriture y est très présente, la durée consacrée aux activités d'écriture observées lors de trois séances en 1^{ère} S est comprise entre 33 et 69% de la durée totale du cours. La durée moyenne d'une activité d'écriture y est de l'ordre de 6 minutes. Retrouve-t-on ces tendances quelques soient le niveau observé, le contenu enseigné et le professeur ? Comment l'écriture participe-t-elle dans les contextes de classes aux apprentissages, quand bien même elle ne serait pas utilisée comme une modalité de travail explicitement construite pour cela ? Anne Vérin met en parallèle les fonctions de l'écriture dans une pédagogie transmissive et celles observables dans une pédagogie constructiviste.

L'ordinaire des classes présente-t-il des situations aussi tranchées ? Ainsi la recherche conduite en classe de 1^{ère} S révèle des moments d'écriture collaborative élèves-enseignante construisant les contenus tout en s'inscrivant dans une démarche plutôt guidée par l'enseignante. Pour parvenir à répondre à ces questions, il m'a semblé nécessaire de décrire finement les pratiques ordinaires d'écriture au sein de différentes classes, à l'aide d'un outil qui permettrait d'obtenir des données à la fois quantitatives et qualitatives.

L'objectif de cette communication est de présenter cette grille descriptive et d'analyse et de donner à voir ce qu'elle permet de dire des pratiques ordinaires d'écriture dans les classes.

2. Méthodologie de recherche mise en œuvre

2.1. Le recueil de données

2.1.1. Le contexte de la recherche

Une première recherche dans une classe de 32 élèves de 1^{ère} S avait été faite sans choix a priori des contenus disciplinaires enseignés lors des observations, deux séances avaient permis d'observer des activités d'écriture à partir de contenus en relation avec les processus de divisions et de croissance cellulaires chez la plante, une séance avait porté sur le rôle du foie dans la régulation de la glycémie. Aucune recherche approfondie n'a été mise en place pour mesurer l'influence possible des contenus sur les apprentissages et la réalisation des activités d'écriture.

Pour la recherche conduite en Terminale S, il a été choisi de mieux articuler l'observation de l'enseignement des contenus avec celle des pratiques d'écriture. Aussi le choix a été d'observer les deux classes pendant des enseignements de génétique en classe de spécialité, et ce pour trois raisons principales. L'une d'elles est que la génétique s'accompagne de conventions d'écriture spécifique dont il pouvait être intéressant d'observer la mise en œuvre en classe lors de la construction des contenus en tant qu'outil et en tant qu'objet d'apprentissage. L'autre raison est qu'en Terminale S et en enseignement de spécialité de surcroît, les élèves ont reçu un enseignement de génétique depuis la classe de 3^{ème} et que l'on peut raisonnablement estimer que les lycéens ont une certaine expertise en génétique, qui pourrait être observable lors des séances, notamment dans l'articulation des raisonnements, des démarches mises en œuvre et des activités d'écriture. Ceci paraît d'autant plus pertinent que l'enseignement de spécialité se produit à la suite du cours en enseignement commun, mais qu'il se fait à partir d'une démarche historique incluant la naissance de la génétique moderne marquée par les travaux de Mendel, jusqu'à la révolution biotechnologique ayant permis d'accéder à la réalité moléculaire des gènes et de leurs applications notamment en santé humaine.

La troisième raison tient au fait que les difficultés didactiques liées à l'enseignement des concepts de génétiques ont fait l'objet de nombreuses recherches et publications notamment dans la littérature anglo-saxonne. Ces études permettent de donner des clés d'analyse des moments d'enseignement-apprentissage de ces notions lors des observations de séances, et surtout, lors du troisième temps de recherche sur l'analyse plus spécifique de certains écrits individuels ou collectifs.

Il est utile d'en présenter quelques résultats importants. De nombreuses études (Marbach-AD et Stavy 2000) (Horwitz 1996 ; Stewart et Van Kirk, 1990 in Duncan et Reiser 2007) ont

montré les difficultés à raisonner en faisant appel simultanément à tous les niveaux d'organisation et parfois aussi en faisant appel à d'autres domaines des Sciences de la Vie tels que la physiologie des organismes, l'évolution ou l'écologie (Ferrari et al 1998, Hmelo, Holton et Kolodner 2000, Penner, 2000 ; Resnick 1996 ; Wilensky et Resnick, 1999 in Duncan et Reiser, 2007).

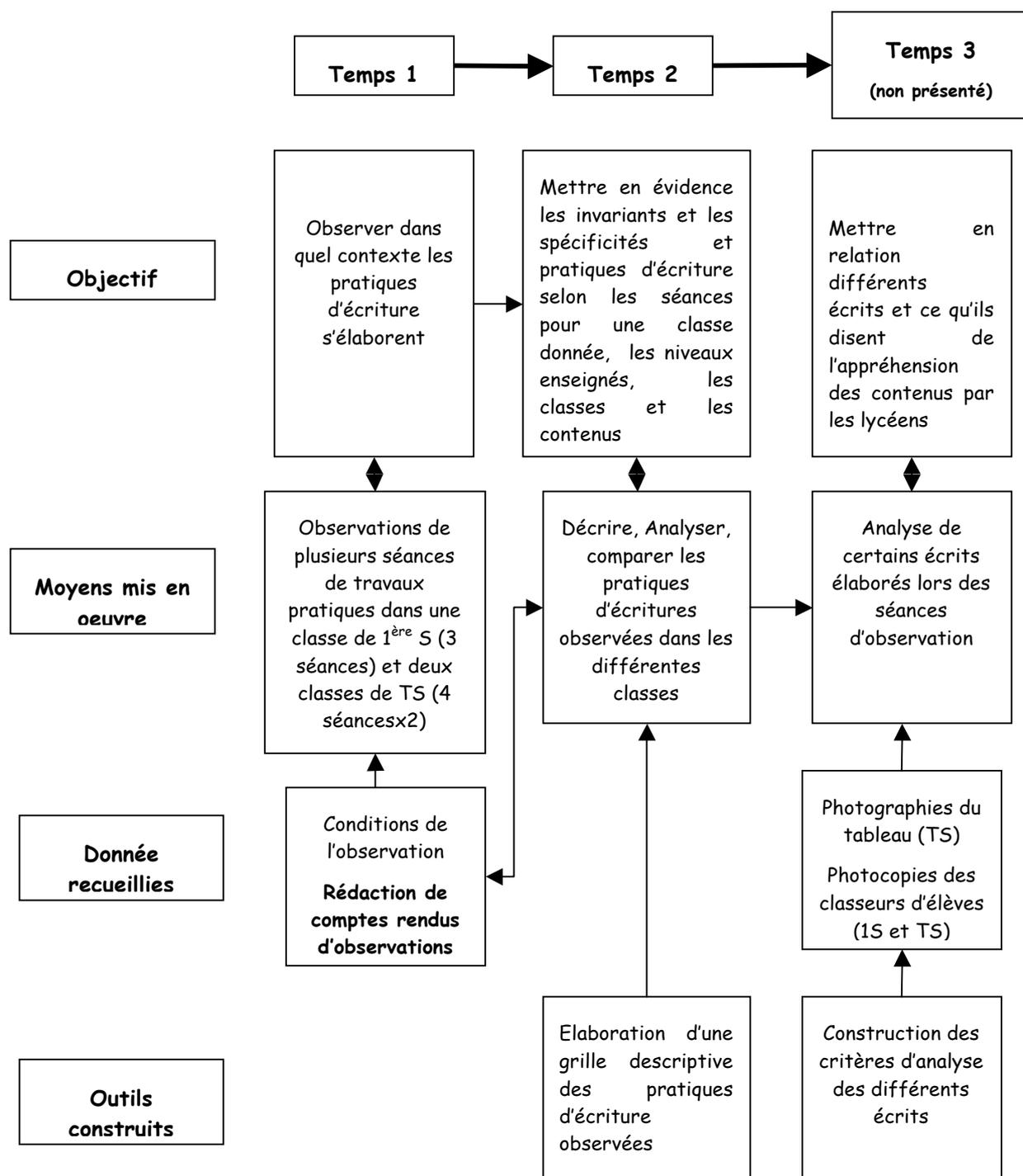
Venville et Donovan (2005) soulignent que le concept de gène n'est pas encore fixé, il évolue en fonction des nouvelles découvertes scientifiques mais aussi en fonction des champs d'expertise des scientifiques (génétique moléculaire, génétique des populations....) et des contextes dans lesquels ces experts interviennent. Le fait d'enseigner à l'école, une vision discrète du gène – un gène, une protéine- peut entraîner des difficultés conceptuelles à comprendre certains processus. La vision populaire de la notion de gène est qu'un gène est directement responsable d'un caractère et que pour chaque caractère, il y a un gène codant. Cette vision est renforcée à l'école par l'enseignement exclusif de la génétique mendélienne sur la transmission de caractères qui effectivement sont sous le contrôle d'un seul gène. Cette vision est à la fois utile pour des raisons de simplification didactique mais dépassée du fait des avancées des connaissances scientifiques actuelles (Morange, 2001). Par ailleurs la vision mendélienne de la génétique peut empêcher chez les étudiants une ouverture possible sur l'élaboration de représentations plus complexes.

La compréhension de la génétique se heurte aussi à des difficultés langagières spécifiques : certains termes comme le gène, le chromosome recouvre des réalités différentes dans les processus cellulaires dynamiques. Pour Kindfield (1991, 1994), les observations menées en classe révèlent par exemple que dans les discours enseignants, le terme chromosome est utilisé de manière générique. Ainsi les enseignants emploient ce terme indépendamment de l'état du chromosome dans la cellule, état qui dépend du moment étudié dans le cycle cellulaire. Or les élèves en garde souvent une représentation figée par leur premier contact avec la figure du chromosome qui est celle présentée sur des caryotypes d'êtres humains en classe de 3^{ème}.

Ces difficultés mises en évidence par la recherche peuvent aider à comprendre et à analyser les contenus construits lors des activités, en particulier lors des activités d'écriture. La réalité observée peut aussi venir questionner ces résultats de recherches issus de travaux réalisés dans des classes ayant un système éducatif différent du système français, ainsi que des approches curriculaires diverses.

2.1.2. La démarche de recherche

La figure ci-dessous résume en partie la démarche élaborée.



La construction du recueil de données s'est inspirée d'un travail méthodologique présenté par Annick Fluckiger, élaboré lors d'une recherche en didactique des mathématiques, qui distingue différents niveaux dans le travail de recherche. Pour répondre à la question de recherche, différents objectifs ont été définis et mis en relations avec (i) des moyens à mettre en oeuvre pour les atteindre, (ii) les données à recueillir et (iii) des outils à construire visant à faire « parler » les données recueillies

2.2. Construction de la grille d'analyse

L'objectif de cette grille d'analyse est de décrire finement les pratiques d'écritures. Elle doit répondre à un certain nombre de questions aux différents niveaux de la recherche, qui sont par exemple :

- (i) Lors d'une séance : Qui écrit ? A quelle fréquence ? Quels contenus sont écrits ? Selon quelles modalités de travail ? Quelles en sont les fonctions ? Quels supports sont utilisés
- (ii) Pour une classe donnée, sur l'ensemble des séances observées, tout comme pour une comparaison entre les trois enseignements observés, existe-t-il des points communs et des différences notables ?

La grille élaborée pour la recherche effectuée en classe de première a permis de révéler le poids relatif des activités d'écriture au cours d'une séance et d'identifier types d'écrits, supports d'écriture, ainsi que la part relative des auteurs dans les activités d'écriture. Toutefois, elle s'est peut intéresser aux aspects fonctionnels des différentes activités d'écriture et a peu interrogé la relation entre contenu et activités d'écriture. De ce fait, une nouvelle grille plus complète, plus complexe aussi, a été élaborée en faisant l'hypothèse qu'elle permettra de décrire et d'analyser plus complètement les pratiques d'écriture dans ce qu'elles ont de générique et de spécifiques aux contenus travaillés.

Les pratiques ordinaires d'écriture scientifique s'inscrivent dans ce que Jacinthe Giguère et Yves Reuter dénomme l'« univers de l'écrit » et dont ils donnent la définition suivante « *l'ensemble des écrits mis à disposition des élèves et des activités écrites pratiquées en classe.* ». Elaborée pour une recherche comparative entre différents types d'enseignements à l'école primaire, leur grille d'analyse s'avère très complète et permet de décrire finement l'ensemble des dimensions de lecture et d'écriture scolaire dans les différentes disciplines. De plus son utilisation systématique permet une comparaison effective. Elle présente aussi des spécificités liées au contexte de l'école primaire, à savoir qu'un maître enseigne l'ensemble des disciplines scolaires, que les élèves travaillent dans l'espace unique de leur classe, qui peut alors être investi de leurs travaux successifs. Enfin elle intègre une analyse descriptive des activités de lecture, ce qui n'est pas l'objet de la présente recherche. Au lycée, l'enseignement disciplinaire se fait sans classe attitrée et en sciences expérimentales, les lieux choisis dépendent souvent des activités expérimentales prévues. Une grille adaptée au contexte de l'enseignement des SVT au lycée et centrée sur les pratiques d'écriture, tout en s'appuyant sur les travaux des deux auteurs, a été élaborée. Elle s'articule autour de trois objets observés :

- les supports de travail,
- les outils pour écrire et
- les activités d'écriture.

Le tableau ci-dessous résume les différents critères sélectionnés

Objets observés		Caractéristiques	Exemples	Critères d'analyse
Supports de travail	Permanents	Supports conservés par les lycéens et présents à chaque séance	Classeurs des lycéens ; photocopiés conservés dans les classeurs	<p>Quantité (en particulier pour les supports ponctuels)</p> <p>Variété</p> <p>Auteurs (élève seul, groupe d'élèves, enseignant, élève(s) et enseignants)</p> <p>Scripteur (élève seul, groupe d'élèves, enseignant, élève(s) et enseignants)</p> <p>Contenus en relation avec l'activité d'écriture</p> <p>Sources (uniquement dans le cas de documents non rédigés par le professeur ou par les élèves)</p> <p>Fonctions (support de lecture, de lecture/écriture ou d'écriture seule)</p> <p>Utilisations (fréquence)</p> <p>Imposition/autonomie (qui est à l'initiative de l'emploi de tel ou tel support)</p> <p>Rapport à l'erreur (critère éventuellement observable en classe sur les supports partagés, non observables sur les photocopies de cahiers sauf en cas de ratures/réécriture)</p>
	Ponctuels	Supports nécessaires ponctuellement lors de la séance et utilisé individuellement ou collectivement	Photocopiés, écrans informatiques de travail (animations, logiciels pédagogiques, traitement de texte), transparents, affiches, agenda ...	
	Tableau	Support ponctuel unique, utilisé de manière systématique et collective.	-	
Outils pour écrire	Outil informatique	C'est le seul outil pour écrire qui a été relevé car il est associé à des moments pédagogiques spécifiques.	Clavier informatique Ecrans	<p>Catégories Ecran individuel</p> <p>Fréquence d'utilisation</p> <p>Imposition/autonomie</p> <p>Rapport à l'erreur si observé</p>
Activités		Ensemble des activités d'écriture	<p>Exploitation de documents</p> <p>Réalisations de graphismes (schémas descriptif ou explicatif, dessin d'observations courbes...)</p> <p>Réalisation de tableaux</p> <p>Ecriture de textes expositifs, argumentatifs, explicatifs</p>	<p>Typologie des activités d'écriture soulignant la plus ou moins grande implication du scripteur : concevoir, élaborer, compléter, annoter (Lors de la séance, et de la séquence : fréquence)</p> <p>Typologie des écrits: texte, phrase, mots, tableau, graphique (courbes, histogrammes, camemberts), schéma, dessin, image numérique (Lors de la séance, et de la séquence : fréquence)</p> <p>Fonctions possibles : Construire les savoirs, organiser les savoirs, mettre en forme les savoirs, réinvestir les savoirs. (Lors de la séance, et de la séquence : fréquence, durée)</p> <p>Formes : verbale, graphisme, sémiographique</p> <p>Conditions de l'écriture (ie consigne) : activités fermées de type questions/réponses aux activités ouvertes telle que l'écriture d'une synthèse –</p> <p>Décideur : Imposition/autonomie : qui choisit l'activité d'écriture ? –</p>

Objets observés	Caractéristiques	Exemples	Critères d'analyse
			Collectif/ individuel : même activités sur des contenus différents, même activité/même contenu/ activité différente/ élaboration commune/ élaboration en groupe) Coopération/compétition (entraide, évaluation individuelle) Durée moyenne de chaque activité d'écriture

L'application de cette grille se fait sur les comptes-rendus d'observations qui ont relevé de manière temporelle le déroulement des séances, les activités langagières orales et écrites mises en place par l'enseignant et les élèves. Ils ont été rédigés sous la forme suivante :

Temps (durée)	Description		
	Enseignante	Groupe classe	Elève
L'heure est régulièrement relevée à chaque changement d'activité, ainsi qu'au sein d'une activité lors du relevé d'interactions et de pratiques d'écriture) une ligne du tableau correspond à une activité spécifique.	Chaque action de l'enseignante est décrite ainsi qu'en règle général ce qu'elle dit.	Les comportements du groupe classe sont relevés lorsqu'un comportement collectif a lieu (par exemple, un temps où tous les élèves écrivent)	Les comportements, actions et paroles des élèves y sont consignés.

Puis ces données font l'objet d'un premier traitement qui vise à distinguer au sein d'une même séance les activités définies par les objectifs notionnels cibles – ces objectifs ne sont pas donnés explicitement par l'enseignante, ils sont reconstruits a posteriori à partir de la lecture des compte rendus, sur la base de ma propre expérience d'enseignante en lycée, sur le fait que les enseignantes ayant accepté de me recevoir, ont été mes collègues pendant 5 ans, collègues avec lesquelles j'ai travaillé en étroite collaboration. La grille est alors appliquée à chaque activité, constituée comme une unité didactique fonctionnelle, en distinguant les sous activités. Ce traitement se présente sous la forme suivante :

Séance : n° - Date : - Classe :

ACTIVITE n°**Position dans la séance :****Résumé et objectif(s) notionnel(s) de l'activité**

Une présentation succincte de l'activité est réalisée ainsi qu'une explicitation des objectifs visés en termes de contenus.

Durée totale de l'activité : minutes

Temps/ Durée	Déroulement de la séance		Sous – Activités ECRITURE ou lecture/écriture associées	Modalités de travail	Supports de travail	Outil pour écrire
	Professeur	Elève (individuel et collectif)				
	Il s'agit de reprendre les comptes-rendus d'observations, chaque ligne correspond à une sous activité.		les critères sont repris systématiquement : type d'activité d'écriture Durée Forme (textuel/verbal – graphismes) Coopération/compétition Fonction	ici, il s'agit d'indiquer si le travail est réalisé individuellement, en binôme, collectivement ou en petits groupes	Les critères suivants sont relevés : type de support ponctuel/ permanent Auteur Scripteur contenu Fonction : lire/écrire – lire - écrire	Seul l'outil informatique est relevé. Lorsqu'il n'est pas mentionné, les outils utilisés sont des stylos/crayons à papier (non relevés) pour les supports papier et craies et feutres pour le tableau

Pour chaque séance, un tableau de synthèse est rempli qui permet de relever la durée de chaque activité d'écriture, d'en comptabiliser les différentes fonctions et formes, la fréquence d'utilisation des supports, la diversité de leurs fonctions, les auteurs et les scripteurs.

Chaque tableau de synthèse vise à permettre de faire le bilan des pratiques d'écriture par classe et de les comparer globalement, ainsi que séance par séance sur des activités ayant les mêmes objectifs notionnels.

3. Premiers résultats

Les résultats obtenus en 1^{ère} S montrent que les activités d'écriture sont systématiquement présentes à chaque séance, qu'elles sont principalement initiées par l'enseignant, mais que leurs contenus sont le plus souvent construits avec les élèves. En Terminale S, quelques élèves prennent l'initiative d'une prise de note ponctuelle lors de certaines activités orales. Les bilans sont la plupart du temps dictés et correspondent à des contenus élaborés lors des activités de la séance. Les pratiques de réécriture/reformulation en tant qu'intégrées dans l'enseignement sont rares. Le tableau joue un rôle important dans l'élaboration des écrits avec une intervention plus grande des élèves en Terminale qu'en Première, il joue souvent le rôle de mémoire collective et de support de travail intermédiaire.

Des analyses plus approfondies mettant en œuvre la grille d'analyse sont en cours sur les séances de Terminale S. Visant en particulier à établir des comparaisons, elles cherchent notamment à quantifier et à qualifier les pratiques d'écriture en classe, en explorant par exemple la diversité des fonctions de l'écriture, le rapport à la norme disciplinaire en terme d'écriture méthodologique spécifique, ou en interrogeant la place de certains écrits spécifiques tels que différentes formes de schémas s'exerçant sur des contenus précis en biologie cellulaire et en génétique. Il est prévu d'effectuer une analyse sur la pertinence de la grille et ses limites. La catégorie « activités d'écriture » comprend certains critères qui peuvent parfois se superposer. Ainsi la fonction « construire les savoirs » d'une activité n'exclue pas celle de « réinvestir les savoirs » si l'élève doit faire appel à des connaissances apprises antérieurement, pour construire de nouvelles notions. Cela pose le problème de leur articulation lors de l'analyse. Selon le choix fait, au sein d'une activité fonctionnelle principalement centrée sur « construire les savoirs », choisir d'ignorer un temps de l'activité impliquant l'autre fonction peut conduire à sous estimer cette dernière tout en offrant une meilleure lisibilité de la fonction principale. Au contraire, le choix de les distinguer aboutit à un travail plus fin qui peut néanmoins rendre plus difficile une vision synthétique.

Bibliographie

- Duncan R.G. & Reiser B.J. (2007) Reasoning Across Ontologically Distinct Levels : Student's Understanding of Molecular Genetics, *Journal of Research in Science Teaching*, vol 44, n°7 : 938-959
- Fillon P., Vérin A. (2001) Ecrire pour comprendre les sciences. *Aster 33* : 3-16
- Fluckiger A. (2006) « Macro-méthodologie et didactique des mathématiques » dans MJ Perrin-Glorian et Y. Reuter (eds) : *Les méthodes de recherches en didactiques* Villeneuve d'Ascq, Presses Universitaires du Septentrion 59-70
- Gaujoux M. (2008) Pratiques ordinaires d'écriture scientifique en sciences de la vie et de la Terre en classe de Première Scientifique. Mémoire de master, Université Charles de Gaulle, Lille 3
- Giguère J et Reuter Y. (2003) Présentation d'une grille d'analyse de l'univers de l'écrit à l'école primaire. *Les cahiers THEODILE 4* : 103-121
- Kindfield, A. C. H. (1994). Understanding a basic biological process: Expert and novice models of meiosis. *ScienceEducation*. 78, 255-283.
- Marbach-Ad G. et Stavy R. (2000) Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Educational Research – Journal of Biological Education*, 34(4): 200-205

Morange (2001). *The Misunderstood Gene*. Cambridge, M.A, Harvard University Press

Prain V, Hand B., Hohenshell L.M. (2001) Ecrire pour apprendre les sciences au lycée : stratégies d'écriture d'élèves. *Aster* 33: 49 – 79

Reuter Y. (2006) A propos des usages de Goody en didactique. Eléments d'analyse et de discussion. *Pratiques* 131/132 : 131-154

Rowell P.M. (1997) Learning in school science: the promises and practices of writing. *Studies in Science Education*, 30 : 19-56

Venville G. et Donovan J. (2005) Searching for clarity to teach the complexity of the gene concept, *Teaching Science*, vol 51 N°3, pp20-24

Vérin A. (1988) Apprendre à écrire pour apprendre les sciences *Aster* 6 : 15- 46.

Travail collectif des professeurs et démarches d'investigation : une étude de cas dans l'enseignement de la chimie

Rim Hammoud, Univ. Lyon 1, Ens de Lyon - Ifé, S2HEP ; rim.hammoud@ens-lyon.fr

Mots-clés : Démarches d'investigation, développement professionnel, documentation, ressources, travail collectif

Résumé : Cette contribution porte sur le travail collectif des professeurs de sciences physiques et chimiques (SPC) et sur les démarches d'investigation (DI) qui ont été récemment recommandées dans le nouveau programme de SPC de la classe de seconde du lycée français. Notre recherche s'attache à étudier l'effet des interactions collectives entre enseignants, dans la perspective de DI, sur leur développement professionnel. Tout d'abord, nous présentons le cadre théorique choisi et la méthodologie développée pour cette recherche. Nous exposons ensuite des résultats intermédiaires qui concernent le suivi, sur deux années consécutives, d'un enseignant. Nous montrons que son travail collectif contribue à l'évolution de sa pratique tournée vers les démarches d'investigation.

1. Contexte de l'étude

Les démarches d'investigation (DI) occupent aujourd'hui une place privilégiée dans le contexte curriculaire français. La réforme du lycée et, en particulier, les nouveaux programmes de seconde, en vigueur à la rentrée 2010, prônent ainsi les DI dans la continuité du collège (BO 29 avril 2010).

Si les DI recouvrent des significations et des formes diverses dans les travaux de recherche, l'accent est souvent mis sur un modèle *hypothético-déductif* (Mathé *et al.*, 2008) où la *dimension expérimentale* apparaît centrale (Triquet & Guillaud, 2011) avec une focalisation sur la mise en activité des élèves et leur *responsabilité accrue* dans la construction de leurs savoirs (Coquidé *et al.*, 2009). Par ailleurs, dans la définition des DI que nous retenons, la question de la responsabilité de l'élève vis-à-vis du savoir en jeu est cruciale. Celui-ci est censé travailler en autonomie et construire des savoirs scientifiques en développant par lui-même la méthode et la démarche appropriée, prenant en compte l'interaction avec les pairs et avec l'enseignant, pour résoudre le problème posé. Ainsi, comme le soulignent Boilevin & Brandt-Pomares (2011), l'introduction d'une telle approche pédagogique conduit à de nombreuses modifications dans les activités en classe et transforme la relation didactique. Cela induit en retour des changements hors classe dans la façon dont l'enseignant conçoit son enseignement, ce qui suppose ainsi de sa part un renouvellement de ses ressources et une évolution de ses connaissances professionnelles.

Comme le montrent certaines recherches (Grangeat *et al.*, 2009), le *travail collectif* peut se révéler efficace en terme de développement professionnel et plus particulièrement en terme d'évolution des pratiques enseignantes et des connaissances professionnelles. Les interactions entre enseignants que suppose ce travail collectif apparaissent alors d'une importance capitale à l'égard de la mise en place de DI. Dans notre recherche, nous nous intéressons aux

interactions collectives des enseignants de sciences physiques et chimiques (SPC) en lycée (Hammoud *et al.*, 2010) et nous étudions le jeu entre travail collectif, conception de ressources et développement des connaissances professionnelles.

2. Eléments du cadre théorique et questions de recherche

Dans son activité professionnelle, le professeur interagit avec une multiplicité de *ressources*. Nous nous appuyons sur *l'approche documentaire du didactique* (Gueudet & Trouche, 2009) qui comprend le travail du professeur comme un jeu avec un ensemble de ressources et qui confère à ce terme de ressource une acception très large : tout ce qui concourt au projet d'enseignement du professeur, tout élément susceptible de lui amener une réflexion en réponse à un problème d'enseignement (ressources matérielles, numériques ou non, mais aussi, par exemple, les interactions avec les élèves ou les discussions avec des collègues). Nous nous intéressons ainsi dans notre étude *au travail documentaire* de l'enseignant défini comme un travail sur les ressources visant à constituer la matière de son enseignement : collecter, sélectionner, transformer, mettre en œuvre, partager des ressources... Gueudet & Trouche (*ibidem*) ont employé le terme de *documentation* pour désigner à la fois ce travail et ce qu'il produit. Au fil de son travail documentaire, l'enseignant développe, à partir d'un ensemble de ressources, un *document*, au cours d'un processus de *genèse documentaire*. Ce document réunit des ressources, les usages associés et les *connaissances professionnelles* qui les pilotent. Parmi ces connaissances, nous portons ici une attention particulière aux *PCK* (*Pedagogical Content Knowledge*) (Magnusson *et al.*, 1999). Selon Gueudet & Trouche (*ibidem*), les documents d'un professeur s'articulent en *système documentaire* défini comme étant composé du *système de ressources* (l'ensemble des ressources de l'enseignant) et de connaissances professionnelles associées. Ainsi, le *développement professionnel* est vu, sous l'angle de l'approche documentaire, comme l'évolution conjointe des connaissances des enseignants, de leurs ressources et de leur activité.

Par ailleurs, l'activité de documentation peut être le fait d'un collectif de professeurs. Pour analyser les aspects collectifs du travail documentaire de l'enseignant, nous nous situons dans le cadre de la *théorie de l'activité* (Engeström, 1999) où la *communauté* est vue comme l'un des éléments de l'environnement du professeur, explicatif de son activité. La communauté intervient dès lors que l'individu n'est pas isolé et se définit comme l'ensemble des individus qui partagent le même objet (le même motif). Par ailleurs, les questions centrales de la théorie de l'activité restent l'objet, c'est ce qui lie les actions individuelles à l'activité collective. La projection de l'objet vers des résultats fonctionne comme étant le motif de cette activité et donne un sens plus large aux actions (Engeström, 1999).

Dans cette communication, nous tentons ainsi de répondre à la question suivante : en quoi les interactions collectives au sein de communautés peuvent-ils contribuer à l'évolution du système documentaire de l'enseignant et plus précisément à son développement professionnel tourné vers les DI ?

3. Méthodologie

Nous nous intéressons à la documentation des enseignants de SPC de la classe de seconde, dont le nouveau programme préconise la mise en place des DI. Nous avons développé une

méthodologie s'inspirant de la méthodologie d'*investigation réflexive* (Gueudet & Trouche, 2009) dans l'objectif de suivre le travail documentaire de l'enseignant dans sa continuité, hors classe comme en classe, en sollicitant son *regard réflexif* sur sa propre activité et en l'impliquant activement dans le recueil de données. Des outils ont été ainsi conçus pour répondre à cet objectif, en particulier un *journal de bord* (JB) où l'enseignant décrit, pendant trois semaines, à travers une liste d'items, son activité de documentation relative aux DI et les événements collectifs qui l'alimentent ; ainsi qu'un *journal d'interactions* (JI). En effet, afin de zoomer davantage sur les interactions collectives de l'enseignant, nous avons mis en place pendant la deuxième année de suivi le JI qui est venu remplacer le JB. A travers les différentes rubriques du JI, l'enseignant note chaque mois, dans une démarche réflexive, toute interaction collective dans la perspective de DI (nous avons pu recueillir des données renseignées dans le JI qui s'étalent sur six mois). Le corpus que nous avons recueilli, sur deux ans de suivi, rassemble des enregistrements vidéo (EV) de séances DI ; des enregistrements audio (EA) des réunions des communautés ; des entretiens (EN) ; des données issues du JB et du JI. Notons que, au cours du recueil de données, nous avons observé le travail documentaire de l'enseignant sans intervenir, que ce soit pour approuver ou critiquer ses activités individuelles ou collectives.

Par ailleurs, nous ne limitons pas notre regard aux interactions de l'enseignant à l'intérieur d'une communauté seulement, mais aussi à ses interactions au sein d'un ensemble de communautés dans lesquelles il travaille ses propres ressources au contact d'autres enseignants, de manière à embrasser, autant que faire se peut, son travail collectif. C'est cette diversité que nous avons, en effet, prise en compte dans notre étude, avec des communautés variées : institutionnelles, « naturelles » (sur le lieu de travail), associatives, etc.

Nous présentons ici une étude de cas d'un enseignant que nous avons suivi pendant deux ans, Lucien (14 ans d'expérience d'enseignement en classe de seconde). Dans le cadre de cet article, nous avons choisi d'exploiter les informations issues de son JB, des EV de classe, des EN ainsi que de son JI. Dans l'analyse des EN, nous approchons le système de ressources de l'enseignant, et ses interactions collectives en particulier du côté de la mise en place de DI. L'analyse des EV de classe nous permet d'étudier finement les usages de ressources à travers les activités des élèves et du professeur en accordant une attention particulière aux responsabilités vis-à-vis du savoir. Dans l'analyse du JB, nous croisons l'activité de documentation de l'enseignant relative aux DI (ressources utilisées ou produites par cette activité) et les interactions collectives qui la nourrissent. Nous exploitons l'analyse du JI ici pour mettre en évidence la diversité de communautés ou de personnes avec lesquelles l'enseignant interagit dans la perspective de DI, la fréquence d'interactions, les objets (Engeström, 1999) et l'apport de ces interactions collectives pour sa propre documentation. Ainsi, nous considérons que les éléments dégagés à partir de ces analyses nous permettent d'éclairer l'impact des interactions collectives de l'enseignant sur son développement professionnel tourné vers les DI.

4. Résultats et discussion

4.1. Premier développement d'une séance DI : réorganisation locale du système de ressources, année n

La documentation de Lucien s'alimente d'une variété de ressources, notamment de ses échanges avec ses collègues, et porte, de ce fait, la marque d'imbrication de facteurs

individuels et collectifs. Il considère que son développement professionnel est en liaison étroite avec son travail collectif : « *parce que j'ai envie de changer mes pratiques, en termes de travail, de production, etc., moi j'ai la conviction que ça passe par un travail de mutualisation* » (EN, année n). Les aspects collectifs de son travail documentaire sont donc reconnus, par lui, comme étant indispensables à l'évolution de sa documentation. D'emblée, pour concevoir un TP fondé sur les DI et portant sur l'enseignement expérimental de la quantité de matière, Lucien a échangé avec une collègue de son lycée, Pauline, qui semble avoir, à partir des données du JB et des EN, des relations de travail fortes en lien avec son travail documentaire pendant l'année n de suivi. Un travail collectif a été alors mis en place, initié par des réunions et poursuivi par des échanges de mails et une mutualisation de ressources. Une co-production d'une séance DI a été ainsi le fruit de ce travail collectif. L'analyse de son JB révèle les différentes phases du processus de conception de cette séance où ses interactions avec Pauline apparaissent centrales : c'est elle qui lui a donné l'idée et l'a aidé dans le choix d'une transformation chimique acido-basique pour construire la situation expérimentale de la DI. En effet, la particularité de cette séance DI renvoie au fait qu'elle constitue la suite de deux TP : le premier pose le problème de la neutralisation de l'acide par une base et conclut sur la possibilité de fabriquer du sel, et le deuxième reprend cette conclusion en attaquant les proportions stœchiométriques suivant une démarche théorique et une autre expérimentale. Le JB de Lucien montre qu'il a échangé avec Pauline à maintes reprises : d'abord pour l'élaboration de ces deux TP qui découlent alors de leur travail collectif, et ensuite pour réfléchir ensemble sur la mise en œuvre de ces TP et les réactions d'élèves que Lucien a identifiées en classe. C'est donc cette interaction et cette réflexion collective qui l'ont ensuite amené à concevoir la séance DI qui reprend l'idée du second TP tout en changeant les concentrations. Notons que cette séance DI laisse les élèves en charge de réfléchir et de répondre à deux approches théorique et expérimentale. Ceux-ci semblent avoir une responsabilité importante par rapport au savoir en jeu, ils sont censés travailler en autonomie et construire par eux-mêmes la méthode appropriée pour résoudre le problème posé. Ceci met donc en évidence la pertinence de la démarche proposée dans cette séance vis-à-vis des DI. L'impact du travail collectif semble ainsi manifeste, et constitue vraiment un appui pour la conception du TP d'investigation de Lucien : cette séance DI est tout à fait une nouvelle production qui a été développée, avec l'aide de sa collègue, et mise en place pour la *première* fois, dans le but d'enseigner la quantité de matière. Elle vient donc s'ajouter à son système de ressources et marque ainsi une *réorganisation locale* de ce système. Notre hypothèse est que cette réorganisation va en entraîner d'autres, plus profondes ou plus générales et constitue, de ce fait, un *germe* de l'évolution du système documentaire de Lucien émanant de son travail collectif.

4.2. Développement professionnel dans la perspective de DI, année n+1

Le suivi de Lucien, pendant l'année n+1, témoigne d'importants changements au niveau de ses interactions collectives : on repère à travers le JI (voir extrait, figure 1) une implication dans le travail collectif, nettement plus forte, qui se traduit par des relations de travail profondes avec son collègue du lycée, Jean, en plus de sa collègue Pauline, d'une part, et avec le groupe GFEN sciences (Groupe Français d'Éducation Nouvelle)⁵¹ d'autre part (voir figure 2). Un fort degré d'interactions avec Jean apparaît (18 interactions dont 8 correspondent à des échanges de Lucien avec Jean tout seul et 10 avec Jean mais en présence d'autres

⁵¹ Le GFEN est un mouvement de recherche et de formation en éducation qui développe des stratégies et des pratiques de formation, et conduit des stages et des universités d'Été. Il plaide pour la notion et la pratique de « démarche d'auto-socio-construction » : enseignement constructiviste mettant l'accent sur la dimension collaborative où l'élève construit son savoir lui-même (*auto*) et par confrontation avec ses pairs (*socio*).

protagonistes identifiés), puis Pauline, et le GFEN sciences (dans lequel Jean est également impliqué).

Il est, cependant, intéressant de rappeler que l'année n était caractérisée, le plus souvent, par des collaborations avec Pauline, ce qui atteste donc, pour l'année n+1, une dynamique du collectif par rapport à l'année n. Par ailleurs, le JI met en évidence la participation de Lucien à différentes communautés et son intérêt pour les échanges et le partage d'expériences, et révèle que le principal *objet* (Engeström, 1999) vers lequel Lucien oriente ses interactions correspond à la discussion sur le travail des élèves, comprendre et analyser comment ils réagissent à travers l'observation de classe d'un autre collègue ou les affiches. Celles-ci constituent de nouvelles ressources que Lucien et ses collègues ont utilisées comme un outil de mutualisation des productions de leurs élèves en classe. Ainsi, cet objet centré sur la discussion et l'analyse du travail des élèves semble constituer un aspect collectif crucial du travail documentaire de Lucien (voir figure 3) : on repère, en effet, 8 objets (O1 à O8) dont O4 (comprendre comment réagissent les élèves) apparaît 7 fois dans le JI. Ces interactions autour de O4 ont permis à Lucien de voir d'autres réactions d'élèves qui peuvent rejoindre ou diverger avec celles de ses élèves, et donc de développer ses PCK concernant les connaissances des difficultés d'apprentissage des élèves. En outre, comme il le rapporte dans son JI, ces interactions collectives lui ont également permis d'examiner l'influence des consignes du professeur et de la façon dont il a conduit sa séance sur les productions d'élèves. Donc il s'agit bien là de PCK correspondant aux connaissances sur les stratégies d'enseignement qui sont en jeu et qui sont mobilisées et développées au cours de ces interactions.

Type d'activité de DI qui motive les échanges	Personnes ou groupes avec qui vous échangez	Type d'interactions collectives	Objectif	Modalités d'échange	Lieu et date	Ressources utilisées. Provenance (de qui, d'où)	Ressources produites (précisez si c'est une production individuelle ou collective-coproduction, avec qui)	Apport du collectif
Cours de mécanique	Jean	Réunion de travail	Préparer ensemble notre prochain cours	Discussion, travail sur doc, par mail pour finalisation documents	21/01 chez Jean	Nos archives respectives des années précédentes, ainsi que celles de Pauline	Coproduction de séquences, puis de documents élèves pour mise en œuvre de ces séquences	Réflexion commune, séquence plus abouties, oblige à expliciter davantage les choses. Mise en commun de bonnes idées.

Figure 1. Exemple d'un extrait du JI, mois de janvier

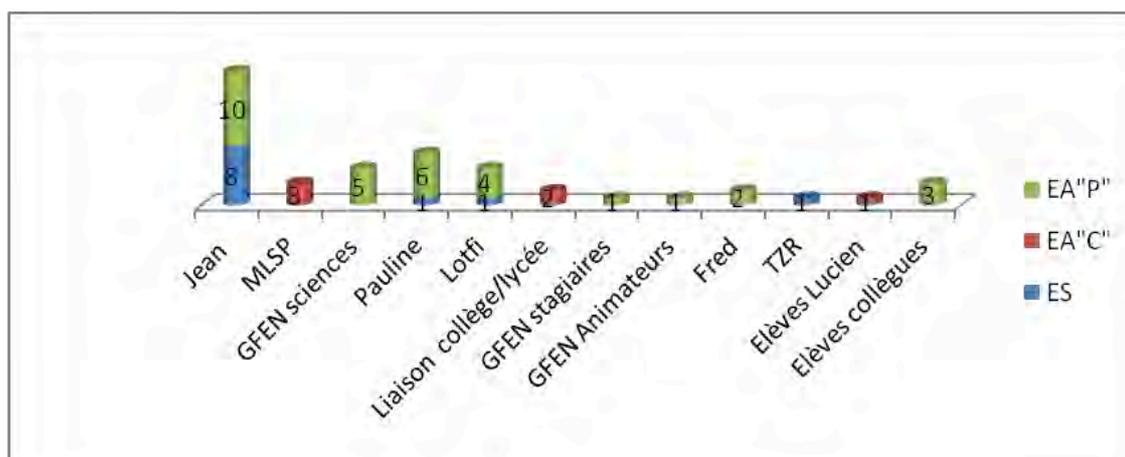


Figure 2. Nombre d'interactions de Lucien avec chaque personne pendant six mois (de janvier à juin)

ES : échange avec une seule personne

EA « C » : échange avec autres protagonistes (un collectif dont on ne peut pas identifier le nom de ses membres)

EA « P » : échange avec autres protagonistes qu'on peut identifier par nom

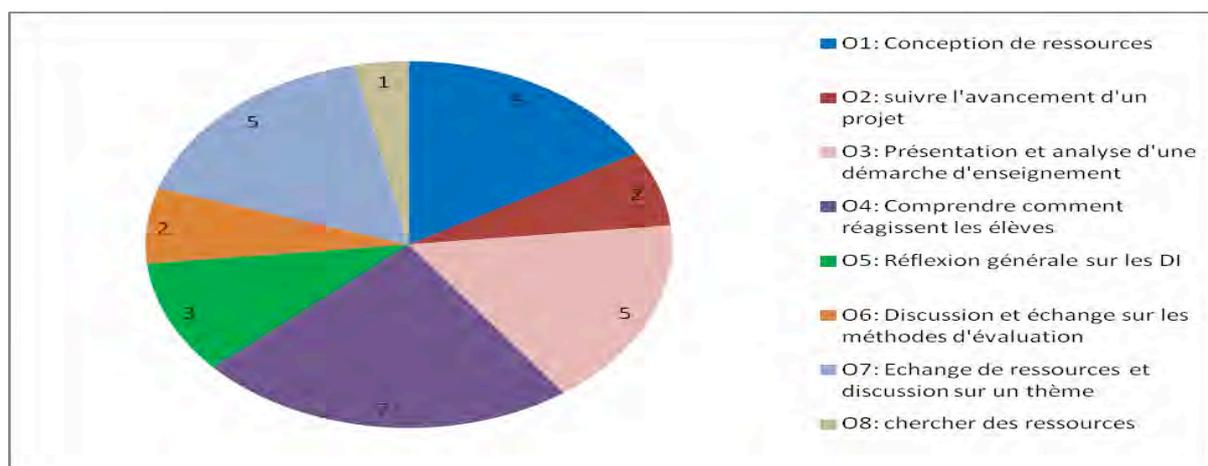


Figure 3. Les 8 objets repérés (de O1 à O8) et leur fréquence sur les six mois (de janvier à juin)

Par conséquent, l'apport du collectif à ce niveau est un *apport constructif* qui touche le développement des connaissances professionnelles de Lucien. Par ailleurs, trois autres objets apparaissent également prépondérants, à savoir la présentation et l'analyse d'une démarche d'enseignement (O3), l'échange de ressources et la discussion sur un thème (O7), ainsi que la conception de ressources (O1). L'objet O3 caractérise plus particulièrement les interactions de Lucien avec le GFEN sciences qui sont structurées autour de *règles* (Engeström, 1999) consistant en des réunions de travail où les membres du GFEN sciences vivent la séance DI présentée par Lucien, en situation, comme s'ils étaient des élèves en classe, et une réflexion collective est ensuite menée sur cette séance. Nous avons inféré, à travers le JI, que ces réunions correspondent à des moments d'explicitation du travail de Lucien, de ses objectifs et de ses stratégies d'enseignement, et c'est là que le travail collectif dans l'explicitation entre collègues est, pour Lucien, efficace puisqu'il l'amène à se poser les bonnes questions que ce soit au niveau didactique ou au niveau du savoir. Rappelons que toutes les données renseignées dans le JI concernent plus particulièrement les DI, ce qui veut dire que tous ces objets repérés sont liés aux DI. Par conséquent, l'apport des interactions collectives repéré au moyen du JI concerne tant les connaissances professionnelles de Lucien que la conception des

séances produites, sans pour autant oublier l'apport en termes d'appui pour les DI. Il s'agit donc bien ici d'un double *aspect productif/constructif* du collectif.

Outre le niveau des interactions collectives, d'importants changements atteignent la façon dont Lucien conçoit et met en œuvre ses séquences d'enseignement : l'analyse des EV de classe montre qu'il accorde une place beaucoup plus importante aux DI dans son enseignement. On a pu voir qu'il ne restreint pas, comme il le faisait l'année n, la mise en place des DI aux TP uniquement, mais ses séances de cours, abordées avant selon un mode magistral et transmissif, tournent aussi autour de DI où les élèves travaillent en autonomie par groupe. Donc Lucien attaque son enseignement de manière totalement différente à travers les DI, il privilégie le travail autonome et la mise en activité des élèves, ce qui marque bien une évolution de ses connaissances professionnelles et donc de sa documentation tournée vers les DI. En outre, l'analyse des EV de classe met en évidence l'aspect métacognitif sur lequel Lucien insiste en amenant ses élèves à mener une réflexion sur leurs propres démarches, ce qui favorise l'analyse réflexive par l'élève du savoir lui-même et renforce ainsi son rôle dans la construction de ce savoir. Cet aspect de métacognition qui consiste à se demander des questions telles que : « Qu'est-ce qu'on a fait ? Pourquoi on l'a fait ? Qu'est-ce qu'il nous a permis d'apprendre », et qui est initialement une dimension sur laquelle le GFEN insiste beaucoup, traduit bien une évolution dans la documentation de Lucien dans la perspective de DI. Ainsi, ce développement marqué par une nouveauté dans sa documentation reflète certes un développement professionnel induit par ses interactions collectives avec le GFEN. Des moments de métacognition et d'autoévaluation ont été également fort présents dans la séance DI que nous avons suivie l'année n, mais aussi d'autres changements ont été repérés dans la façon d'envisager, de concevoir et d'animer cette séance en classe : une situation de départ plus accrochante, introduite à la suite d'une discussion avec Jean, a été utilisée pour présenter le problème et stimuler l'intérêt des élèves, un changement dans la formulation du problème est effectué où Lucien a laissé la tâche plus ouverte aux élèves (il n'a pas proposé deux démarches aux élèves, une théorique et une autre une autre expérimentale, comme il l'a fait l'année n pour ne pas cadrer la démarche attendue). L'évolution dans la conception de la séance DI et l'analyse des EV en classe révèlent, en effet, des aspects importants associés aux DI, les élèves sont plus autonomes face à un problème plus ouvert. Ceci a, en retour, des retombées profondes sur sa documentation qui se traduisent par une évolution de sa pratique dans le sens proposé par les DI.

5. Conclusion

Les données présentées révèlent une évolution du système documentaire de Lucien et plus précisément un développement professionnel induit par ses interactions collectives au sein de différentes communautés. Pour autant, son travail collectif l'année n avec Pauline a constitué le *germe* de cette évolution. Ce germe s'est ensuite développé l'année n+1, et cette évolution apparaît liée à une *genèse du collectif* (Hammoud, 2011) identifiée par une implication plus forte dans le travail collectif. Cette genèse du collectif et la genèse de son système documentaire tournée vers les DI apparaissent ainsi étroitement associées. Donc on peut inférer que les aspects collectifs du travail documentaire de Lucien amène des formes spécifiques de développement professionnel dans la perspective de DI. Ce développement porte sur plusieurs aspects liés aux DI, notamment son rapport avec les élèves en leur laissant plus de temps de travail autonome ; la métacognition, la façon de concevoir et de conduire les séances de classe et en particulier la façon d'animer le travail des élèves en groupe et le travail avec les affiches, la réflexion par rapport aux contenus et aux savoirs à transmettre. Par

conséquent, le travail collectif semble constituer un élément structurant de son activité et de ses documents et révèle clairement une part productive et une part constructive ; notamment l'évolution associée des connaissances professionnelles de Lucien relève d'une dimension constructive.

Bibliographie

Boilevin, J-M., & Brandt-Pomares, P. (2011). Démarches d'investigation en sciences et en technologie au collège : les conditions d'évolution des pratiques. In M. Grangeat (dir.) *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*, p.51-62. Ecole Normale Supérieure de Lyon.

Bulletin officiel de l'Education Nationale (2010), spécial n° 4 du 29 avril.

Coquidé, M., Fortin, C., & Rumelhard, G. (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites. *Aster*, n° 49, p. 49-76.

Engeström, Y. (1999). Activity theory and individual social transformation, In *Perspectives on activity theory*, Engeström, Miettinen & Punamäki eds., Cambridge University Press.

Grangeat, M., Rogalski, J., Lima, L. & Gray, P. (2009). Comprendre le travail collectif enseignant : effets du contexte de l'activité sur les conceptualisations des acteurs. *Revue suisse des sciences de l'éducation*, 31 (1), p. 151-168.

Guedet, G., & Trouche, L. (2009). La documentation des professeurs de mathématiques, in L. Coulange, & C. Hache (dir.) *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques 2008*, 249-269. Paris : ARDM et IREM Paris 7.

Hammoud, R., Le Maréchal, J.-F., & Trouche, L. (2010). Démarches d'investigation : conceptions et usages de ressources, impact du travail collectif des professeurs. In C. Loisy, J. Trgalova & R. Monod-Ansaldi, *Ressources et travail collectif dans la mise en place des démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences*, p. 67-76, INRP.

Hammoud, R. (2011). Le travail collectif enseignant : un levier pour les démarches d'investigation. *Actes des deuxièmes journées d'étude S-TEAM, effets des démarches d'investigation dans l'enseignement et les apprentissages scientifiques*, 10-12 mai 2011, Grenoble.

Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In N. G. L. Julie Gess-Newsome (Ed.), *Examining Pedagogical Content Knowledge*, p. 95 - 132. Boston: Kluwer.

Mathé, S., Méheut, M., & de Hosson, C. (2008). Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? *Didaskalia*, n° 32, p. 41-76.

Triquet, E., & Guillaud, J.-C. (2011). Démarches scientifiques et démarches d'investigation : point de vue d'enseignants stagiaires de l'IUFM. In M. Grangeat (dir.) *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*, p. 63-76. Ecole Normale Supérieure de Lyon.

Comparaison de séances mettant en jeu un savoir « traditionnel » et un savoir « controversé » : une étude de cas en Physique

**Nicolas Hervé, UMR EFTS, Univ. de Toulouse, ENFA ;
nicolas.herve@educagri.fr**

**Patrice Venturini, UMR EFTS, Univ. de Toulouse, ENFA ;
patrice.venturini@univ-tlse2.fr**

&

**Virginie Albe, UMR STEF, Ens Cachan, Ens de Lyon – Ifé ;
virginie.albe@stef.ens-cachan.fr**

Mots-clés : QSV, TACD, analyse de pratiques, Physique, Classe de 1^{ère} S

Résumé : Cette communication vise à éclairer comment dans la pratique « ordinaire » d'un enseignant de Physique se nouent conceptions sur la science, conceptions sur l'enseignement et conceptions sur l'apprentissage. Cette étude (travail de thèse en cours) s'appuie sur l'analyse comparée de deux séances de Physique menées par un même enseignant avec une même classe, l'une mettant en jeu un savoir traditionnel (l'énergie) et l'autre une controverse socioscientifique (le changement climatique).

1. Introduction et problématique

1.1. Émergence de nouvelles approches dans l'enseignement des sciences

L'enseignement des sciences est critiqué par de nombreux chercheurs : il est en effet souvent décrit comme positiviste, décontextualisé et davantage tourné sur la réussite des examens que sur le développement éducatif des élèves (Fourez, 2002 ; Hodson, 2003 ; Sadler, 2009).

De nouvelles préoccupations prennent alors de l'importance avec l'arrivée de parties consacrées à la nature épistémologique et sociale de la science (Nature Of Science : NOS) dans les programmes nord-américains. Un des principaux arguments en faveur de l'enseignement de la NOS est un argument de type démocratique : comprendre la nature de la science permet de donner du sens aux controverses socioscientifiques et de participer en tant que citoyen aux débats sur les technosciences. Il émerge ainsi dans les années 2000 une nouvelle tendance, les socioscientific issues (SSI), où est prise en compte la nécessité de traiter en classe des problèmes ouverts (donc sujets à controverses), d'intérêt social, mettant en jeu des connaissances scientifiques.

Parallèlement, dans le monde francophone, l'approche des questions socialement vives (QSV) s'intéresse à l'enseignement par des controverses socioscientifiques (Legardez & Simonneaux, 2006). L'objectif est également de favoriser l'éducation du citoyen pour qu'il participe à des débats mettant en jeu des technosciences. L'ambition des QSV est de renouveler la forme scolaire de l'enseignement scientifique, en mettant en avant la « science en action » plutôt que la « science faite » (Latour, 1989).

1.2. Comparer les pratiques d'enseignement d'un savoir traditionnel et d'une controverse socioscientifique

La relation science-société entre dans le nouveau programme de 1^{ère} S et la problématique du changement climatique est prescrite dans la filière STAV de l'enseignement agricole. L'émergence de ces thématiques dans les programmes d'enseignement de la physique-chimie pose donc la question de leur appropriation par les enseignants. Comment abordent-ils ces savoirs en classe ?

Nous questionnons par conséquent dans notre travail l'écologie de ces savoirs dans l'enseignement scolaire au sens de Chevallard (1994) : comment l'enseignement de controverses socioscientifiques « en action » peut-il vivre dans une institution scolaire centrée sur la « science faite » ?

L'angle que nous prenons ici est alors de nous intéresser aux conditions pour lesquelles les controverses socioscientifiques peuvent s'articuler aux savoirs plus traditionnels de l'enseignement des sciences.

En ce sens, nous avons choisi de nous focaliser sur l'étude des pratiques « ordinaires » d'enseignement de la physique. Comment un enseignant de physique enseigne-t-il un savoir traditionnel / une controverse socioscientifique ? Quelles différences ou similitudes dans l'enseignement de ces deux types de savoir ?

L'objet de cette communication est par conséquent l'analyse comparée (au sens de Sensevy & Mercier, 2007) de la pratique d'un enseignant de physique-chimie sur un savoir stabilisé, traditionnel et sur un savoir controversé, d'actualité, afin d'en dégager des éléments génériques et spécifiques. Nous comparons par conséquent deux séances liées à deux natures différentes de savoir pour en saisir des modalités d'articulation.

Le savoir traditionnel en jeu dans notre étude est l'énergie, qui est un concept stabilisé dans le champ savant depuis plus d'un siècle. Il est également traditionnel dans le sens où il structure l'enseignement de la Physique dans le secondaire depuis 1902 (Guedj, 2003). Enfin, nous nous intéressons au programme de Physique de 1^{ère} S, dont l'approche peut être décrite comme traditionnelle, dans le sens où le concept est introduit par la notion de travail et dans laquelle les conceptions des élèves ne sont pas prises en compte (Koliopoulos & Patronis, 1998).

De l'autre, nous nous intéressons à l'enseignement de l'évolution du climat, qui est une controverse socioscientifique. Cette controverse correspond à la définition que donne Legardez (2006) d'une question socialement vive : elle est vive *dans la société* car elle est périodiquement médiatisée ; elle est vive *dans les savoirs de référence* car elle oscille entre incertitude scientifique (responsabilité de l'homme, fiabilité des modèles informatiques, place de l'effet de serre, etc.), politique (sommet de Copenhague en 2009, taxe carbone, etc.) et sociale (conséquences sur les sociétés, etc.). Elle est de plus vive *dans les savoirs scolaires* car les contenus et objectifs d'enseignement ne sont pas stabilisés, ce qui fait que ce n'est pas un savoir scolaire traditionnel.

Ces deux types de savoirs sont par conséquent très différents car l'un est figé, bien balisé, renvoie à une image de la « science faite », alors que l'autre est incertain, risqué car controversé et renvoie à une image de la « science en action ».

2. Cadre théorique et questions de recherche

2.1. Analyser les pratiques « ordinaires » d'enseignement : une approche comparatiste

Nous nous appuyons sur la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) pour caractériser les pratiques ordinaires d'enseignement. En effet, Sensevy (2007, p. 13) considère que « la fonction essentielle de cette théorie consiste dans la production d'un vocabulaire qui permette des descriptions systémiques des processus d'enseignement et d'apprentissage ». Cette théorie donne ainsi un cadre et fonde une méthodologie pour décrire l'action enseignante dans une perspective didactique.

L'action didactique est conçue dans cette théorie comme nécessairement conjointe : pour enseigner, il faut au moins un apprenant et pour apprendre, il faut un système enseignant et c'est la circulation du savoir en classe qui distribue à chaque instant les rôles dans la relation. Les savoirs ont donc un rôle central car ils *légitiment* la relation didactique. Le développement de la relation didactique est caractérisé dans la TACD par la *mésogénèse*, c'est-à-dire par les différents éléments que les acteurs introduisent pour construire une référence commune.

Le rôle de l'enseignant est ainsi d'« aménager le milieu, c'est [-à-dire] contraindre l'action (matérielle ou intellectuelle) de l'élève dans un sens déterminé » (Sensevy, 2002, p. 30). La construction du milieu didactique est associée à deux descripteurs : la *topogénèse* reflète le poids de chaque acteur dans la relation didactique et la *chronogénèse* marque l'évolution temporelle de cette relation.

Nous utilisons donc les trois opérateurs mésogénèse – topogénèse - chronogénèse pour décrire l'action didactique.

Nous nous focalisons de plus sur l'action de l'enseignant dans l'action conjointe. En effet, dans la TACD, l'action du professeur est conçue comme finalisée : elle a pour intention de construire un milieu dans lequel l'élève puisse établir des relations épistémiques. Le modèle de l'action du professeur dans la TACD nous donne des outils pour décrire la manière dont l'enseignant s'y prend pour co-construire le milieu. Sensevy (2007) modélise l'action de l'enseignant en décrivant les activités que le professeur propose aux élèves comme des jeux d'apprentissage, dont la succession est analogue aux scènes d'une pièce de théâtre. L'enseignant utilise alors des techniques didactiques pour faire jouer ces jeux aux élèves (définir, dévoluer, réguler le jeu et institutionnaliser les savoirs enjeux du jeu). Ces techniques sont essentiellement des techniques langagières (Sensevy, 2002), dont la « grammaire » nous donne des informations sur la mésogénèse et la chronogénèse. Nous utilisons alors la notion de « jeu de langage » de Wittgenstein (1953) pour repérer la « forme de vie » dans laquelle s'inscrit l'action langagière de l'enseignant. Il s'agit alors pour nous d'analyser les différents jeux de langage pour interpréter comment la référence commune, enjeu d'un jeu d'apprentissage, se construit en classe.

Nous complétons notre description de la mésogénèse et la topogénèse grâce à l'approche communicationnelle (Mortimer et Scott, 2003), qui caractérise le discours de l'enseignant suivant deux polarités : dialogique / « autoritative » et interactif / non interactif. Le pôle dialogique / autoritative consiste selon nous à identifier si l'enseignant prend en compte plusieurs « voix », c'est-à-dire des points de vue alternatifs au point de vue institutionnel dans son discours (dialogique), ou bien si celui-ci ne prend en compte que la position « officielle ». De même, il s'agit de prendre en compte le nombre d'acteurs impliqués dans une interaction (à partir de deux, le discours est qualifié d'interactif).

Nous analysons alors la forme et le contenu des interactions pour dégager l'usage qui en est fait. Nous explorons alors cet usage pour caractériser quelques éléments de l'*épistémologie pratique* de l'enseignant. Pour Sensevy (2007), il existe en effet des déterminants de l'action de l'enseignant qui sont relatifs à une théorie généralement implicite de la connaissance de l'enseignant et qui contraignent l'action dans la pratique de la classe.

2.2. Questions de recherche

Nous nous intéressons ici à l'articulation entre un enseignement de la « science en action » et de la « science faite », en prenant la perspective de la pratique « ordinaire » d'un enseignant.

Les questions de recherche peuvent se formuler ainsi :

- Comment les savoirs scientifiques sont-ils abordés d'un point de vue chronogénétique dans les deux séances ? Quelle interprétation peut-on donner aux jeux de langage mettant en scène des savoirs scientifiques ?
- Quelle intention didactique anime le travail de l'enseignant et les choix qu'il effectue ? Autrement dit quels déterminants peut-on identifier dans la structure des séances observées ?

Il s'agit alors de repérer les points de continuité et de ruptures dans la pratique sur ces deux séances.

3. Méthodologie

Deux séances ont été filmées avec une classe de 1^{ère} S (18 élèves) d'un établissement de l'enseignement public agricole. La première sur l'énergie constitue un élément important dans le programme de physique de 1^{ère} S. La deuxième a pour thématique le changement climatique, qui n'est pas au programme. L'unique consigne donnée à l'enseignant a été d'intégrer cette problématique à sa progression pédagogique, en lui exprimant notre souhait d'observer la manière dont il traite cette question controversée.

L'enseignant observé est un jeune enseignant, titulaire depuis 3 ans.

Les deux séances ont été filmées à l'aide de caméras numériques dont le champ a été croisé de façon à pouvoir observer tous les acteurs. La prise de son a été assurée par des dictaphones numériques.

Des entretiens ante ont eu lieu pour dégager les conceptions générales de l'enseignant sur la science et sur l'enseignement / apprentissage et spécifiques sur le savoir à enseigner. Des entretiens post ont été menés pour préciser certains « faits » de classe.

Les séances et les entretiens ont été ensuite transcrits, en recourant aux différentes sources d'enregistrement pour optimiser l'identification des propos échangés.

Le logiciel Transana a été utilisé pour découper les séances, tout d'abord en identifiant la chronogénèse des thèmes scientifiques abordés puis plus finement en épisodes. Des mots-clés relatifs aux concepts de la TACD et de l'approche communicationnelle ont été affectés à chaque épisode. Le passage d'un épisode à un autre est défini quand un ou plusieurs mots-clés changent.

Cette indexation permet ainsi de caractériser les données et de pouvoir avoir accès à l'évolution dans le temps des différents descripteurs (pour suivre leurs variations ou bien leurs combinaisons) ou bien à une répartition globale sur l'ensemble de la séance.

Les différents jeux d'apprentissage repérés font ensuite l'objet d'un retour à un point de vue micro des interactions via une analyse des jeux de langage.

Finalement, l'ensemble des données est ensuite confronté pour une lecture croisée, en s'aidant des entretiens ante et post pour minimiser les incertitudes d'interprétation.

4. Résultats et discussion

4.1. La place des savoirs scientifiques

L'analyse montre que les savoirs scientifiques n'ont pas le même statut dans les deux séances.

Dans la séance sur l'énergie, le travail de l'enseignant consiste à aménager un milieu dans lequel l'usage « ordinaire » du mot énergie cède progressivement la place à un usage scientifique. D'un point de vue chronogénétique, la succession des jeux d'apprentissage sont autant de marches dans la construction d'un concept. L'analyse des jeux de langage montre que cette élaboration passe par différents états épistémologiques, tout d'abord réaliste pour passer de l'usage courant à un usage conceptuel, puis empiriste avec la définition de l'énergie et enfin rationaliste avec l'inscription de l'énergie dans son réseau théorique (les formes et sources, le modèle de la chaîne énergétique). Nous montrerons à partir d'extraits comment les savoirs scientifiques sont ici des éléments d'un cadre de représentation des phénomènes physiques dont la construction est l'objet de la séance. Les indicateurs de la TACD nous indiquent que les élèves introduisent autant d'éléments que l'enseignant dans le milieu, ce qui se recoupe avec la forme largement interactive de la séance (66% du temps de la séance). Cependant, la topogénèse est majoritairement le fait de l'enseignant (51% du temps de la séance contre 32.5% pour les élèves et 16.5% de topogénèse mixte). C'est donc par un contrôle important du milieu que se fait le développement du concept. C'est de plus par une position essentiellement autoritative que l'enseignant dirige la mésogénèse (82.5% du temps de la séance), la perspective institutionnelle est alors privilégiée pour réguler les échanges avec les élèves.

Dans la séance sur le changement climatique, l'analyse des jeux de langage nous montre que les savoirs scientifiques prennent deux formes distinctes. D'un point de vue chronogénétique, l'enseignant introduit l'étude du climat avant d'en aborder le changement. Dans l'étude du climat, les élèves mobilisent des outils de représentation déjà en place (car étudiés antérieurement) pour rationaliser le fonctionnement du climat. Les régulations des jeux d'apprentissage concernent l'identification de différentes formes d'énergie, les élèves introduisent dans le milieu des éléments langagiers vus dans des séances précédentes pour représenter les phénomènes climatiques. La topogénèse est alors équilibrée entre l'enseignant et les élèves. Les savoirs scientifiques changent de nature quand l'étude du changement climatique est effectuée : ce sont alors des techniques expérimentales qui sont mises en avant (analyse isotopique des glaces, simulation informatique) et qui conduisent à la construction de faits. L'origine anthropique du changement climatique est alors « prouvée » par la confrontation de données. Les jeux de langage montrent dans ce cas que l'activité de la science en tant que productrice de savoirs est davantage une question technique que sociale.

Les descripteurs montrent que la manière dont la séance est conduite a globalement une forme similaire à la séance sur l'énergie. Par exemple, la forme de communication est également interactive (52.5% du temps de la séance) et essentiellement autoritative (81.5% du temps de la séance). Alors que dans la séance sur l'énergie, la construction d'un langage de représentation est une fin en soi, dans la séance sur le changement climatique, l'utilisation de

ce langage sur le climat n'est qu'une introduction à l'idée de changement climatique. L'étude du changement donne lieu à des savoirs techniques qui conduisent à des énoncés factuels. Nous montrons dans la suite que le « refroidissement » de la controverse peut être liée aux valeurs de l'enseignant.

4.2. L'intention de responsabiliser les élèves dans les deux séances

Dans la séance sur l'énergie l'enseignant sensibilise les élèves à une problématique qui lui semble importante : éduquer les élèves par la physique. Les jeux d'apprentissage qui sont supports de cette volonté d'éducation sont les activités de réinvestissement. Ces dernières sont choisies de façon à « marquer » les élèves (différences socioéconomiques entre pays pour illustrer l'unité d'énergie TEP, la sécurité routière pour calculer l'énergie cinétique, l'écologie à travers l'étude de l'éolienne). Ces activités sont alors un moyen pour l'enseignant d'éduquer les élèves par la physique : « ça fait partie du métier aussi de notre responsabilité d'adulte » (entretien post 82E).

Aborder le changement climatique est une occasion pour l'enseignant de sensibiliser les élèves à la problématique de la fin à venir d'un monde fondé sur l'exploitation et l'utilisation d'énergies fossiles. La controverse du changement climatique n'est alors pas traitée en classe, car enseigner la controverse, c'est pour l'enseignant « freiner une avancée scientifique qui pourra servir à d'autres choses » (Post climat 34E). Autrement dit, l'aspect controversé n'est pas « refroidi » ici par la conscience d'un « risque d'enseigner » mais plutôt par une « volonté d'enseigner », dans laquelle la controverse représente davantage un obstacle qu'une opportunité. Il conçoit alors l'enseignement du changement climatique comme un moyen de « marquer » les élèves et de les sensibiliser à l'urgence qu'il y a à changer de modèle énergétique.

Les valeurs éducatives qui fondent ce que l'enseignant conçoit de sa position sociale structurent ici profondément la séance puisqu'elles conduisent à institutionnaliser non pas une controverse mais un fait « établi ». Bien que présentes dans la séance sur l'énergie, elles ont un rôle secondaire puisqu'elles n'influent que sur les choix des applications. Ces valeurs se doublent de plus d'une conception de la science puisque l'enseignant considère que la problématique du changement climatique et de la fin des énergies fossiles peut se résoudre par un développement scientifique et technique.

4.3. Continuité et ruptures dans les deux séances

Plusieurs éléments sont communs aux deux séances. Tout d'abord, l'enseignant développe plusieurs fois dans les entretiens l'idée que l'apprentissage des élèves dépend de la manière dont ce qui est fait en classe parvient à « marquer » leurs esprits. Dans les deux séances, cette conception de l'apprentissage guide la « chair » que l'enseignant donne aux savoirs scientifiques. De la même manière, il conçoit la physique comme un corpus de connaissances qui « sert à expliquer » le monde qui nous entoure. Il déclare alors concevoir son enseignement comme un accès pour les élèves à cette « vision du monde ». C'est donc une conception de l'enseignement de la physique qui mobilise à la fois une conception sur l'enseignement (son rôle est d'expliquer) et une conception sur la physique (un ensemble de savoirs qu'il s'agit d'expliquer). Ces conceptions sur l'enseignement – apprentissage permettent alors d'expliquer l'évolution des descripteurs de sa pratique : les échanges sont alors essentiellement interactifs pour impliquer les élèves de façon à ce qu'ils puissent « être marqués » et majoritairement autoritatives car le rôle de l'enseignant est d'expliquer des savoirs scientifiques.

Les principales différences tiennent d'une part au rôle des savoirs scientifiques et d'autre part aux éléments structurants de ces deux séances. Les savoirs scientifiques sont construits dans la séance sur l'énergie alors qu'ils sont mobilisés dans la séance sur le changement climatique. Dans la séance sur l'énergie, c'est la rationalité des concepts qui pilote la séance. En effet, le recours à un registre épistémologique fait que les concepts « adhèrent » les uns aux autres dans un tissu rationnel. Dans la séance sur le changement climatique, ce sont les valeurs qui structurent la séance. Ces valeurs que l'enseignant accorde à sa position sociale, combinées à une certaine image de la science, orientent la combinaison des différents éléments de savoir mobilisés.

5. Conclusion

L'épistémologie pratique de cet enseignant fait intervenir un enchevêtrement de conceptions, qui sont mobilisées différemment suivant la situation. Si des conceptions de type épistémologique sont davantage présentes lors de la séance sur l'énergie, ce sont des conceptions sociales qui dominent dans la séance sur le climat. D'une part, c'est l'intention explicative, due à sa conception de la physique comme somme de connaissances, qui est mise en avant, de l'autre c'est l'intention éducative qui agit en structurant la séance sur le changement climatique. Ainsi, le sens que l'enseignant donne à son action joue un rôle prépondérant dans l'épistémologie pratique qu'il mobilise. Cette recherche permet donc, grâce à une analyse de pratiques, d'affiner la description de la posture des enseignants à la fois sur un savoir traditionnel et sur une controverse socioscientifique (Urgelli, 2009 ; Sadler, 2009).

Bibliographie

- Chevallard, Y. (1994). Les processus de transposition didactique et leur théorisation. In G. Arsac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand, A. Tiberghien (Éds.). *la transposition didactique à l'épreuve*, Grenoble : La pensée sauvage (pp.135-180).
- Fourez, G. (2002). Les sciences dans l'enseignement secondaire. *Didaskalia*, 21, 107-122.
- Guedj, M. (2003). L'introduction du principe de conservation de l'énergie dans l'enseignement secondaire français vue à travers quelques manuels. *Tréma*, 22, 50-63.
- Hodson, D. (2003). Time for action : science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25, 645-670.
- Koliopoulos, D., Ravanis, K. (1998). L'enseignement de l'énergie au collège vu par les enseignants. Grille d'analyse de leurs conceptions. *Aster*, 26, 165-182.
- Latour, B. (1989/1995). *La science en action*. Paris : La Découverte.
- Legardez, A. (2006). Enseigner des questions socialement vives. Quelques points de repères. In A. Legardez & L. Simonneaux (Éds.). *L'école à l'épreuve de l'actualité. Enseigner les questions vives*. Paris : ESF (pp. 19-31).
- Legardez, A. & Simonneaux, L. (2006) (Eds.). *L'école à l'épreuve de l'actualité. Enseigner les questions vives*. Paris : ESF.

Mortimer, E.F. & Scott, P. (2003). *Meaning making in secondary classrooms*. Maidehead : Open University Press.

Sadler, T. D. (2009). Situated learning in science education : socioscientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45, 1-42.

Sensevy, G., (2002). Des catégories pour l'analyse comparée de l'action du professeur : un essai de mise à l'épreuve. In P. Venturini, C. Amade-escot, et A. Terrisse, (Dir.), *Étude des pratiques effectives : l'approche des didactiques* (pp. 25-46). Grenoble : La Pensée Sauvage.

Sensevy (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In G. Sensevy & A. Mercier, (2007) (dir.), *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 13-49). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.

Urgelli, B. (2009). *Les logiques d'engagement des enseignants face à une question socioscientifique médiatisée - le cas du réchauffement climatique*. Thèse de doctorat, Université de Lyon.

Wittgenstein, L. (1953). *Investigations philosophiques*. Paris : Gallimard.

Les connaissances des enseignants dans l'enseignement de la physique-chimie: une étude de cas en mécanique au collège

**Alain Jameau, Univ. de Bretagne Occidentale, IUFM, site de Rennes ;
alain.jameau@wanadoo.fr**

Mots clés : Pedagogical Content Knowledge, schème, connaissances professionnelles, boucles de régulation, expérience professionnelle

Résumé : cette contribution porte sur le thème des connaissances mobilisées par les enseignants de physique-chimie; nous avons étudié le cas de deux enseignants, dans le contexte de l'enseignement de la mécanique en classe de troisième. Tout d'abord, nous exposons les cadres théoriques auxquels nous avons recours, qui relèvent de la didactique des sciences et de la didactique professionnelle, et la méthodologie que nous avons développée. Nous discutons ensuite les résultats de cette recherche en cours. Nous identifions les connaissances professionnelles en étudiant l'articulation entre le modèle des PCK et le concept de schème. Nous formalisons chaque schème sous forme de tableau dans lequel des connaissances sont identifiées. Nous montrons qu'il y a une relation entre ces connaissances et la régulation rétroactive de l'activité qui permet à l'enseignant d'ajuster sa préparation.

1. Introduction

Notre recherche porte sur les connaissances mobilisées par des enseignants dans leur enseignement de physique-chimie au collège, plus précisément dans le cas de la mécanique. Nous avons choisi d'étudier la préparation puis la mise en œuvre dans la classe. Nous désignons ici par préparation l'activité du professeur en amont de la mise en œuvre d'une séance ou d'une séquence. Nous nous intéressons spécifiquement à l'écart entre le prévu et le réalisé. Nous examinons également le processus qui permet à l'enseignant d'adapter sa préparation à un public et comment celle-ci évolue en relation avec l'activité dans la classe. De fait, nous considérons ce qui se passe hors de la classe et dans la classe.

Dans cette communication nous nous centrons sur la mise en œuvre de la préparation dans la classe. Nous présentons le cadre théorique et la méthodologie construite pour cette recherche, puis nous exposons un extrait de l'étude de cas dont nous discutons les résultats. Enfin, nous proposons des éléments de conclusion et des perspectives.

2. Cadre Théorique et questions de recherche

Pour l'étude des différentes connaissances mobilisées par l'enseignant pour la préparation de la classe, nous nous référons au concept de Pedagogical Content Knowledge (PCK), issu des travaux de Shulman (1986), de Grossman (1990) et au modèle élargi de Magnusson et al. (1999). Le concept de PCK est défini comme une connaissance spécifique pour enseigner (Shulman, 1986b). Chaque PCK est liée à un contenu. Selon Grossman, parmi quatre

domaines de connaissances, les PCK sont celles qui ont la plus grande influence sur l'action de l'enseignant. Le modèle élargi de Magnusson et al. (1999) définit les PCK selon la composition suivante : les connaissances sur les stratégies d'enseignement, les connaissances du programme, les connaissances de l'évaluation, les connaissances sur les difficultés des élèves ; ces quatre composantes sont chapeautées par une cinquième, les orientations pour l'enseignement des sciences.

Nous cherchons également à analyser des connaissances professionnelles, et leurs évolutions. Pour cela, nous nous appuyons sur les travaux de Pastré (1997) et Leplat (2006) à propos des boucles de régulation, ainsi que sur les travaux de Vergnaud (1996) concernant les schèmes en tant qu' « *organisation invariante de la conduite pour une classe de situations données* ». Un schème est composé de cinq éléments : un but, des règles d'action, des anticipations, des invariants opératoires et des inférences. Il permet de bien marquer la différence entre activité et organisation de l'activité. Nous distinguons l'activité de la tâche (Leplat, 2004) et nous faisons référence, pour rendre compte de la dynamique de la construction de nouvelles connaissances, aux travaux de Samurçay et Rabardel (2004) qui proposent une distinction théorique entre « *activité productive* » et « *activité constructive* ».

Dans cette communication nous tentons ainsi de répondre à différents types de questions en nous appuyant sur les cadres théoriques présentés ci-dessus. Il s'agit, d'une part, de caractériser les connaissances mobilisées par les enseignants pour la préparation de la classe et au cours de sa mise en œuvre. Quelles sont ces connaissances ? Comment sont-elles organisées ? Peut-on les diviser en catégories ? Il s'agit, d'autre part, de s'intéresser à l'évolution de ces connaissances. Comment se construisent-elles ? Comment participent-elles à l'activité en classe et à son organisation ?

3. Méthodologie

Nous avons développé une méthodologie permettant de suivre des enseignants en classe et hors classe. L'un des principes que nous avons retenu est de suivre deux enseignants simultanément. Le corpus comporte des enregistrements audio et vidéo de séquences de classe, des entretiens avec chacun des enseignants, ainsi que des données issues d'un journal de bord (Gueudet & Trouche, 2009) renseigné par les deux enseignants sur toute la durée de l'étude. La première séance de classe est filmée : elle correspond au début de la séquence étudiée. Le thème étudié lors de la séquence a été décidé au préalable conjointement par les enseignants et le chercheur. Il sert de base à deux entretiens dans lesquels les enseignants font une auto-analyse de leur action, à partir des enregistrements vidéo des séances, selon des modalités proches de l'autoconfrontation simple et croisée (Clot, Faïta, Fernandez & Scheller, 2001). La fin de la séquence est ponctuée par un entretien bilan.

Nous avons mis en œuvre cette méthodologie pendant deux années successives, pour le suivi de deux mêmes enseignants expérimentés de collège, spécialistes d'un enseignement disciplinaire : la physique-chimie. Nous les appelons ici Henri et Florence. L'étude de cas que nous présentons concerne un enseignement en mécanique, dans les nouveaux programmes⁵² de la classe de 3^{ème}. Le thème choisi concerne les notions de « poids et masse » ; il est traité par chacun des enseignants en trois séances. Celles-ci sont filmées et servent de base à un entretien avec le chercheur afin d'identifier les extraits vidéo à montrer

⁵² A compter de la rentrée 2008.

au collègue lors de l'auto-analyse croisée. Les extraits choisis doivent illustrer les incidents critiques (Flanagan, 1954) survenus pendant les deux séances.

Pour analyser ces données, dans un premier temps, nous croisons les informations issues du journal de bord, de l'observation en classe et des entretiens. Puis, nous élaborons un synopsis (Sensevy & Mercier, 2007) qui fait apparaître un découpage du déroulement de chaque séance, en lien avec nos questions de recherche. Les synopsis sont remis aux enseignants pour préparer les entretiens en auto-analyse afin de repérer plus facilement les moments d'enseignement qu'ils souhaitent discuter. Dans un troisième temps, nous exploitons les transcripts des entretiens d'auto-analyse.

4. Résultats

Notre analyse s'appuie ici sur un seul extrait. Il concerne le début de la séquence sur « poids et masse » enseigné par Florence.

4.1. Modélisation de l'activité de Florence au début de la première séance

4.1.1. Identifier des connaissances professionnelles dans une organisation de l'activité

Sur le plan méthodologique, nous identifions l'organisation de l'activité à partir d'une analyse vidéo et des entretiens en auto-analyse simple et croisée. Cette vidéo, dans laquelle nous observons l'enseignant dans l'action, nous permet de renseigner les cinq éléments du schème. Dans notre description de son activité, nous rendons explicite(s) le ou les indices que l'enseignant prélève dans l'action. Ces indices apparaissent dans le cadre théorique attaché aux schèmes, en tant que règles de prise d'information. Cette prise d'information s'appuie sur les invariants opératoires en relation avec le but. Or, ces indices apparaissent dans les entretiens : le professeur montre la relation qu'il existe avec la conduite de son action. Donc, nous pensons qu'il est important d'ajouter cet élément à la description de l'activité de l'enseignant. Ensuite, nous nous appuyons sur les entretiens pour inférer les connaissances de références mobilisées par l'enseignant et affiner leur organisation au sein de l'activité. Chaque schème peut être formalisé sous forme d'un tableau (cf. tableau1). La colonne de gauche montre les éléments constitutifs du schème ; la colonne de droite donne à voir ce que l'enseignant fait ou pense en situation. Plus précisément, nous renseignons la colonne de droite à partir de deux sources : soit ce sont des propos de l'enseignant dans les entretiens correspondants à une analyse à posteriori de son activité, soit ce sont des interprétations que nous faisons à la lecture de la vidéo et/ou des entretiens. Dans tous les cas, nous reformulons ce qui est dit pour une meilleure compréhension. De plus, nous nommons le schème afin de donner une description synthétique de l'activité analysée.

Prenons un exemple. Au début du chapitre, Florence pose la question suivante : « Alors si je vous dis comme ça ... le poids la masse à quoi ça vous fait penser ? ». Nous modélisons cette situation dans un tableau.

Schème B : connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse	
But	Repérer les acquis des élèves et leurs conceptions initiales (CI) sur le thème du poids et de la masse
Anticipation	J'attends de repérer les CI des élèves à travers leur réponse à la question posée et notamment tout ce qui est en rapport avec l'amalgame qu'ils font entre le poids et la masse
Inférence	Si les élèves répondent des unités de masse, lourd/léger, la balance alors je note les propositions et je poursuis. Si les élèves répondent des erreurs scientifiques alors je les corrige
Indice	La réponse d'un élève
Règle d'action	Demander aux élèves à quoi ils pensent quand on parle de poids ou de masse
Invariants opératoires	Je sais qu'il y a des choses à casser ! J'attendais lourd/léger car je l'avais eu dans une autre classe Je savais que j'aurais le kilogramme et la balance Je sais qu'il faut faire émerger les conceptions initiales des élèves au début de la séquence pour pouvoir construire des apprentissages par la suite Je débute la séquence en posant une question à toute la classe

Tableau 1. Schème mobilisé par Florence lors de la situation d'entrée sur poids et masse

Le contenu concernant le but, les anticipations, l'indice, les invariants opératoires et la règle d'action sont dits dans les entretiens par Florence. Par contre, nous inférons les inférences de la vidéo et des entretiens. Tous ces propos sont reformulés. Prenons un exemple. Florence a posé la question suivante : « Alors si je vous dis comme ça ... le poids la masse à quoi ça vous fait penser ? ». Cette question engendre toute l'activité et correspond d'un point de vue théorique à la composante « règle d'action » du schème (Vergnaud & Récopé, 2000). Nous la reformulons comme ceci : « Demander aux élèves à quoi ils pensent quand on parle de poids ou de masse ».

Nous observons des connaissances de référence dans deux composantes du schème mobilisé par Florence : dans l'invariant opératoire à partir de l'étude des théorèmes-en-acte (ce que le professeur tient pour vrai) et des concepts-en-acte (ce que le professeur tient pour pertinent) et dans l'inférence. Florence tient pour vrai que les élèves vont faire certaines réponses comme lourd/léger, la balance et le kilogramme. Elle sait aussi qu'ils feront d'autres erreurs sans pouvoir toutes les expliciter. Nous observons que ce sont des connaissances spécifiques sur l'enseignement de poids et de masse. Elles sont issues de pratiques de classes antérieures car Florence débute ses déclarations par « je savais que.. » ou « j'attendais.. ». Dans les entretiens, Florence fait référence au programme pour justifier ce début de séance. Elle dit qu'il est nécessaire de faire émerger les conceptions initiales des élèves pour « faire un diagnostic » afin de « mieux adapter mon cours ». De fait, elle juge pertinent de débiter la séance par une question de la forme « que savez-vous sur.. ? ».

Pour nous, ces connaissances mobilisées par Florence sont des PCK car elles sont spécifiques à l'enseignement du poids et de la masse (Shulman, 1986b). Ce sont des PCK sur les conceptions des élèves, sur les programmes et les stratégies (Magnusson et al., 1999). Nous notons aussi des PCK dans la composante inférence du schème. Cela signifie qu'il est nécessaire pour l'enseignante de mobiliser des connaissances spécifiques sur l'enseignement de « poids et masse » pour effectuer des adaptations locales car « l'activité en situation n'est jamais automatique, mais au contraire régulée » (Vergnaud & Récopé, 2000).

4.1.2. Une organisation en schèmes et sous-schèmes

Regardons plus précisément le début de la première séance. Dans l'entretien en auto-analyse simple, Florence dit : « mon objectif là c'est justement de pouvoir classer tout ce qui va avec le poids d'un côté et tout ce qui va avec la masse de l'autre mais, déjà, dans leurs connaissances d'essayer de faire un peu le ménage avant de commencer ». Florence veut démontrer, dès le début du cours, que la masse et le poids sont deux notions différentes. Elle se sert des réponses des élèves pour élaborer son classement. Donc, classer ces réponses est le but de ce début de séance ; repérer les acquis des élèves est un sous-but. Nous observons que l'activité de Florence est hiérarchisée : elle peut être décrite par un schème général, qui pilote l'utilisation de plusieurs autres schèmes. Les schèmes se composent et se décomposent hiérarchiquement (Ibid.).

Nous considérons qu'en ce début de séance, l'enseignante a mobilisé un schème A « classification des propositions des élèves en relation avec le poids et la masse » et un schème B « Connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse ». Pourquoi modéliser l'activité de Florence par deux schèmes A et B ? Comment s'articulent-ils ?

Chaque but induit une nouvelle règle d'action. Nous modélisons l'activité de l'enseignante en comparant les anticipations pour chacun des buts. Si on constate que ses anticipations restent les mêmes, alors il n'y a pas de nouveau schème : le schème « initial » s'écrit avec un but et des sous-buts correspondants à chaque nouvelle règle d'action. Par contre, si les anticipations ne sont pas les mêmes alors il y a un nouveau schème. De plus, nous considérons que ce nouveau schème est un sous-schème du schème « initial » c'est-à-dire que l'activité pourra se décrire en un schème et un ou des sous-schèmes.

Dans l'exemple de l'activité produite par Florence, les anticipations du schème A « classification des propositions des élèves en relation avec le poids et la masse » ne sont pas identiques à celles du schème B « Connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse ». En effet, d'un côté, Florence attend des élèves une proposition de classement et, de l'autre, elle attend qu'ils disent ce qu'ils savent sur le poids et la masse pour éventuellement corriger leurs erreurs. Donc, le schème B (cf. tableau 1 p. 4) est un sous-schème du schème A (cf. tableau 2 ci-dessous).

Schème A : classification des propositions des élèves en relation avec le poids et la masse	
But	Classer les réponses des élèves par rapport au poids ou à la masse
Anticipation	J'attends que les élèves me disent si leur proposition concerne la masse ou le poids
Inférence	Si un élève hésite alors je demande à un autre élève Si un élève donne une réponse alors je demande si tous le monde est d'accord Si je sens des hésitations alors je demande s'ils sont sûrs de leur réponse Si un élève prend l'exemple de la balance alors je lui demande quel verbe on emploie quand on monte dessus
Indice	Les réponses des élèves
Règle d'action	Demander aux élèves si leur proposition concerne le poids ou la masse
Invariants opératoires	Je savais que tous les élèves ne seraient pas d'accord Je savais que kilogramme serait dans le poids Je savais que certains mots ne sortiraient pas au bon endroit Les concepts/notions de poids et de masse sont différents Je classe les propositions dans un tableau avec une colonne poids et une colonne masse

Tableau 2. Schème mobilisé par Florence lors de la situation d'entrée sur poids et masse

Comme pour le schème B, le contenu concernant le but, les anticipations, l'indice, les invariants opératoires et la règle d'action sont dits dans les entretiens par Florence alors que les inférences sont inférés de la vidéo et des entretiens.

Nous observons un autre type de connaissance dans les invariants opératoires du schème A que nous n'avons pas identifié dans les invariants opératoires du schème B. Ce sont des connaissances scientifiques sur les notions de masse et de poids. Dans les entretiens, Florence a montré un niveau de connaissance scientifique bien au dessus de son niveau d'enseignement. C'est ce que Shulman (1986) nomme *Subject Matter Knowledge* (SMK). Ces connaissances disciplinaires, d'un niveau supérieur, permettent à l'enseignante de produire des réponses adaptées et de trouver pertinent de faire distinguer aux élèves la masse du volume, dès le début du premier cours.

4.1.3. Un incident critique : amalgame entre masse et volume

Lorsque Florence fait émerger les conceptions initiales des élèves à partir de la question « Alors si je vous dis comme ça ... le poids la masse à quoi ça vous fait penser ? », elle se trouve confrontée à une réponse qu'elle n'avait pas prévue : un élève dit que la masse lui fait penser au volume. Florence décide dans l'action de préciser la distinction qu'il existe entre ces deux grandeurs afin de ne pas laisser d'idées fausses « qui pourraient constituer un obstacle plus tard ». Nous observons l'enseignante mobiliser la classe sur l'amalgame puis dire que le volume est lié à une contenance avant de revenir au déroulement prévu du cours. Nous notons cet incident critique « amalgame entre masse et volume » que nous décrivons suivant trois sous-schémas du schème B (cf. Figure 1) car la nature des anticipations du schème B change pendant l'adaptation de l'enseignante à la réponse de l'élève.

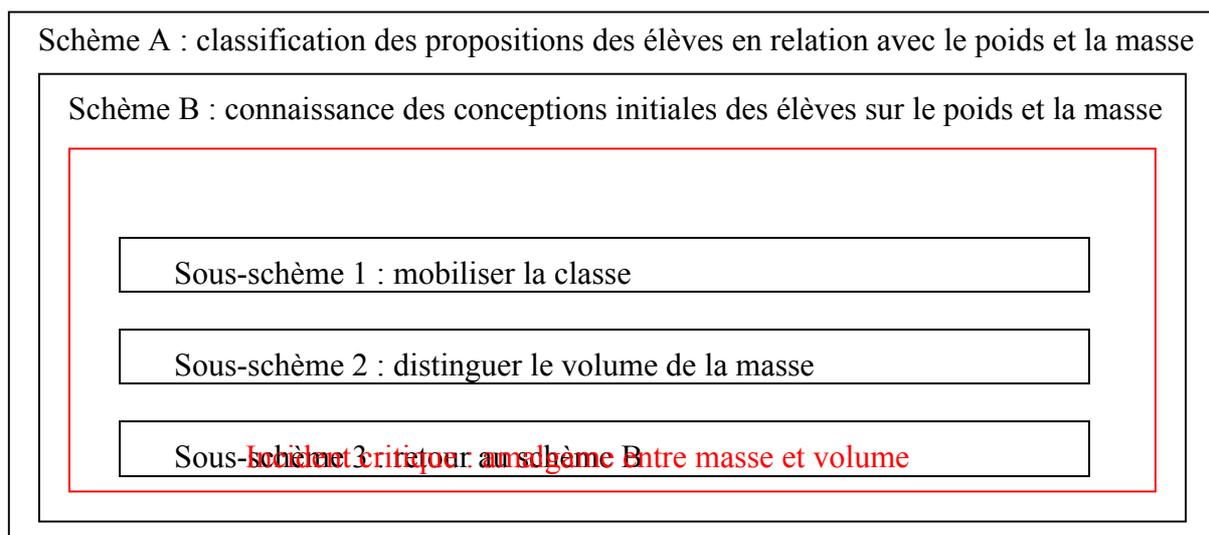


Figure 1. Modélisation de la situation d'entrée mise en œuvre par Florence

Notre modélisation décrit un processus dynamique qui est le résultat d'un imprévu. Il montre comment l'enseignante adapte sa préparation dans l'action sans qu'il y ait une procédure de réécriture de celle-ci. Nous analysons dans le paragraphe suivant l'incident critique du point de vue des connaissances professionnelles et nous montrons comment Florence s'est adaptée à la même situation l'année d'après.

4.2. Relation entre des connaissances professionnelles et la régulation rétroactive de l'activité en classe

Généralement, un enseignant s'appuie sur sa préparation pour mettre en place des activités et proposer des tâches aux élèves afin de favoriser des apprentissages. Pour Coulet (2009), « il est difficile de rendre compte de l'activité sans insister sur les mécanismes de régulation qui l'accompagnent ». Nous étudions ici l'adaptation ou l'évolution de la préparation à partir des trois boucles de régulation rétroactives de l'activité (Leplat 2006) : une boucle courte, une boucle longue et une boucle changement de schème (Pastré, 1997 ; Coulet, 2010). Nous ne développerons ici que la boucle courte et la boucle longue.

4.2.1. Une boucle courte de régulation

Revenons à l'incident critique décrit précédemment. Florence a un indice qui va à l'encontre des anticipations qu'elle a faites. Elle ne s'attend pas à cette confusion entre la masse et le volume. L'enseignante opère une boucle courte de régulation afin d'apporter une correction à la réponse erronée de l'élève. Donc, cette boucle de régulation est fondée sur un écart entre ce qui est anticipé comme résultat du schème qui est mis en œuvre et, ce qui se passe à un instant donné dans l'action qui lui donne un retour en décalage avec l'anticipation qu'elle a faite. Alors, Florence mobilise une série de règles d'actions qu'elle juge pertinente dans l'action. Cette forme de régulation permet à l'enseignante d'atteindre son but en opérant de proche en proche (Pastré, 1997).

4.2.2. Une boucle longue de régulation

L'année scolaire suivante, Florence s'est retrouvée dans la même situation que celle décrite précédemment mais elle a donné une réponse différente. L'enseignante a fait référence au programme de la classe de cinquième où le volume et la masse sont définis. Ce qu'elle tenait

pour vrai et pertinent a varié : l'invariant opératoire du schème convoqué a évolué. Dans les entretiens, Florence justifie ce changement par le fait qu'elle s'attendait à cette réponse puisqu'elle l'avait déjà rencontré l'année précédente. De fait, l'incident critique de la première année se transforme en un *incident prévu* la deuxième année. Pour autant sa préparation est restée identique. Ce changement apparaît caractéristique d'une régulation rétroactive en boucle longue. Nous pensons que les nouvelles connaissances acquises par Florence se retrouvent à deux niveaux différents dans notre description de l'organisation de l'activité : dans le schème B et dans le sous-schème 2 (cf. Figure 1). Dans le schème B, nous identifions un nouvel invariant opératoire de type théorème en acte « Je sais que le volume peut-être associé à la masse », un invariant opératoire de type concept en acte « la définition du volume au programme de la classe de cinquième » et une nouvelle inférence « Si le volume est associé à la masse alors je donne la définition du volume de la classe de cinquième » qui s'appuie sur les nouveaux invariants opératoires (cf. tableaux 3 et 4).

Inférence	<p>Si les élèves répondent des unités de masse, lourd/léger, la balance alors je note les propositions et je poursuis. Si les élèves répondent des erreurs scientifiques alors je corrige.</p> <p>Si le volume est associé à la masse alors je donne la définition du volume de la classe de cinquième</p>
------------------	--

Tableau 3. Évolution de l'inférence du schème B convoqué par Florence

Invariants opératoires	<p>Je sais qu'il y a des choses à casser !</p> <p>J'attendais lourd/léger car je l'avais eu dans une autre classe</p> <p>Je savais que j'aurais les unités de mesures et la balance</p> <p>Je sais qu'il faut faire émerger les CI des élèves au début de la séquence pour pouvoir construire des apprentissages par la suite</p> <p>Je débute la séquence en posant une question à toute la classe</p> <p>Je sais que le volume peut-être associé à la masse la définition du volume donné en classe de cinquième</p>
-------------------------------	--

Tableau 4. Évolution d'un invariant opératoire du schème B convoqué par Florence

Les sous-schémas 1 et 3 restent identiques à ceux décrits dans la figure 1 car l'enseignante a toujours besoin de mobiliser la classe avant de répondre à la proposition de l'élève puis, elle reprend le déroulement prévu de son cours. Par contre, le sous-schème 2 est modifié au niveau de la règle d'action qui devient « Rappeler aux élèves la définition du volume de la classe de cinquième » et d'un invariant opératoire du type théorème en acte « Je sais que le volume c'est l'espace qu'occupe un objet et il se mesure ».

4.2.3. Un exemple d'évolution des connaissances professionnelles : la capitalisation des inférences et des invariants opératoires

Nous avons décrit dans le paragraphe précédent comment Florence a modifié sa réponse d'une année sur l'autre concernant l'amalgame, entre la masse et le volume, apparu dans deux classes. Notre modèle nous amène à considérer que, Florence a acquis une nouvelle connaissance entre les deux années, de type PCK, sur les difficultés des élèves. De fait, les contenus des composantes « invariant opératoire » et « inférence » du schème convoqué par l'enseignante sont modifiés. Pour nous, il y a une *capitalisation* de ces deux composantes par

la construction de nouvelles connaissances. Nous observons deux conséquences à cette *capitalisation* : d'une part, Florence a élaboré une réponse plus précise que la première année ce qui améliore les apprentissages des élèves sur la notion de volume ; d'autre part, cette correction contribue à leur faciliter l'acquisition des savoirs sur les concepts du poids et de la masse.

Nous venons d'observer que Florence a appris sur le seul fait d'agir en situation. A partir d'un incident critique, l'enseignante *capitalise* des inférences et des invariants opératoires : l'activité de l'enseignante possède un versant constructif et un versant productif (Samurçay & Rabardel, 2004). Ces deux versants de l'activité sont indissociables. Nous remarquons que cette construction est très locale puisqu'elle est en relation avec une notion précise à enseigner.

Nous avons utilisé le même modèle d'organisation de l'activité que précédemment pour identifier les connaissances professionnelles mobilisées par Henri. Nous observons le même type de connaissances que dans le cas de Florence et le même agencement.

5. Discussion et conclusion

Nous avons étudié les connaissances mobilisées par deux enseignants de physique-chimie pour la préparation de la classe et au cours de sa mise en œuvre en classe ; pour cette présentation, nous avons retenu l'un de ces deux enseignants. En nous appuyant sur des références théoriques et sur une méthodologie construite pour cette recherche, nous avons identifié ses connaissances professionnelles en étudiant l'articulation entre le modèle des PCK et le concept de schème.

Nous avons observé que ces deux enseignants mobilisent d'autres types de connaissances que les connaissances disciplinaires issues de l'université : des connaissances sur les difficultés des élèves, des connaissances sur les programmes, des connaissances sur les stratégies d'enseignement. Ces connaissances dépendent du contenu à enseigner, elles sont des catégories de PCK. Elles s'amalgament (Shulman, 1986) notamment avec des connaissances disciplinaires (SMK) et des connaissances sur le contexte de classe. Toutes ces catégories de connaissances sont incluses dans les connaissances professionnelles de l'enseignant. Elles lui permettent de rendre le sujet d'étude plus compréhensible pour les élèves (Ibid.). Nous avons montré que la composante « invariant opératoire » d'un schème comprenait des SMK et différentes catégories de PCK. Nous observons aussi que la composante « inférence » contient des PCK et des connaissances qui ne dépendent pas du contenu enseigné.

La préparation de la classe n'est pas définitive et n'assure pas l'enseignant d'atteindre ses objectifs ; elle évolue à travers des réajustements. Nous avons montré notamment comment un professeur adapte sa préparation dans l'action en changeant sa règle d'action suite à un imprévu par une régulation rétroactive en boucle courte. Une conséquence de cette forme de régulation, c'est que le spectre des contenus enseignés est plus large que prévu. La régulation en boucle longue nous permet de montrer comment la *capitalisation* des connaissances dans l'invariant opératoire et dans l'inférence du schème convoqué par l'enseignant, issue de pratiques de classes passées, lui permet de produire une réponse structurée et précise pour les élèves.

Nous pensons que le processus de *capitalisation* est une forme de modélisation du processus d'acquisition d'expérience pour un enseignant. Il apprend sur le seul fait d'agir en situation : c'est un apprentissage incident, non voulu (Pastré, Mayen & Vergnaud, 2006). La boucle de rétroaction par changement de schème, que nous n'avons pas abordée ici par manque de place,

en fournit une autre forme, qui affecte les classes de situation. Dans tous les cas, observer ces évolutions demande un suivi des enseignants sur une durée longue.

Bibliographie

Clot, Y., Faïta, D., Fernandez, G., Scheller, L., (2001). Entretiens en autoconfrontation croisée : une méthode en clinique de l'activité. *Éducation permanente*, 146 (1), 17-25.

Coulet J-C. (2009). Mobilisation et construction de l'expérience dans un modèle de la compétence. In RPDP, Eduter et AgroSup (Ed.), *Recherches et Pratiques en Didactique Professionnelle – Premier Colloque International « L'Expérience » 2, 3 et 4 décembre 2009*. Dijon.

Flanagan, J.C. 1954. The critical incident technique. *Psychological bulletin*, 51(4), 327-358.

Grossman, P. L. (1990). The making of a teacher : Teacher knowledge and teacher education. New York. Teachers College Press.

Guedet, G., Trouche, L. (2009). Conception et usages de ressources pour et par les professeurs : développement associatif et développement professionnel, *Dossiers de l'Ingénierie Educative*, 65, p. 78-82.

Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail*. Paris : PUF

Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In N. G. L. Julie Gess-Newsome (Ed.), *Examining Pedagogical Content Knowledge* (pp. 95 - 132). Boston : Kluwer.

Pastré, P. (1997). Didactique professionnelle et développement. *Psychologie Française*, 42, 1, 89-100.

Pastré, P., Mayen P. & Vergnaud G. (2006). La didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie*, 154, p. 146-198

Samurçay R., Rabardel P. (2004), Modèles pour l'analyse de l'activité et des compétences, in Samurçay, Pastré (dir), *Recherches en didactique professionnelle*, Toulouse, Octares, 163-180.

Sensevy, G. & Mercier, A. (2007). *Agir ensemble. L'action conjointe du professeur et des élèves dans le système didactique*. Rennes : PUR.

Shulman, L.S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(2), 4-14.

Vergnaud, G. & Récopé, M. (2000). De Revault d'Allonnes à une théorie du schème aujourd'hui. *Psychologie Française*, 45, 1, 35-50.

Analyse des situations d'entrée à l'enseignement de la physique au collège en Côte d'Ivoire

Kouakou Innocent Koffi, École normale supérieure d'Abidjan, République de Côte d'Ivoire ; innocentkoffi@yahoo.fr

Mots clés : conception, situation-problème, pratique enseignante, intensité du courant électrique.

Résumé : Le changement de curriculum en Côte d'Ivoire est marqué par l'utilisation de situation dite «situation-problème» dans l'enseignement. Notre recherche vise à décrire l'organisation des séances et la structure des énoncés des situations d'entrée dans des cours d'électricité en physique en classe de cinquième. Cinq séances de classes ont été étudiées. Cette recherche consiste à faire une analyse a priori de contenu des énoncés et du déroulement effectif des séances d'enseignement. Nous nous limitons aux phases d'action, de formulation et de validation au cours de l'action conjointe élève-professeur en situation ordinaire de classe. Nos résultats mettent en relief que les énoncés des situations sont divers selon le contexte pour une même leçon. Certains énoncés portent potentiellement des obstacles, mais l'organisation des séances fait abstraction des conceptions des élèves.

1. Contexte et problématique

Dans plusieurs systèmes éducatifs des états africains l'approche dite par compétence, remplace progressivement la pédagogie par objectif (Roegiers (2010).

Après deux décennies (1976 à 2002) de Pédagogie Par Objectifs (PPO), la Côte d'Ivoire, opte pour un changement de curriculum concernant les enseignements à l'école primaire et au collège (MEN, 2007). Ce changement correspond à ce que Roegiers (2010) appelle «**situation en amont et situation en aval**» : le processus enseignement et apprentissage comporte une situation d'entrée, et des problèmes d'intégration. La notion de «situation» apparaît comme un des éléments mis en relief dans le système éducatif ivoirien. Pour cette étude nous intéressons aux situations étudiées en physique, en particulier dans l'enseignement de l'électricité au collège. Ce choix est pratique parce que des matériels existent pour permettre aux enseignants, s'ils le désirent, de faire l'expérimentation. Notre recherche contribue à identifier les pratiques enseignantes dans ce nouveau contexte curriculaire. Elle s'intéresse plus spécifiquement à la conception et la mise en œuvre, en classe ordinaire, des situations en amont. À partir des contenus notionnels, des habiletés, et des critères d'évaluations prescrits, les enseignants sont officiellement invités à élaborer des situations pour les enseigner. Le tableau ci-dessous nous renseigne sur ce qui est exigible (MEN, 2007) sur la leçon portant sur l'intensité du courant électrique en cinquième.

Contenu de la leçon	Habiletés			Critères d'évaluation
	savoirs	Savoir faire	Savoir être	
Je mesure l'intensité du courant électrique pour sécuriser les appareils et les utilisateurs. <ul style="list-style-type: none"> • Notion de courant électrique ; • Notion d'intensité du courant électrique ; • Ampèremètre et son symbole ; • Unité d'intensité (unité SI) • Mesure d'intensité du courant électrique. • Lois des intensités 	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître le symbole de l'ampèremètre • Connaître l'unité d'intensité • Connaître la loi des intensités dans un circuit série et dans un circuit avec dérivation 	<ul style="list-style-type: none"> • Monter un ampèremètre dans un circuit ; • Mesurer l'intensité du courant électrique en un point du circuit; • Appliquer la loi des intensités ; • Réaliser et schématiser un circuit comportant un ampèremètre 	<ul style="list-style-type: none"> • Faire preuve de curiosité • Se montrer coopératif • Manifester un esprit d'ouverture ; • Être méthodique ; 	Critères minimaux <ul style="list-style-type: none"> • Mesure correcte d'intensité, • Application correcte de la loi des intensités ; • Utilisation correcte d'un ampèremètre ; • Réalisation et schématisation correcte d'un circuit électrique comportant un ampèremètre.

Tableau 1. Un extrait de la présentation du savoir à enseigner relatif au courant électrique

En plus, les instructions officielles demandent que la «situation d'entrée» soit une situation-problème. Cependant, il reste que l'élaboration de ces situations et leur utilisation comme une stratégie d'enseignement, demeurent à la charge exclusive de l'enseignant. Il doit les produire. Or, l'élaboration et l'exploitation des situations par l'enseignant pour l'enseignement dans une classe, constituent des tâches nouvelles venant modifier les pratiques traditionnelles d'enseignement déjà stabilisées. Alors, construire une «situation-problème» qui organise l'enseignement et apprentissage des notions listées et qui développe les habiletés exigées, est un véritable défi que doivent relever les enseignants. Comment les enseignants relèvent-ils ce défi ? En d'autres termes quels types de situations construisent-ils et comment organisent-ils leur enseignement à partir d'elles ? Nous aborderons ces questions par l'étude d'exemples précis de situations d'entrée relatives aux leçons sur l'intensité du courant électrique et sur la tension électrique, après avoir abordé le cadre théorique en se plaçant dans une perspective de l'enseignement des sciences par le problème.

2. Cadre théorique

La structure des situations d'entrée en électricité et les pratiques enseignantes afférentes à sa mise en œuvre en classe dans les situations ordinaires, nous amènent à aborder les concepts de problème en didactique des sciences et de pratique enseignante.

2.1. Le problème dans l'enseignement des sciences

Bachelard (1938) établit une relation de dépendance entre la question et le statut de connaissance scientifique. Pour lui, toute connaissance scientifique est une réponse à une question. Aussi, Popper (1991) considère-t-il que la science commence par des problèmes. En outre les théories cognitives mettent l'accent sur les activités de résolution conçues à la fois comme source de connaissance et comme moyen de contrôler la maîtrise des savoirs (Weil-Barais, 2004). En plus, les didacticiens partagent l'idée que dans l'enseignement des sciences, le problème occupe une place importante qui ne se limite plus aux seules évaluations, mais concerne directement les enseignements et les apprentissages (Caillot & al, 2005).

Nous dirons comme Orange (2005) que des relations stables de dépendance sont établies entre le problème et l'enseignement des sciences. Cependant tous les problèmes n'ont pas la même structure didactique ni le même statut épistémologique, mais selon Boilevin (2005), l'idée essentielle dans le problème, est celle d'un défi intellectuel que l'on lance devant soi. Déjà, Dumas-Carré et Goffard (1987) soutenaient que pour qu'il y ait problème dans une situation d'enseignement et d'apprentissage, il doit y avoir une question qui a du sens, qui possède une réponse qui n'est pas connue, et dont les moyens et le cheminement ne sont pas évidents pour obtenir la solution. Tardif (1992) ajoute que l'on doit faire une recherche cognitive active pour savoir comment procéder et que l'apprenant ne peut pas immédiatement trouver la suite des opérateurs utiles pour parvenir à l'état désiré en tenant compte des contraintes et des données initiales du problème.

Cette littérature permet d'identifier divers types de problèmes à savoir les situation-problèmes (Giordan & De Vecchi, 1994, Robardet, 1997, 2001), les problèmes ouverts (Boilevin, 2005) et les problèmes classiques (Goffard, 1990, Caillot & al., 2005).

2.2. Qu'est-ce qu'il y a de plus dans la situation-problème ?

La situation-problème est une alternative au cours (Boilevin, 2005) ; c'est un dispositif didactique qui utilise la médiation dans le processus enseignement et apprentissage (Dumas-Carré & Weil-Barais, 1998). Merieu (1988) avance qu'il s'agit de concevoir des situations didactiques qui mettent en tension un objectif à atteindre, un obstacle à franchir et une tâche à accomplir. L'idée d'obstacle est reprise dans les travaux de Robardet (1997, 2001) et ceux de Giordan et de Vecchi (1994) en didactique des sciences. La présence d'un obstacle dans la situation-problème, et la place prépondérante occupée par l'activité expérimentale dans une situation problème ne permet pas de la confondre avec un problème ouvert ou un problème classique (Boilevin, 2005). La situation-problème est un concept fondamental en didactique des sciences expérimentales (Giordan & De Vecchi, 1994 ; Astolfi & Develay, 1989) en ce sens qu'elle permet aux élèves d'apprendre à utiliser l'expérience pour répondre à des problèmes scientifiques. Ainsi construire une situation-problème, c'est construire un milieu au sein duquel le savoir à enseigner va prendre tout son sens (Robardet, 2001). Mais il faut aussi organiser la situation en classe.

2.3. Les pratiques d'enseignement avec les situations-problèmes

Brousseau (1998) analyse le travail de l'élève et de l'enseignant lorsque ce dernier soumet à la classe une situation didactique, comme la situation-problème, en le découpant en quatre temps dominants : action, formulation, validation, institutionnalisation. Mais seules les trois premières vont nous intéresser. La phase d'action consiste à appréhender le problème. Les élèves adoptent de ce fait une attitude réflexive marquée de perplexité et doute. C'est un moment de recherche et de discussion au sein des groupes de travail. Chacun des membres de l'équipe doit produire des éléments personnels, suggestions, réponses, constats susceptibles de nourrir la discussion. L'enseignant joue le rôle d'un organisateur. Cette phase débouche, au sein du groupe sur la formulation des idées, des conjectures ou des hypothèses. Cette explicitation se fait au moyen des mots, des expressions, des gestes, des schémas. La formulation préalable des idées donne un sens aux activités expérimentales à concevoir et à réaliser, déterminant ainsi l'intérêt et le sens de la phase de validation. La validation, quant à elle, apparaît comme une recherche de preuve pour identifier le statut des hypothèses formulées qui sont soit des conceptions alternatives soit des savoirs institués. La phase de validation est un plan d'actions pour mettre à l'épreuve les hypothèses formulées. La phase d'institutionnalisation intervient par la suite pour reformuler conformément aux contraintes du savoir savant de référence.

Ces phases ne se succèdent pas toujours, il existe des va et vient entre elles et ainsi des interactions multiples naissent entre apprenants et enseignant, et entre pairs. Pour modéliser cette action didactique conjointe, Sensévy (2007) propose de prendre en compte le temps de l'enseignement et de l'apprentissage (la chronogénèse), le partage de responsabilité entre professeur et élèves (topogénèse), les objets du savoir et le milieu qui les mette en scène (mésogénèse). Les quatre phases nous permettent d'avoir une granularité plus grande, à l'intérieur de laquelle, nous étudierons les actions conjointes du professeur et de l'élève au cours des séances d'enseignement et d'apprentissage. En effet dans chacune des phases, l'action de l'enseignant est une réponse à la demande de l'apprenant, de même l'action de celui-ci, est une réponse à sa sollicitation. L'élève agit pour répondre à une action pensée et exprimée par l'enseignant. L'action de l'élève pendant sa confrontation à la situation-problème s'étudie conjointement avec la gestion par l'enseignant de la situation-problème.

3. Méthodologie

3.1. Hypothèse de travail

Nous faisons l'hypothèse que le concept de « situation-problème » utilisé dans le curriculum des collèges en Côte d'Ivoire subit une profonde mutation, dans sa conception et dans sa mise en œuvre par les enseignants. En particulier :

H1) Les situations d'entrée possèdent des caractéristiques diverses, mais leur organisation en classe omet l'idée majeure et essentielle de l'obstacle épistémologique et didactique.

H2) La démarche de validation des conjectures des élèves par l'expérience est quasiment absente. Cette phase de recherche de preuve est remplacée par une phase de discours de transmission de contenus disciplinaires.

H 3) L'action de l'apprenant dans le jeu des interactions, se limite principalement à la formulation des conjectures.

3.2. Echantillon et méthode de recueil et des données

Notre corpus est constitué de notes prises pendant l'observation, des traces écrites des élèves, des fiches de préparation des enseignants et aussi des films des séances.

Les leçons observées se rapportent au domaine de l'électricité en classe de cinquième. Ainsi, deux leçons sont concernés, l'une intitulée, « je mesure l'intensité du courant électrique pour sécuriser les appareils et les utilisateurs », et l'autre, « je mesure les tensions électriques pour sécuriser les appareils et les utilisateurs ».

4. Résultats

Cette recherche a d'abord une visée exploratoire. Les « situations » recueillies dans les préparations des enseignants sont des textes. Ils sont écrits au tableau ou typographiés et distribués aux élèves et collés dans leurs cahiers. Ces textes ne comportent que l'énoncé des situations d'entrée. Les films des séances complétés des prises de notes, les traces écrites nous ont permis d'analyser l'organisation de ces situations en classe par l'enseignant.

4.1. L'analyse des énoncés des situations d'entrée

Nous retenons quatre points essentiels pour identifier leur structure.

Le premier point concerne la contextualisation de la situation. Les mots, les dessins, les objets utilisés renvoient aux objets du milieu quotidien, d'autres au contraire, font référence aux savoirs à enseigner ou enseignés en classe.

Par exemple, les mots torches, réfrigérateurs, congélateur, postes radios, machine à coudre etc., sont des objets du milieu socioculturel des élèves, alors que les mots et expressions, ampèremètres, ampères, circuit série, circuit en dérivation, intensité du courant électrique, pile, fils électriques, lampes électriques, 2.5A, 1.5V, etc., entretiennent des liens évidents avec le domaine d'électricité. Le domaine socioculturel et le domaine conceptuel de l'électricité donnent le contexte de la situation. Ces domaines ne se résument pas à des objets, mais ceux-ci les indiquent.

Le deuxième point consiste à identifier le type d'obstacle didactique ou épistémologique potentiel. Dans le domaine de l'électricité, certaines conceptions sont connues et modélisées comme l'indique le travail de synthèse de Reinders & Rhöneck (2011) sur les conceptions des élèves en électricité. Par exemple, le raisonnement séquentiel, le raisonnement local, la consommation de courant électrique qui englobe l'usure du courant et sa dévaluation.

Le troisième consiste à identifier les savoirs à enseigner. Le savoir visé pour appréhender la situation proposée est théoriquement constitué des savoirs à enseigner en jeu dans la leçon étudiée : liste de notions que l'on trouve réparties les trois colonnes « savoirs » « savoir-faire » et « savoirs-être » du tableau 1.

Le quatrième point concerne la démarche de résolution utilisée par l'enseignant. Deux modèles de résolution sont observables. Les démarches de résolution des situations-problèmes en physique sont généralement de type hypothético déductif (Robardet, 1990) : les hypothèses formulées par les apprenants sont mises à l'épreuve au moyen d'expérience. La présence d'expérience élaborée pour éprouver les conjectures en est l'indicateur principal d'une telle démarche. A l'opposé, les hypothèses formulées par les élèves sont laissées de côté, pour un temps, et la résolution de la situation n'intervient que lorsque l'enseignant a achevé son discours transmissif.

<i>Titre de la Leçons 1(L1) « Je mesure l'intensité du courant pour sécuriser les appareils et les utilisateurs »</i>	
« Situations » proposées par les professeurs (P1, P2, P3) relatives à la leçon L1	Notre lecture des situations
<u>P1L1</u> <i>Akissi voit une indication 2.5A sur sa machine à coudre. Que signifie cela pour vous ?</i>	Contextes objets : machine à coudre, notion : 2.5 A, référence à intensité du courant électrique. Savoir à enseigner prévu : adapter un récepteur à un générateur Obstacle potentiel : consommation du courant électrique Démarche de résolution adoptée , non expérimentale, discours utilisant les informations du cours
<u>P2L1</u> <i>Fidèle ramasse un jouet électrique sur le chemin du lycée. Avec son argent de poche, il achète une pile ronde et veut faire fonctionner le jouet. Son grand frère qui l'observe lui dit que le courant fournit par la seule pile ne peut pas (faire) permettre au jouet de fonctionner ; il te demande de lui expliquer l'affirmation de son frère et de lui proposer une solution afin que son</i>	Contexte : objet : jouet notion : pile, courant fournit, référence à la tension et au courant électrique. Savoir à enseigner : adapter un récepteur à un générateur. Obstacle potentiel : générateur à débit constant Démarche de résolution adoptée : non expérimentale, discours utilisant les informations du cours

	<i>jouet fonctionne.</i>	
<u>P3L1</u>	<i>Dame Kouassi achète un congélateur tout neuf pour son commerce de jus. La nuit, pendant que les autres appareils (télévision, ventilateur, climatiseur) fonctionnent, elle branche le congélateur. Aussitôt, le disjoncteur saute (le courant se coupe). Elle le remet en marche mais c'est le même constat. Découragée, elle te demande de l'aider à résoudre son problème. Aide-la.</i>	Contexte : objet : congélateur, notion : disjoncteur, référence au courant et à la tension électriques. Savoir à enseigner : adapter un récepteur à un générateur. Obstacle potentiel : _générateur à débit constant, consommation du courant électrique. Démarche de résolution adoptée : non expérimentale, discours utilisant les informations du cours

Tableau 2. Structure des situations-proposées au leçon 1

Nous constatons que les situations d'entrées proposées par les enseignants sont construites pour que le domaine conceptuel se rapporte au courant électrique, et que l'énoncé comporte des objets socioculturels familiers. Ces énoncés peuvent permettre de faire émerger des conceptions, surtout si l'enseignant demande les explications du fait qu'une seule pile (2L1) peut ou ne peut pas faire fonctionner le jouet, et celles pour lesquelles la dame (3L1) ne parvient pas à faire fonctionner son congélateur quand tous les autres électroménagers fonctionnent. A priori des idées naïves comme celles de la consommation du courant ou le générateur à débit constant peuvent être inférées à partir des argumentations ou des conjectures. La situation 1L1, est plus fermée que les autres, mais peut donner lieu à des réponses diverses. Bien que toutes ces situations comportent potentiellement des obstacles épistémologiques et ou didactiques, le déroulement des séances de classe nous montrera dans la suite (voir tableau 4 et 5), que les conjectures sont abandonnées au profit du déroulement classique des enseignements.

Examinons une autre situation (P4L2, voir tableau 3) proposée pour le professeur P4 et portant sur la tension électrique.

Leçon2 (L2) : « Je mesure la tension électrique pour sécuriser les appareils et les utilisateurs »		
Situations proposées par l'enseignant P4		Lisibilité des situations
<u>P4L2</u>	<i>Une nuit, une coupure d'électricité survient à Bingerville. Yao achète trois piles cylindriques de 1,5volts chacune et une ampoule électrique de 1,5 volts pour sa lampe torche. L'ampoule brille très fortement et « se grille ». IL retourne une nouvelle ampoule qui « se grille » aussi. Yao te demande pourquoi les ampoules se sont grillées et que faut il faire pour éviter une telle situation</i>	Contexte : objet : torche notion : pile, 1.5V, grille, référence à tension électrique, surtension Savoir à enseigner : différence de potentielle, intensité du courant électrique Démarche de solution adoptée par l'enseignant : non expérimentale, discours utilisant les informations du cours

Tableau 3. Un exemple de situation proposée à une leçon sur les tensions

On voit que l'énoncé permet de situer le problème dans le domaine de l'électricité, il est aussi culturellement contextualisé. Cette situation P4L2 porte sur les tensions continues, mais pose le même problème que la situation précédente P3L1. Ici, la lampe se «grille» alors que dans la précédente, le disjoncteur «saute». Les argumentations des apprenants pour expliquer ces faits peuvent comporter des indices des raisonnements naïfs modélisés par l'idée de consommation du courant électrique.

Les quatre situations sont proposées par des enseignants différents, chacun d'eux a construit une situation appartenant au domaine conceptuel de l'électricité. Le caractère concret du contexte est la dimension la mieux prise en compte. Mais ces situations d'entrées ne sont pas construites pour travailler particulièrement une conception et pour étudier un concept. En

effet, les objets utilisés sont le plus souvent familiers aux élèves. Mais l'exploitation des situations dans une perspective d'obstacle à franchir, est ignorée. Voyons dans les lignes qui suivent l'usage qui en est fait en classe.

4.2. Action de l'enseignant et réaction des élèves face aux situations proposées

Nous décrivons les actions de l'enseignant P1 et des élèves pendant la séquence utilisant la situation 1L1 (Voir tableau 2) dans les tableaux 4 et 5 qui suivent.

Mn	Découpage en phase	Ce que dit le professeur, ce qu'il fait	Ce que font les élèves
00 5	Phase de dévolution du problème	P : <i>Nous allons résoudre un problème</i> ; P : circule et distribue, l'énoncé des problèmes posés ; P : fait lire des élèves ;	Le groupe classe : Reçoit le texte, Lis l'énoncé, Réfléchit, S'agite pour répondre ;
10	Phases d'action et de formulation des hypothèses ou des propositions de réponses	P : Sollicite la réponse de quelques élèves ; P : oui, toi ; P : qui d'autre ; P : et toi ?	E1 : ça veut dire « A vendre », E2 : c'est « Amende » E3 ; c'est le « numéro de fabrication de la machine ».
	Début d'une autre séquence	P : annonce le titre de la leçon, puis fait noter 1. Je découvre la notion d'intensité du courant électrique	Les élèves prennent leur cahier, écrivent le titre de la leçon et puis le 1

Tableau 4. Début d'une leçon par le professeur 1

L'indication 2.5 A du problème 1L1, suscite des conjectures multiples et divergentes. Pour certain (E1), la lettre « A » signifie « A vendre », contraire (E2) avance que « A » signifie « Amende » ; le troisième interrogé (E3) prend en compte les chiffres 2 et 5 et la lettre A ; pour lui, c'est le « numéro de fabrication de la machine à coudre ». Après les idées exprimées par les apprenants, l'enseignant reprend la parole et déroule son cours. Le tableau suivant donne également les premiers instants du cours du professeur P3.

Mn	Découpage en phase	Ce que dit et fait le professeur	Ce que font les élèves
00 5	Phase de dévolution du problème	Prof : <i>nous allons résoudre un problème</i> ; Prof : fait lire deux élèves ;	Groupe : Lecture silencieuse de l'énoncé, Groupe : Réflexion individuelle,
10	Phases d'action et de formulation des hypothèses ou des propositions de réponses	Prof : Sollicite la réponse de quelques élèves	Elève 1 : <i>c'est par ce qu'elle n'arrive pas à faire fonctionner son appareil</i> ; <u>Elève 2 : le congélateur est puissant</u> ; Elève 3 ; <i>les appareils peuvent être détruits.</i>
11	Début d'une autre séquence	P : [] annonce le titre de la leçon, puis fait noter 1. Je découvre la notion d'intensité du courant électrique	Les élèves écoutent et écrivent le titre

Tableau 5. Séquence du professeur P3 utilisant la situation 1L3

Les réponses sont divergentes. La situation proposée donne lieu à des diverses spéculations possibles. La conduite de cette partie est cependant riche en interaction. L'élève E2, emploie le mot « puissant » dans une signification quotidienne qui renvoie à l'idée confuse de « consomme plus de courant », parce que la puissance en électricité, n'est pas encore étudiée. La réponse de l'élève E2 comporte des indices du raisonnement de type consommation du courant électrique.

Juste après les formulations des conjectures ou des réponses élèves, les enseignants observés passent à une autre séquence : après avoir fait noter le titre de la leçon, ils procèdent à des définitions des notions d'intensité puis à la description de l'instrument de mesure. Nous apercevons qu'aucune expérience n'est envisagée pour confronter les idées initiales des apprenants.

5. Conclusion

La situation d'entrée proposée aux élèves sont multiples et diverses. Elles ont la particularité d'être contextualisées, Mais bien que certaines portent potentiellement des obstacles épistémologiques, la gestion de ces situations ne se centre pas sur l'explicitation des difficultés conceptuelles et sur leur prise en compte dans le processus enseignement et apprentissage. La gestion de la classe n'est pas conduite comme prenant en compte les conceptions des élèves, contrairement aux situations-problèmes (Robardet, 1997, 2001). Or la prise en compte des conceptions structure et organise les différentes articulations d'une séance d'enseignement et d'apprentissage. Dans les classes observées les conceptions ne sont pas directement travaillées par la classe. La situation n'implique pas une activité de validation expérimentale. Mais la démarche d'enseignement reste et demeure tributaire d'un enseignement traditionnel de type transmissif. La présence de situation-problème dans les consignes officielles n'affecte pas dans le fond l'activité de l'apprenant. Ainsi qu'il observe ou même qu'il manipule des instruments de mesure, cela ne correspond pas à un mouvement de recherche de preuve expérimentale pour confronter ses a priori. Les idées formulées ne sont ni discutées et ni mises à l'épreuve par les acteurs du système didactique, mais plutôt écoutées (ou entendues). Des pratiques de classe observées se trouvent toujours être prisonnières de l'enseignement traditionnel. L'enseignant fait son cours, puis la situation de départ est résolue par la classe en utilisant une série d'informations tirée du cours qui vient d'être fait. La construction et la mise en œuvre en classe ordinaire des situations constituent un vrai défi pour le système éducatif ivoirien ayant adopté l'approche par compétence, surtout que cette compétence est construite à partir des situations et s'évalue par d'autres situations. C'est un défi du côté des enseignants, du côté des concepteurs des programmes, des formateurs, et des chercheurs. Le défi à relever est de transformer un curriculum et des pratiques enseignantes dont l'ancrage épistémologique réside dans la pédagogie de type transmissif à un curriculum et des pratiques de type hypothético déductif.

Bibliographie

- Astolfi, J., P. & Develay, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris : Presse Universitaire de France.
- Bachelard, G. (1938/1986). *La formation de l'esprit scientifique, contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. Paris : Librairie philosophique J. Vrin.
- Boilevin, J. M. (2005). Enseigner la physique par situation problème ou par problème ouvert. *Aster*, 40, 13-37.
- Caillot, M., Dumas-Carré, A., & Goffard, M. (2005). La résolution de problème. In M. Goffard & A. Weil-Barais (dir.), *Enseigner et apprendre les sciences* (pp.197-219). Paris : Armand Collin.

- Brousseau, G (1998). *Théorie des Situations Didactiques*. Grenoble. La pensée sauvage.
- Dumas-Carré, A. & Goffard, M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problème en physique. Concepts et démarches*. Paris : Armand Collin.
- Dumas-Carré, A. & Weil-Barais, (1988). Les interactions didactiques : tutelles et /ou médiation. In A., Dumas-carré & A., Weil-Barais (s/dir). *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*. Pp1-18. Bruxelles : Peter Lang.
- Giordan, G. & De Vecchi, G. (1994). *Les origines du savoir*. Paris : Delachaux & Niestlé
- Goffard M. (1990). *Méthode de travail pédagogique et résolution de problèmes de physiques*. Thèse de Science de l'Education. Université Paris V.
- Meirieu, P. (1988). *Apprendre...oui, mais comment ?* Paris : ESF .
- Orange, C. (2005). Problème et problématisation dans l'enseignement scientifique. *Aster*, 40, 3 - 11.
- Popper, K. (1991). *La connaissance objective*. Paris : Flammarion.
- Reinders, D., & Rhöneck, C. (2010).
<http://Icar.unive-lyon2.fr/equipe2/coast/ressources/ICPE/français/partieC/C2.pdf>. visité le 5 décembre 2011
- Robardet G. (2001). Quelle démarche expérimentale en classe de physique ? Notion de situations – problèmes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 836, 1173 – 1190.
- Robardet, G. (1997). Le jeu des résistors : une situation visant à ébranler des obstacles épistémologique en électrocinétique. *Aster*, 24, 59-75.
- Robardet, G. (1990). Enseigner les sciences physiques à partir des situations problèmes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 720, 17-28.
- Rogiers, X. (2010). *La pédagogie de l'intégration*. Bruxelles : De Boeck
- Tardif, J. (1992). *Pour un enseignement stratégique. L'apport de la psychologie cognitive*. Montréal : les éditions Logiques.
- Sensevy, G. Les catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In G. Sensevy & A., Mercier (s /Dir). *Agir ensemble*. pp 13-50. Rennes : PUR.
- Weil-Barais A., (2004). Elèves et maitres en prise avec le savoir. Weil-Barais, A. (s/Coord.). *Les apprentissages scolaires*, pp. 42-80. Paris : Bréal.

Les intermédiaires graphiques dans l'activité de CAO en technologie au collège

Patrice Laisney, Univ. de Provence, IUFM d'Aix-Marseille ; UMR P3 ADEF, Univ. de Provence, Ens de Lyon - Ifé, GESTEPRO ; p.laisney@aix-mrs.iufm.fr

Mots clés : Education Technologique – Résolution de problèmes – Conception Assistée par Ordinateur – Intermédiaires graphiques – Créativité

Résumé : Cette communication analyse l'activité de recherche de solutions dans le cadre de la conception en situation d'enseignement apprentissage. En quoi les intermédiaires graphiques modifieraient-ils et dans quel sens les performances d'élèves de 5^{ème} en technologie au collège ? En analysant des productions d'élèves à travers un dispositif expérimental nous nous demanderons si les élèves produisent plus de solutions sans utiliser les outils de CAO. L'activité de CAO favorise-elle la modélisation d'une solution en particulier ? Le dessin à la main précédant l'activité de CAO favorise-il alors une production de solutions variées et définies avec plus de précisions ? L'étude présentée donne les premiers éléments de réponse.

1. Introduction

En classe de cinquième, l'enseignement de la technologie prend appui sur le domaine « habitat et ouvrages » pour analyser et concevoir des objets techniques. Les élèves sont amenés à représenter des solutions techniques. Ces représentations peuvent se faire sous forme de croquis ou de schémas à main levée et peuvent aussi être produites grâce aux outils de CAO. Les outils informatiques occupent d'ailleurs une place importante en technologie et font aussi partie intégrante des moyens dont disposent les professionnels de la conception. Il s'agit donc de s'intéresser au rôle des intermédiaires graphiques dans les performances des élèves de 5^{ème} au cours de leurs recherches de solutions dans le cadre d'une activité de conception en situation d'enseignement apprentissage.

2. Cadre théorique

2.1. Résolution de problèmes et conception

Selon le modèle proposé par De Vries (1995) « *l'approche par la conception met l'accent sur les processus technologiques dans lesquels les élèves doivent résoudre des problèmes non déterminés.* » Pour autant les situations qu'il convient de proposer sont encore à définir, car la résolution de problèmes ne se décrète pas (Ginestié, 2005, 2010). Envisagée dans la réalité du fonctionnement de la classe, il arrive que le professeur procède par un fort guidage de l'action indiquant aux élèves ce qu'ils doivent faire pour arriver au résultat, allant jusqu'à leur indiquer des éléments de solution.

Les travaux conduits par Arzac, Germain et Mante (1991) en didactique des mathématiques proposent une distinction entre problèmes ouverts et problèmes fermés, cette distinction est reprise en didactique de la physique par Boilevin (2005). Alors que les problèmes fermés tendent à n'impliquer qu'une seule solution possible, les problèmes ouverts admettent plusieurs hypothèses de résolution. Nous retiendrons pour notre étude cette distinction pour l'enseignement ayant recours à la résolution de problèmes. En effet, la conception relève de la résolution d'un problème plutôt « ouvert », c'est-à-dire qu'il s'agit d'un problème dont l'ensemble des solutions est infini. Dans ce cas l'élève est confronté aux choix de la forme, de ces dimensions, de la structure de l'objet, ainsi que des matériaux utilisés. Pour étudier la variété dans les productions d'élèves (E. De Vries, 2010) particulièrement lorsqu'ils sont confrontés à un problème ouvert, nous distinguerons les trois champs notionnels que font Rabardel et Vérillon (1987) et Rabardel (1989) dans le dessin technique : la géométrie, la technologie et le code. La géométrie permet de penser les formes des objets représentés, la technologie permet de penser les caractéristiques de la matière, les mouvements relatifs des pièces constituantes, leur structure et les fonctions des formes. Enfin le code, qui s'articule avec les deux précédents champs notionnels ; « *il consiste en un système d'association entre les deux plans des signifiants et des signifiés.* » (E. De Vries, 2010, p. 219), ne fait pas l'objet de notre étude qui concerne le dessin traditionnel et la CAO. Ne mettant pas en jeu les mêmes outils de représentation, ils ne permettent pas la comparaison.

2.2. Modèle de l'activité de conception créative

Le modèle général de l'activité de conception emprunté à Lebahar (1983) fait apparaître trois grandes étapes permettant de décrire le processus de conception en architecture. Ce modèle général des aspects cognitifs de la conception, assimile cette activité à la « *résolution de problèmes mal définis* » (Simon, 1991) et se caractérise par la « *conception créative* ». Cette notion de créativité se développe au travers des mécanismes qu'elle met en jeu : l'exploration, la génération de solutions et l'évaluation. Mais surtout ce modèle tient compte d'un aspect essentiel dans l'activité de conception qui a trait au dessin sous toutes ses formes y compris par l'utilisation d'outils informatiques. Le dessin est à la fois support figuratif et un outil de la pensée. Plus précisément, le croquis est considéré comme partie intégrante des activités de conception créative. Il est défini comme l'outil prépondérant de la pensée. Le dessin est en effet vu par les spécialistes de la psychologie cognitive (Goël, 1995; Schon, 1983) comme une représentation de l'activité mentale, fixant les idées dans les premières phases de la conception. Mais plus que cela, ces représentations visuelles dessinées, qui prennent plusieurs formes suivant les phases de la conception, sont recombinaisons, modifiées et adaptées. Dans le modèle de Lebahar les intermédiaires graphiques apparaissent dans chacune des étapes :

- i) Le diagnostic architectural. Dans cette première phase l'architecte va cerner et définir le problème à résoudre au regard des contraintes. Il est alors en phase d'exploration et le résultat sera une première « *base graphique de simulation* », mélange de notes et de premiers dessins.
- ii) La recherche de l'objet par simulation graphique. Dès lors, le concepteur va entamer la génération des solutions et leur évaluation, dans un processus incrémental et itératif. C'est le dessin qui va être le vecteur privilégié de cette démarche. Il représente, comme le souligne Lebahar, « *l'objet en création et la pensée qui le crée* ».
- iii) L'établissement du modèle de construction. Dans cette phase le concepteur définit des représentations graphiques précises, destinées à rendre claire la solution pour les constructeurs. C'est la « *décision définitive* » concernant l'ensemble du projet (plans, dessins précis avec une échelle spécifiée, etc.).

L'apport des travaux de Rabardel et Weill-Fassina (1992) sur la mise en œuvre de systèmes graphiques, nous permet d'envisager l'analyse des intermédiaires graphiques qui interviennent dans chacune des trois étapes du modèle de Lebahar selon un triple point de vue fonctionnel, sémiologique et cognitif. Les intermédiaires graphiques constituent des objets sémiotiques intégrés à des tâches complexes ayant un caractère fonctionnel par rapport au travail à accomplir. Par exemple la forme, les dimensions, la matière, la structure ou le fonctionnement sont autant d'aspects de l'objet utiles à l'action du concepteur. Cette action relève des différentes transformations opérées sur la matière (usinage, montage) ainsi que des opérations mentales de traitement des informations inhérentes au processus de résolution de problèmes de conception. Ainsi, le dessin est un outil, un instrument que le sujet utilise pour résoudre des problèmes de conception. La conception est ainsi considérée comme un processus créatif d'objet par élaboration progressive et intriquée d'une représentation mentale et de la figuration de cet objet par le sujet.

2.3. Rôle des outils CAO

Lebahar (2007) a étudié la place des outils de CAO et notamment l'articulation entre le dessin traditionnel, « à la main » et la modélisation à l'aide de logiciel de CAO. « *Whitefield a montré, en comparant les travaux de designers industriels dessinant à la main, à ceux produits par des designers utilisant un système CAO, que les premiers avaient tendance à explorer plusieurs possibilités de solutions alternatives (stratégie en largeur), alors que les seconds, davantage concentrés sur leurs opérations de modélisation sur ordinateur, entraient davantage dans les détails et ne développaient qu'une solution unique, durant tout le processus (stratégie en profondeur.)* » Selon Lebahar, la stratégie en largeur est plutôt liée au dessin à la main alors que la stratégie en profondeur dépend de la mise en œuvre de système de CAO.

D'autres travaux de recherche sur les outils CAO (Huot, 2005) montrent que les « *logiciels actuels de CAO ne supportent pas (ou très peu) la créativité* », et ne sont après tout que des « *techniques informatiques* ». Huot situe l'inadéquation des systèmes de CAO face à la démarche du concepteur à deux niveaux. Tout d'abord au niveau cognitif, car leurs méthodes de construction d'un modèle numérique tendent à imposer des choix à l'utilisateur et ne se fondent pas sur les données imprécises des phases initiales de la conception. Ce qui se traduit notamment par le fait que le concepteur est contraint très tôt à manipuler des entités géométriques précises. Les systèmes ne savent pas manipuler des données floues, imprécises, caractéristiques de la résolution de problèmes. Ensuite au niveau contextuel, car les modes de représentation et les paradigmes d'interactions qu'ils proposent ne placent pas l'utilisateur dans un contexte optimal pour la création.

Nous avons souligné l'importance que tient le dessin dans les premières phases de la conception pour la « liberté » qu'il induit dans la génération des solutions à un problème, essentiellement grâce à un rapport intuitif avec le concepteur. Il en va pourtant dans un tout autre sens pour les logiciels de CAO.

D'un point de vue des processus d'enseignement-apprentissage, les travaux de Martin (2007) montrent l'apport que peuvent représenter les outils informatiques pour l'apprentissage du dessin à l'école. L'utilisation d'un outil numérique peut aider les enfants pendant qu'ils copient un modèle, mais n'améliore pas leur capacité à utiliser leur propre modèle interne. Au niveau du collège, Géronimi (Géronimi, 2009; 2005) montre la nécessaire « familiarisation » avec les outils de CAO pour favoriser l'engagement des élèves dans la tâche de conception, ainsi que le rôle des représentations. Tous ces travaux s'accordent sur le fait que, d'une part les outils informatiques doivent être adaptés au processus d'enseignement-apprentissage et

d'autre part qu'il est important de prendre en compte les représentations à chaque étape du processus.

Pour conclure, il s'agit de s'intéresser au développement d'activités liées à la conception par des élèves dans le cadre de l'enseignement de la technologie, là où traditionnellement cet enseignement se centre sur l'apprentissage de l'utilisation des outils (Brandt-Pomares, 2003). Nous proposons d'utiliser un modèle construit en envisageant une « zone d'incertitude » dans laquelle l'usage du dessin traditionnel ou des outils de CAO favoriserait le processus de recherche de solutions chez des élèves de collège. La créativité s'exprimant au travers de la variété des solutions élaborées par les élèves.

3. Méthodologie de l'étude

Partant du principe que le recours aux outils CAO ou au dessin « à la main » influence la recherche de solutions, nous faisons l'hypothèse que le recours au dessin « à la main » favorise la mise en forme d'une plus grande variété de solutions, alors que l'usage d'outil CAO, favorise l'approfondissement d'une solution en particulier. Du coup, l'ordre dans lequel les élèves seraient amenés à utiliser ces outils aurait aussi une influence. Faire précéder l'activité de CAO d'une activité sans recours aux outils informatiques devrait aboutir à la production de solutions valides au regard des contraintes, plus nombreuses, plus variées et définies avec plus de précisions à la fin du processus. Nous formalisons ainsi les trois hypothèses opérationnelles suivantes :

H1 : Les élèves produisent plus de solutions sans utiliser les outils de CAO.

H2 : La CAO favorise la modélisation d'une solution en particulier.

H3 : Le dessin à la main précédant l'activité de CAO favorise le processus de production de solutions.

3.1. Le dispositif

Pour vérifier ces hypothèses, nous proposons un dispositif dans lequel les élèves sont mis en situation de résoudre un problème ouvert. Les professeurs demandent à leurs élèves de concevoir une table basse de salon. La consigne suivante a été donnée aux élèves : « Votre travail consiste à proposer des solutions de table basse en respectant les contraintes du cahier des charges » (cf. Annexe I).

Nous avons relevé les productions réalisés par plus de 200 élèves de 5^{ème} répartis sur 4 collèges (10 classes) de l'Académie d'Aix-Marseille confrontés à une tâche de conception. Le tableau n°1 présente la répartition de la population testée.

Collèges	1	2	3	4
Nb de classes	2	3	2	3
Nb d'élèves	34	65	40	53
Connaissance du logiciel Google SketchUp	99 élèves ont déjà utilisés le logiciel dans le cadre de l'enseignement de technologie.		93 élèves découvrent le logiciel lors de l'expérimentation.	

Tableau 1. Population d'élève testé

Trois modalités de travail correspondent à ce que les élèves ont eu à faire au cours de deux séances de 50 mn. Lors de la première séance, (modalité 1), le groupe A doit réaliser la tâche de conception en utilisant exclusivement les outils de dessin traditionnel « à la main ». Pendant ce temps, le groupe B (modalité 2) doit réaliser cette même tâche en utilisant exclusivement le logiciel Google SketchUp. Lors de la deuxième séance (modalité 3) les deux groupes (A et B) sont à nouveau confrontés à la même tâche, c'est-à-dire qu'ils doivent poursuivre leurs recherches de solutions mais avec cette fois la liberté de choix des outils de représentation graphique. Afin de vérifier l'impact que pourrait avoir la familiarisation des élèves avec le logiciel, nous testerons deux populations d'élèves, ceux qui le « connaissent », parce qu'ils l'ont déjà utilisé dans le cadre d'un enseignement réalisé par le professeur de technologie lors des séances précédentes, et ceux qui le « découvrent ».

3.2. Les données recueillies et les indicateurs d'analyse

Les élèves ont réalisés des productions graphiques dans les conditions du fonctionnement ordinaire d'un cours de technologie au collège, en classe entière et avec leur professeur habituel. A l'issue des séances 1 et 2 et pour chacune des modalités 1, 2 et 3, l'ensemble des traces écrites et des fichiers numériques produits par les élèves a été relevé.

Nous avons codé les différentes solutions selon leur géométrie (formes), la technologie (structures) les assemblages (mobilités) et les matériaux utilisés. A partir des choix, et de leur combinaison on peut déterminer l'ensemble des solutions à ce problème. En effet, il existe trois solutions au moins pour le choix de la forme, quatre solutions de structures avec des parties fixes ou mobile, avec un isostatisme réalisé à partir d'un nombre de pieds pouvant varier (1 à 4 et plus) et enfin un choix de matériaux ouvert (métal, bois, plastique, verre...), soit plus de trois cent solutions. La figure 1 propose un exemple de solution correspondant au codage suivant : F3 (forme ovoïde), S2 (structure tubulaire), 1 pied central, assemblage fixe et M2 (plusieurs matériaux utilisés mais non précisés).



Figure 1. Exemple de solution (à gauche) et de production (à droite)

Concernant la première hypothèse, les indicateurs retenus sont les nombres de productions et de solutions représentés par les élèves selon l'outil utilisé. Chaque trace papier ou fichier informatique élaboré par les élèves sera appelé *production*. Quel que soit l'état d'élaboration, qu'il s'agisse par exemple d'une simple ébauche ou d'un modèle numérique incomplet. Toute *production* sera considérée comme une *solution* éligible, c'est-à-dire une solution possible au problème posé. Une solution éligible n'est donc pas forcément à ce stade une solution finalisée du problème. Les nombres de productions et de solutions ainsi relevés lors des trois modalités du dispositif expérimental permettront la comparaison entre les deux groupes A et B.

Concernant la deuxième hypothèse, l'indicateur retenu est lié à l'état d'élaboration des modèles représentés par les élèves des deux groupes A et B, dans les trois modalités. Il prendra en compte le respect dimensionnel par la manipulation de l'échelle de représentation,

la présence d'éléments de décor et de texture des matériaux et l'approfondissement d'une solution unique déduite du nombre de *solutions* élaborées par élève.

Concernant enfin la troisième hypothèse, les indicateurs retenus sont de trois natures : la variété des solutions élaborées dans les trois modalités, les outils graphiques choisis et utilisés dans la troisième modalité (libre) et l'évolution des solutions entre les séances 1 et 2 pour le groupe A et B. La variété des solutions sera mesurée au regard de la diversité des propositions. L'évolution des solutions sera appréciée selon trois catégories, *identique* si on ne constate aucun changement dans les choix de conception, *évolution* si on ne constate que des changements mineurs et enfin *nouvelle* si les choix sont différents.

Seules les productions-solutions de la séance 1 (modalités 1 et 2) sont analysées dans cette communication pour vérifier notre 1^{ère} hypothèse.

4. Les résultats obtenus

4.1. Nombre de productions et de solutions

Chacune des productions des élèves est identifiée en tant que telle dans le sens où elle résulte d'un travail qui aboutit à la réalisation de traces graphiques. Parmi les productions ne sont retenues comme solutions que les traces graphiques qui représentent un agencement structurel de formes admettant une surface plane. Nous avons comptabilisé le nombre de « solutions » produites par les élèves. Le nombre de productions et de solutions élaborées par l'ensemble des élèves à l'issue de la première séance figure dans les tableaux n°2 à 4.

Séance 1	Productions	Solutions	Total
Groupe A	243	222	465
Groupe B	112	81	193
Total	355	303	658

Tableau 2. Nombre de productions et de solutions élaborées

L'analyse du nombre de productions et de solutions confirme notre première hypothèse selon laquelle les élèves produisent plus de solutions sans utiliser les outils de CAO. En effet, d'une part le tableau n°2 montre que les élèves du groupe A réalisent plus de productions et de solutions que les élèves du groupe B. D'autre part, les tableaux n°3 et n°4 montrent que cette différence n'est pas due à quelques élèves mais bien à une tendance générale qui concerne la majorité des élèves. Les élèves du groupe A sont capables d'élaborer majoritairement plus d'une production (ou solution) alors que les élèves du groupe B n'en proposent rarement plus d'une.

Séance 1	1 production	2 productions	+ de 2 productions
Groupe A	16	64	25
Groupe B	89	6	3
	105	70	28

Tableau 3. Nombre de productions élaborées par élève

Séance 1	1 solution	2 solutions	+ de 2 solutions
Groupe A	26	57	22
Groupe B	68	3	2
	94	60	24

Tableau 4. Nombre de solutions élaborées par élève

Des tests confirmatoires montrent, à partir du tableau n°2, que les deux groupes sont équivalents en termes de constitution ($Khi^2 = 0,059$; Ddl = 1 ; $p < 0,05$). Ce n'est donc pas la composition du groupe qui influence le nombre de productions et de solutions, mais bien le rôle que jouent les intermédiaires graphiques dans les tâches effectués. Et néanmoins, on observe à partir des tableaux n°3 et n°4 des différences significatives ($Khi^2 = 115,992$ et $Khi^2 = 76,786$; Ddl = 2 ; $p < 0,05$) que nous attribuons à la tâche et donc au fait que dans un cas les élèves utilisent le dessin traditionnel « à la main » et dans l'autre, ils utilisent les outils CAO.

4.2. Différence entre connaissance et découverte du logiciel

Dans la perspective de regarder les effets du niveau de familiarisation des élèves avec le logiciel, nous avons différencié la population des élèves du groupe B selon qu'ils le connaissent (C) ou qu'ils le découvrent (D). Le tableau n°5 donne le nombre de productions et de solutions élaborées par les élèves du groupe B à l'issue de la première séance.

Séance 1		Productions	Solutions	Total
Gr B	(D)	58	35	93
	(C)	54	46	100
Total		112	81	193

Tableau 5. Nombre de productions et de solutions élaborées par le groupe B

Le nombre de productions et de solutions réalisés par élèves du groupe B qui découvrent le logiciel et par ceux qui le connaissent sont du même ordre. Si le nombre de solutions élaborées (46) par les élèves qui connaissent le logiciel est supérieur au nombre de solutions élaborées (35) par les élèves qui découvrent le logiciel, pour autant, le test du Khi^2 montre que cette différence n'est pas statistiquement significative entre les deux groupes ($Khi^2 = 1,385$; Ddl = 1 ; $p < 0,05$), ce qui nous permet de retenir l'hypothèse d'homogénéité des deux

groupes. Nous pouvons conclure que les deux groupes sont semblables dans leur composition et que les différences relevées au niveau du nombre de production et de solutions sont dues aux conditions de réalisation de la tâche elle-même.

5. Conclusion discussion

Pour un problème de conception « plutôt ouvert », en l'occurrence la conception d'une table basse de salon, la phase d'exploration des solutions s'enrichit de l'usage du dessin « à la main ». En effet, le recours au dessin traditionnel lors des premières phases de recherche de solutions permet aux élèves de mettre en forme des ébauches de solutions au problème de conception posé. Les élèves sont tous capables de produire des dessins qui permettent d'exprimer leurs idées. Les résultats de l'expérimentation tendent à montrer que l'usage du dessin traditionnel avant les outils CAO permet aux élèves de développer quantitativement plus de solutions. Le logiciel Google SketchUp semble pouvoir être envisagé tôt dans le processus de recherche de solutions. On remarquera néanmoins que dans ce cas, l'exploration du champ des possibles se réduit et que les élèves tendent vers une solution unique.

A partir des autres indicateurs permettant l'analyse de la variété des solutions élaborées par les deux groupes sur l'ensemble du dispositif (que nous n'avons pas détaillé dans cette communication), nous ne relevons pas de différence au niveau de la diversité de leurs propositions de solutions. En fonction du niveau de familiarisation des élèves avec l'outil informatique, le passage d'un support à l'autre ne se fait pas de la même manière. On constate que les élèves qui découvrent le logiciel y associent le dessin manuel alors que les autres l'abandonnent totalement avec pour résultat un volume moindre de réponses. De plus, les élèves qui n'ont pas un niveau de familiarisation suffisant ne sont pas en mesure de résoudre un tel problème de conception et une grande partie de leurs ressources cognitive est alors utilisée pour prendre en main le logiciel.

Bibliographie

- Arsac, G., Germain, G., & Mante, M. (1991). *Problème ouvert et situation-problème*. Villeurbanne: Institut de recherche pour l'enseignement des mathématiques.
- Brandt-Pomares, P. (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*. Doctorat Décembre, Université de Provence, Marseille. Available from Atelier National de Reproduction des thèses, Lille
- De Vries, E. (2010). Quelle caractérisation de la variété des produits d'une activité de conception ? *RDST*, N°2, 215-234.
- De Vries, M. (1995). L'enseignement de la technologie aux Pays-Bas et autres pays européens. *Skholê*, n°3, pp. 63-84.
- Géronimi, A. (2009). *Familiarisation à la CAO et activité de conception : De l'analyse des situations d'enseignement à la recherche de liens entre elles*. Doctorat, Pierre Mendès France, Grenoble II.

Géronimi, A., De Vries, E., Prudhomme, G., & Baillé, J. (2005). « Objets intermédiaires » dans une situation de conception en technologie avec CAO au collège. *ASTER 41*, 115-137.

Ginestié, J. (2005). Résolutions de problèmes en éducation technologique. *Éducation technologique*, 28, 23-34.

Ginestié, J. (2010). How pupils solve problems in technology education and what they learn. In M. Barak & M. Hacker (Eds.), *Fostering Human Development through Engineering and Technology Education* (pp. sous presse). Rotterdam: Sense publisher.

Goël, V. (1995). *Sketches of Thought*. Cambridge, MA, USA.

Huot, S. (2005). *Une nouvelle approche pour la conception créative : De l'interprétation du dessin à main levée au prototypage d'interactions non-standard*. Doctorat, Université de Nantes, Nantes.

Lebahar, J.-C. (1983). *Le dessin d'architecte : simulation graphique et réduction d'incertitude*. Roquevaire: Éditions Parenthèses.

Lebahar, J.-C. (2007). *La conception en design industriel et en architecture. Désir, pertinence, coopération et cognition*. Paris: Hermès-Lavoisier.

Martin, P. (2007). *Instrumentation, créativité en éducation artistique : Le cas de l'utilisation des outils de création numérique à l'école*. Doctorat, Université de Provence, Aix-en-Provence. Available from Atelier National de Reproduction des Thèses, Lille

Rabardel, P. (1989). Recherche en psychologie et en didactique : un exemple d'interaction dans l'enseignement du dessin technique. *Revue française de pédagogie*, n°89, 55-62.

Rabardel, P., & Vérillon, P. (1987). Approches fonctionnelles du dessin technique : réflexions pour un cadre d'analyse. In P. Rabardel & A. Weill-Fassina (Eds.), *Le dessin technique* (pp. 209-217). Paris: Hermès.

Rabardel, P., & Weill-Fassina, A. (1992). Fonctionnalités et compétences dans la mise en oeuvre de systèmes graphiques techniques. *intellectica*, n°15.

Schon, D. A. (1983). *The reflexive practitioner : how professionals think in action*. New York: Basic Books.

Simon, H. A. (1991). *Sciences des systèmes Sciences de l'artificiel* (Réédition de 1969 ed.). Paris: Dunod.

Laisney P.

Analyses complémentaires de l'évaluation de la culture scientifique dans le cadre de PISA pour les élèves français

Florence Le Hebel, Univ. Lyon 1, IUFM ; UMR ICAR, CNRS, Univ. Lyon 2, Ens de Lyon – Ifé ; Florence.le-hebel@ens-lyon.fr

Pascale Montpied, UMR ICAR, CNRS, Univ. Lyon 2, Ens de Lyon – Ifé ; pascale.montpied@aliceadsl.fr

&

Andrée Tiberghien, UMR ICAR, CNRS, Univ. Lyon 2, Ens de Lyon – Ifé ; andree.tiberghien@univ-lyon2.fr

Mots clés : Culture scientifique, PISA, élèves en difficulté, évaluation, compétence

Résumé : Les résultats de PISA Science 2006 pour la France montrent des scores relativement moyens sur l'échelle de la culture scientifique, et on observe en particulier une forte proportion (supérieure à la moyenne de l'OCDE) d'élèves en grande difficulté. Les objectifs de notre étude sont de mieux connaître les connaissances et compétences nécessaires pour comprendre, traiter et répondre aux questions de PISA 2006 pour les sciences. Nous avons ainsi recueilli des données (audio et/ou vidéo) auprès d'élèves (de bon niveau scolaire ou en difficulté) de seconde ou troisième dans le but d'analyser les processus de réponses à partir de productions orales et écrites lorsqu'ils répondent aux questions PISA que nous avons préalablement sélectionnées. Ces résultats remettent en question la signification réelle de la mesure de la culture scientifique par l'instrument d'évaluation PISA. En particulier pour les élèves en difficulté, les compétences devraient être affinées.

1. Problématique

Les enquêtes internationales sur le suivi des acquis des élèves existent depuis près d'un demi-siècle. Elles semblent connaître un essor depuis ces vingt dernières années, avec la mise en place par exemple de programmes d'évaluations comme PIRLS (Progress In Reading and Literacy Study), TIMSS (Third International Mathematics and Science Study, ou PISA (Programm for International Student Assessment).

Le programme d'évaluation PISA des élèves de 15 ans, est réalisé tous les 3 ans par l'OCDE. La première enquête fut réalisée en 2000, et le nombre de pays participants n'a cessé de croître depuis son lancement : de 32 pays membres de l'OCDE en 2000, on est passé à 66 pays en 2009 (dont 36 pays partenaires).

Contrairement aux enquêtes antérieures, PISA est une enquête internationale dont le but n'est pas d'évaluer l'acquisition de connaissances fixées par les programmes scolaires, mais les savoirs et savoir-faire essentiels à la vie quotidienne des élèves de 15 ans pour mener une vie d'adulte autonome. Les tests portent sur la lecture, la culture mathématique et la culture scientifique. Ces enquêtes PISA permettent de fournir des sources d'informations pour comparer les systèmes scolaires mais aussi pour faire des analyses secondaires des résultats

obtenus dans un pays (par exemple Prenzel & Zimmer, 2006 ; Bautier et al., 2006 ; Meuret, 2008, voir Olsen & Lie, 2007). Pourtant ce programme d'évaluation est sujet de controverses en France (e.g. Rochex, 2006, Grenet 2008) et au niveau international (e.g. Lau, 2009). Le travail que nous avons initié vise à mieux caractériser cet instrument d'évaluation pour la culture scientifique dans le cadre de la France.

Les résultats de PISA Science 2006 pour la France montrent des scores relativement moyens sur l'échelle de la culture scientifique, et on observe en particulier une forte proportion (supérieure à la moyenne de l'OCDE) d'élèves en grande difficulté à un niveau 1 ou moins 1, signifiant que ces élèves sont incapables d'utiliser des connaissances scientifiques pour réaliser les tâches les plus faciles de PISA.

De plus, les résultats PISA science 2006 sont surprenants concernant la répartition des scores sur l'échelle de la culture scientifique entre les trois compétences « identifier une question d'ordre scientifique », « utilisation de faits scientifiques » et « explication scientifique de phénomènes ». Cette dernière compétence montre particulièrement un faible score chez les élèves français.

Les objectifs de cette étude sont d'établir des liens entre les performances des élèves dans PISA, leurs compréhensions des situations proposées (contextes) et les compétences qu'ils mettent effectivement en oeuvre dans l'élaboration de leurs réponses aux questions PISA. Nous visons ainsi à mieux connaître les connaissances et compétences des élèves requises pour comprendre, traiter et répondre aux questions de PISA 2006 pour les sciences.

Les résultats d'une étude antérieure (Rochex, 2006) sur des analyses secondaires des questions PISA « compréhension de l'écrit » 2000 en France, renforcent l'hypothèse de recherche des auteurs : les compétences requises pour répondre aux questions PISA en lecture sont en fait bien plus complexes et hétérogènes que celles que PISA prétend tester. Ainsi dans notre étude, afin de rendre compte de la variété des compétences mobilisées par les élèves, lorsqu'ils construisent les réponses aux questions de culture scientifique PISA 2006, nous allons analyser les processus cognitifs qu'ils mettent en jeu lorsqu'ils répondent. Comme les élèves lors de l'élaboration de leurs réponses, combinent un processus de lecture et un processus de résolution de problème, nous avons choisi un modèle théorique (Bergqvist et Osterhölml, 2010) basé sur l'hypothèse, que l'on ne peut pas séparer les deux processus. Ce modèle s'appuie en partie sur la théorie de Kintsch (1998) en psychologie, qui est en lien avec les représentations mentales et la théorie de Lithner (2008) en didactique des mathématiques, qui est en relation avec les aspects comportementaux de la résolution de problème. Le modèle de Bergqvist et Osterhölml (2010) prend en compte les contraintes mutuelles entre les représentations mentales et les aspects comportementaux, c'est-à-dire les actions effectuées pendant la résolution. Pour les auteurs, ce modèle inclut une dimension cyclique permettant à la composante comportementale d'affecter la représentation mentale et inversement. Dans notre étude, nous analyserons pour chaque question, à la fois les représentations mentales de l'élève et la façon dont il construit sa réponse, en interaction le plus souvent avec un autre élève, ce qui peut alors affecter sa représentation mentale initiale de la question.

Cette étude nous permettra d'établir des relations entre les résultats obtenus et les compétences effectives et les difficultés que les élèves peuvent montrer sur les questions PISA science 2006.

En accord avec le ministère de l'Education (DEPP, Direction de l'Evaluation, de la Performance et de la Prospective), nous utilisons les résultats PISA 2006 publiés pour la France et pour les autres pays de l'OCDE.

2. Méthodologie

Nous avons choisi comme approche de notre étude, une étude de cas avec une analyse a priori des items PISA. Nous proposons d'observer des élèves de divers niveaux et de catégoriser l'ensemble de leurs actions afin d'aboutir à un certain nombre de conclusions sur :

- sur la variété des processus cognitifs mis en jeu par les élèves dans la construction de leurs réponses ;
- les connaissances qu'ils possèdent ou leur manquent pour répondre aux questions ;
- les compétences effectives qu'ils utilisent pour répondre aux questions.
- la diversité des représentations des élèves soutenant leurs processus cognitifs
- les stratégies de réponses lorsqu'ils élaborent leurs réponses.

Ces analyses nous ont conduit à déterminer les compétences effectives que les élèves utilisent lorsqu'ils répondent et de les comparer aux compétences que les questions sont supposées évaluer.

Notre démarche de recherche s'est déroulée en deux étapes :

- Nous avons d'abord établi une analyse a priori de toutes les questions PISA afin de sélectionner les questions à tester avec les élèves. Les critères de pertinence, pour le choix de la globalité des questions testées avec les élèves, ont été sélectionnés selon 3 axes :
- La variété possible des éléments de savoir indispensables que les élèves doivent mettre en jeu pour répondre (connaissance en science ou à propos des sciences présentes ou non dans le curriculum, connaissance quotidienne, etc.), la catégorie de connaissances (système vivant, système physique, système technologique, démarche scientifique, etc.) ainsi que l'utilité ou non de l'introduction de l'item et/ou de la question pour répondre à la question.
- La forme de l'item : la variété des types d'introduction d'item et/ou de questions (longue, courte, présence ou non d'un graphique, d'une photo, d'un schéma), la compétence que PISA évalue avec la question, le format de la question (ouverte, choix multiples, etc.), la catégorie de connaissance à laquelle la question appartient.
- Les scores obtenus (faibles ou forts) pour chaque question en France, pour l'OCDE pour la population totale, pour les filles, et les garçons.

La deuxième étape consiste en une analyse des processus de réponses des élèves à partir de productions orales et écrites lorsqu'ils répondent aux questions sélectionnées et/ou pendant l'entretien qui suit.

L'analyse a priori des questions nous a conduit à chercher à comprendre le rôle des connaissances dans la réponse aux questions. Dans ce but, nous avons construit un test de connaissances présentées sans être contextualisées dans des situations. Ceci nous a conduit à construire un test sur les connaissances nécessaires pour répondre à certaines des questions retenues.

Ce test est passé dans un premier temps, il a une durée d'une dizaine de minutes, constitué de 10 questions très brèves.

Dans un second temps, les élèves (21) répondent aux questions PISA que nous avons sélectionnées. Nous avons organisé deux dispositifs complémentaires : Une passation par binôme, et une passation individuelle.

La consigne pour les binômes d'élèves est qu'ils doivent discuter ensemble pour construire une réponse commune. Les binômes d'élèves sont filmés. L'inconvénient du travail en binôme est que les conditions de passation diffèrent de celles de l'évaluation PISA, cependant les discussions d'élèves rendent explicites certains processus de pensées.

Pour le deuxième dispositif, chaque élève répond individuellement aux questions PISA sélectionnées. Nous procédons ensuite à un entretien d'explicitation avec les élèves qui ont répondu individuellement, et quand nous le pouvons, avec les binômes aussi. Durant cet entretien d'explicitation, nous nous concentrons sur comment les élèves élaborent cette réponse et non pourquoi ils ont donné cette réponse (Pierre Vermersch, <http://www.expliciter.fr/>). La passation individuelle correspond mieux aux conditions du test PISA, cependant on ne peut obtenir d'informations directes sur la compréhension de l'énoncé et sur les processus qui ont conduit à la réponse. L'entretien suit mais l'élève ne peut pas se souvenir exactement ou décrire tous les processus qu'il a mis en jeu pour répondre.

Pour toutes les analyses vidéo, nous avons utilisé le logiciel TRANSANA (<http://www.transana.org>).

Nous avons commencé par une étude pilote avec un échantillon de 7 élèves (trois binômes et une élève répondant individuellement) de niveau moyen à bon dans le but d'établir les critères pour analyser les processus de réponse des élèves quand ils répondent aux questions. Cette étude pilote nous a aussi permis de procéder à une vérification de la sélection des questions. Ainsi, pour ces 7 élèves, 44 questions de 15 items différents ont été sélectionnées. Dans un second temps, comme nous avons continué notre étude avec 14 élèves en difficulté, nous avons sélectionné seulement 30 questions provenant de 12 items afin de réduire la longueur du questionnaire.

L'ensemble des données recueillies ont été analysées par trois chercheurs, qui en cas d'interprétations différentes pour une même question ont discuté pour aboutir finalement à un consensus.

3. Résultats

Nous nous sommes d'abord concentrées sur les compétences que les élèves développent lorsqu'ils résolvent une question, afin de les comparer avec la ou les compétence(s) que cette question teste selon l'évaluation PISA.

Trois compétences majeures sont identifiées dans le cadre de PISA, comportant chacune trois sous-compétences :

- Identifier des questions d'ordre scientifique

- . Reconnaître les questions auxquelles l'on peut apporter une réponse par une investigation scientifique **ISQ1**
- . Identifier les mots clés permettant d'effectuer une recherche d'informations scientifiques **ISQ2**
- . Reconnaître les caractéristiques principales d'une investigation scientifique **ISQ3**

- Expliquer des phénomènes de manière scientifique

- . Appliquer des connaissances en science dans une situation donnée **EPS1**
- . Décrire ou expliquer des phénomènes de manière scientifique et prévoir des changements **EPS2**
- . Identifier les descriptions, explications ou prévisions appropriées **EPS3**

- Utiliser des faits scientifiques

- . Interpréter des données scientifiques, tirer et communiquer des conclusions **USE1**
- . Identifier les hypothèses, les éléments de preuve et les raisonnements qui sous-tendent des conclusions **USE2**

. Réfléchir aux conséquences sociétales des progrès scientifiques et technologiques
USE3

Dans le tableau ci-dessous, nous avons reporté une partie représentative de nos résultats pour 23 questions et 21 élèves. Sur ce tableau sont reportés respectivement, la compétence que teste la question selon PISA, le score de réussite à cette question pour la France, le score moyen pour l'OCDE, et les compétences effectivement mises en oeuvre par les élèves lorsqu'ils répondent à ces questions (Elèves n°1 à 7 et n° 21 sont des élèves de niveau moyen à bon, les élèves 8 à 20 sont des élèves en difficulté).

	Comp. PISA	Compétences effectives mises en oeuvre par les élèves lorsqu'ils construisent leurs réponses												
		1&2	3&4	5&6	7	8&9	10&11	12&13	14 &15	16	18&19	20	21	
S268Q01	ISI3	ISI3	ISI3	ISI3		ISI3	Nans	Nans			*	ISI3	ISI3	
S268Q06	EPS1	EPS1	EPS1		EPS1		Nans	Nans					EPS1	
S304Q01	USE 1	EPS2/ EPS1	EPS2/ EPS1	EPS2/ EPS1	EPS2/ m		EPS2/E PS1		EPS2 m				EPS2 m	
S304Q02	EPS1	EPS1	EPS1	EPS1	EPS1	EPS1	EPS1			EPS1		EPS1	EPS1	
S304Q03a	USE3	EPS1	EPS1	EPS1	EPS1	EPS1	EPS1			EPS1			EPS1 /USE3	
S304Q03b	USE2	EPS2/ EPS1	EPS1/ EPS1	EPS1/ EPS2	EPS1/ EPS2				EPS1/ EPS2	EPS1/ EPS2			EPS2/ EPS1	
S408Q01	EPS1	EPS1	EPS1					EPS1	EPS1	EPS1			EPS1/ EPS2	
S408Q03	EPS1	*	*	EPS1	(EPS1)		USE 2			USE 2			EPS1	
S426Q03	EPS1	EPS2/ EPS1	EPS1	EPS1	EPS1	EPS2	Nans				EPS2	EPS2	EPS1/ EPS2	
S428Q01	USE 1	USE1	USE1	USE1	USE1	USE 1	Nans	Nans	USE 1	USE 1			USE 1	
S428Q03	USE 2	USE1	USE1	USE1	USE1	USE 2	Nans	Nans	USE 1	USE 1	USE m	USE 1	USE 1	
S476Q01	EPS1	EPS1	EPS1	EPS1			Nans	EPS1	*	EPS 1			EPS 1	
S476Q02	EPS1	EPS1	EPS1	EPS1	EPS1		Nans	EPS1	EPS 1	EPS 1			K	
S476Q03	EPS1	EPS1	EPS1				Nans			EPS 1			EPS 1	
S485Q02	EPS1		EPS1			Nans	Nans	Nans		EPS 1			EPS 1	
S495Q01	USE 2	USE1	USE1	USE1	USE1				Nans	USE1		USE1	USE1	
S495Q02	USE 2	USE1	USE1	USE1	USE1	USE1	USE1	?		USE1		USE1	USE1	
S495Q03	USE 1	USE1	USE1	USE1	USE1			Nans					USE1	
S498Q02	ISI 3	ISI3 /EPS3 USE2	ISI3/E PS1	ISI 3	ISI 3		Nans			ISI 3		(ISI 3)	(ISI 3)	
S498Q03	ISI 3	ISI 3	ISI 3	(ISI3)	ISI 3	ISI 3	Nans	ISI 3	(ISI 3)	ISI 3		ISI 3	ISI 3	
S498Q04	USE 1	USE 1	USE1/ USE2	USE1/ USE2	USE1/ USE2	USE 1	Nans	Nans	USE 1	ISI 3	EPS1	USE 1	USE 1	
S508Q02	ISI 3	ISI 3	ISI 3	ISI 3			Nans	USEm	USEm	*	*		ISI 3	
S508Q03	ISI 3	ISI 3	ISI 3	ISI 3			Nans	ISI 3	ISI 3	ISI 3		ISI 3	ISI 3	

Tableau 1. Compétences effectives mises en oeuvre par les élèves lorsqu'ils construisent leurs réponses, en comparaison avec les compétences testées par les questions selon PISA

Les parties grisées sont juste pour souligner les cas où les compétences effectives mises en oeuvre par les élèves lorsqu'ils construisent leurs réponses, et les compétences testées par les questions selon PISA sont différentes).

*(case vide : la compétence mise en jeu n'a pas pu être déterminée ; Nans : question non analysée par les élèves ; * : les élèves ont réussi à obtenir le crédit mais ne mettent pourtant pas en jeu la compétence ; (compétence entre parenthèse) : les élèves n'ont pas le crédit, pourtant, ils utilisent cette compétence ; compétence m = compétence mal appropriée : les élèves utilisent cette compétence qui n'est pas du tout appropriée pour donner une réponse juste.)*

Pour une même question, les compétences effectives mises en jeu lorsque les élèves construisent leurs réponses peuvent différer des compétences que PISA propose d'évaluer.

Pour certaines questions, les compétences effectives et les compétences référencées dans PISA, restent dans la même catégorie, mais pas au même niveau. Par exemple pour la question S428Q03, la compétence associée à cette question par PISA est « Identifier les hypothèses, les éléments de preuve et les raisonnements qui sous-tendent des conclusions - USE2 », et selon notre analyse, la compétence effective mise en oeuvre par les élèves observés relève d'« interpréter des données scientifiques, tirer et communiquer des conclusions - USE1 ». Cependant les deux compétences restent dans la même catégorie « Utiliser des faits scientifiques ».

La mise en oeuvre fréquente des compétences de la catégorie « Expliquer un phénomène de manière scientifique » et plus précisément la compétence « appliquer une connaissance en sciences dans une situation donnée » (EPS1) conduit à nous interroger sur la réelle part d'explication d'un phénomène scientifique lorsque l'élève applique une connaissance en science. Cette sous-compétence pourrait être distinguée de la compétence « expliquer un phénomène de manière scientifique » car elle ne correspond pas nécessairement à la mise en oeuvre d'un processus explicatif. Ceci conduirait à une interprétation différente des scores obtenus en France en particulier sur la raison du faible score la compétence « expliquer un phénomène de manière scientifique ».

D'autre part, nous avons observé d'importantes différences entre des élèves de niveau moyen à bon et les élèves en difficulté. Le plus souvent, aucune compétence scientifique n'est mise en jeu lorsque ces derniers tentent de résoudre la question. Ces élèves montrent la plupart du temps, une incompréhension du but de la question et de son contenu scientifique. Cette observation nous a conduit à analyser plus précisément les actions des élèves en difficulté, comparées à celles des élèves de niveau moyen à bon. Les échanges filmés des élèves lorsqu'ils répondent au questionnaire PISA ou lors des entretiens nous permettent d'avoir accès à leurs processus cognitifs qu'ils verbalisent. Nous obtenons ainsi des informations sur les représentations construites des élèves à partir des situations proposées dans les items (texte introductif, texte question, photo, schéma, etc.) et sur les processus cognitifs associés.

Pour analyser les représentations des élèves, nous avons procédé en trois étapes :

- Dans une analyse a priori, nous avons déterminé les représentations qui seraient à priori construites à partir des situations des items PISA ;
- Dans un second temps, nous avons a priori choisi seulement les représentations de la situation que nous avons considérées nécessaires d'avoir pour donner une réponse juste ;
- Enfin, nous avons comparé ces représentations avec celles que les élèves ont construit lorsqu'ils répondent aux questions.

Des exemples d'analyse seront montrés lors de la présentation.

Nos résultats montrent que les élèves faibles ont souvent des difficultés à construire une représentation cohérente, stable et globale de la question et de son but. Par conséquent, nous avons observé différents types de comportements :

- Ils focalisent sur un mot ou un groupe de mots, ou un seul élément de la question ou du texte introductif, généralement le plus simple à comprendre, et construisent à partir de cela un autre but de la question qui peut être instable et évoluer au cours des discussions ;
- Ils commencent une réflexion à partir d'une représentation confuse, qui est vite remplacée par une nouvelle représentation instable lors de la discussion, elle-même remplacée par une autre ;
- Ils ne construisent aucune représentation de la situation, du système, du but de la question, et répondent au hasard ou construisent une réponse utilisant une construction grammaticale routinière et reprenant une formulation provenant de la question ou du texte introductif.

Cette analyse nous a conduit à définir différentes stratégies de réponses utilisées par les élèves et nous a permis d'observer comment elles diffèrent entre les élèves de niveau moyen à bon et les élèves en difficulté. Nous avons catégorisé différentes stratégies :

- Directe avec ou sans argumentation ;
- Élimination avec ou sans argumentation pour les questions à choix multiples ;
- Retour au texte introductif ou la question pour chercher une information ou une donnée ;
- Recherche de mots de vocabulaire similaires avec des mots de la question dans le texte introductif ;
- Interprétation d'un graphe ou schéma ;
- Au hasard.

Nous observons une plus grande diversité des stratégies de réponses pour certaines questions suivant leur format et leur complexité. Par exemple pour une question ouverte dont la réponse requiert une argumentation, nous comptons plus souvent de stratégies de réponses « direct avec argumentation », en particulier pour les bons élèves qui comprennent le but de la question et sont capables d'argumenter. A l'inverse, la stratégie de réponse par « élimination avec ou sans argumentation » est beaucoup plus utilisée dans le cas des questions à choix multiple.

De plus, nous avons observé que la plupart du temps, suivant leur niveau, les élèves n'utilisent pas la même diversité de stratégies de réponses pour une même question. Dans notre échantillon, les bons élèves répondent plus souvent que les élèves en difficulté de manière directe ou par élimination, avec argumentation dans le cas d'une question ouverte. Lorsque l'argumentation est requise pour une question ouverte, les bons élèves sont capables d'aller plus loin dans la discussion à propos du sujet, par exemple ils peuvent développer sur la conséquence d'une expérience, même si ce n'est pas nécessaire pour la résolution de la question. Les bons élèves montrent une variété de capacités qui leur permet de diversifier leurs analyses, stratégies de réponses, et vocabulaire pour discuter et répondre aux questions aboutissant en général à une réponse juste.

À l'inverse, en conséquence de leurs représentations instables, les élèves en difficulté, que nous avons observés, sont souvent limités à d'autres stratégies (la plupart du temps « au hasard » et « recherche de mots de vocabulaire similaires dans le texte introductif ou dans la question ») pour la majorité des questions. Notre analyse montre en effet que les stratégies de réponses utilisées par les élèves dépendent du format de la question, du vocabulaire requis pour répondre, mais aussi des représentations que les élèves construisent à partir du texte de la question et du corps de la question.

Cette étude nous a aussi permis de répertorier certaines difficultés que les élèves peuvent rencontrer lorsqu'ils répondent aux questions PISA. Nous avons distingué cinq types de

difficultés, qui pourraient empêcher la construction de représentations stables nécessaires pour répondre justement aux questions PISA :

- longueur du texte ;
- complexité du vocabulaire ;
- manque de connaissance ;
- complexité du contexte de l'item ;
- manque de motivation ou concentration lié à une tâche non familière et demandant trop d'effort.

Nous n'avons pas observé de difficultés typiques pour les bons élèves alors que nous les avons identifiées systématiquement pour les élèves en difficulté, même lorsque leur réponse est juste. Ces difficultés apparaissent lorsque les élèves essaient de comprendre la question et le but de l'item. De plus, comme nous observons que les difficultés peuvent apparaître bien en amont de la compétence finale évaluée par PISA, nous pensons que les items PISA pour ces élèves en difficulté ne vont pas donner beaucoup d'indications sur ce que ces élèves ont réellement acquis.

4. Conclusion

À partir de nos analyses nous pouvons conclure que pour répondre aux questions PISA, les élèves sont amenés à développer des processus cognitifs variés, permettant ainsi de tester une variété de compétences. Cependant les compétences PISA ne sont pas suffisamment décomposées pour rendre compte de la variété de ces processus cognitifs mis en jeu. Nos analyses montrent ainsi que pour évaluer les compétences de la culture scientifique, en particulier pour les élèves en difficulté, les compétences devraient être affinées. Nos résultats pourraient fournir des informations sur une amélioration du questionnaire et de l'analyse des réponses d'étudiants.

Bibliographie

- Bautier E., Crinon J., Rayou P., Rochex J-Y. (2007). Performances en littéracie, mode de faire et univers mobilisés par les élèves ; analyses secondaires de l'enquête PISA 2000 – *Revue Française de Pédagogie*, 157.
- Bergqvist E. & Österholm M. (2010). A theoretical model of the connection between the process of reading and the process of solving mathematical tasks. In C. Bergsten, E. Jablonka & T. Wedege (Eds.) *Mathematics and mathematics education: Cultural and social dimensions. Proceedings of MADIF 7, The Seventh Mathematics Education Research Seminar, Stockholm, January 26-27, 2010* (pp. 47-57). Linköping, Sweden: SMDF.
- Grenet J. (2008). PISA une enquête bancaire ? *lavedesidées.fr*
- Kintsch, W. (1998). Comprehension : A paradigm for cognition. *Cambridge : Cambridge University Press*.
- Lau, K-C., (2009). A critical examination of PISA's assessment on scientific literacy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 1061-1088.
- Lithner, J. (2008). A research framework for creative and imitative reasoning. *Educational Studies in Mathematics*, 67, 255-276.

Olsen R.V. & Lie S. (2006). Les évaluations internationales et la recherche en éducation : principaux objectifs et perspectives. *Revue Française de Pédagogie*, 157, 11-26.

Meuret D. (2008). L'équité plutôt que l'efficacité ? *Colloque Egalité, Equité en Education, Rennes*.

Prenzel M. & Zimmer K. (2007). Etudes complémentaires de PISA 2003 en Allemagne : principaux résultats et enseignements. *Revue Française de Pédagogie*, 157, 55-70.

Rochex J-Y., 2006. Social, Methodological and Theoretical Issues regarding Assessment : Lessons from a secondary Analysis of PISA 2000 Literacy Tests – *Review of Research in Education*, 30, 163-212.

Analyser l'activité langagière d'élèves de CP-CE1 pour comprendre les fonctions de différents moments de la démarche d'investigation sur les apprentissages des élèves

**Yann Lhoste, Univ. Bordeaux, IUFM d'Aquitaine, LACES, EA 4140 ;
yann.lhoste@iufm.u-bordeaux4.fr**

&

**Hélène Le Marquis, Univ. Caen-Basse-Normandie, IUFM de Basse-Normandie ;
école Bayet (Cherbourg-Octeville, 50) ; helene.lemarquis@unicaen.fr**

Mots clés : démarche d'investigation, mise en texte, activités langagières, problématisation

Résumé : Notre recherche cherche à comprendre la fonction possible des différentes phases de la démarche d'investigation sur les apprentissages des élèves. Ces résultats sont obtenus à partir de l'analyse suivie des écrits individuels de cinq élèves à quatre moments de la démarche. Cette analyse mobilise certains outils langagiers (Jaubert & Rebière, 2000) et modélise l'apprentissage dans le cadre de la problématisation (Orange, 2000).

1. Introduction

La mise en œuvre de la démarche d'investigation dans les curriculums en France comme à l'étranger avait pour objectif de rendre l'enseignement scientifique plus attractif pour les élèves (Coquidé, Fortin & Rumelhard, 2009), mais peu de recherches s'intéressent à l'effet de la mise en œuvre de la démarche d'investigation sur les apprentissages des élèves. Nous mobiliserons dans cette contribution le cadre théorique de l'apprentissage par problématisation en SVT (Orange, 2000) et sur l'observation de l'activité langagière des élèves en classe de sciences (Jaubert & Rebière, 2000 ; Jaubert, 2007) pour comprendre l'influence des différentes phases de la démarche d'investigation sur l'évolution des écrits individuels de cinq élèves de CP-CE1 engagés dans une séquence sur les organes des sens : le toucher. Le dispositif d'enseignement mis en œuvre par l'enseignante prévoit de faire produire individuellement par les élèves un dessin et un texte qui répond à la même question tout au long de la séquence : « *Que se passe-t-il quand vous mettez le pied dans le pédiluve pour savoir si l'eau est chaude ou froide ?* ». C'est donc l'analyse des quatre écrits individuels au cours de différents moments de la DI qui devra nous permettre de comprendre la fonction de ces différentes phases de la DI dans le processus d'apprentissage.

2. Cadre théorique

2.1. Problématisation et investigation

Nos recherches s'ancrent dans le cadre théorique de la problématisation qui attribuent un rôle déterminant à la construction des problèmes dans les apprentissages scientifiques. Ces travaux s'inscrivent dans une approche rationaliste (Bachelard, Popper, Canguilhem) de l'activité scientifique où la construction de problème est un moyen d'accès à la connaissance scientifique qui sont nécessairement en rupture avec la connaissance commune (Bachelard, 1938 ; Fabre, 2009 ; Girault & Lhoste, 2010). Cette transformation de la nature des connaissances entre opinion et savoir est permise par l'accès aux raisons, par la construction de l'apodicticité des savoirs scientifiques, qu'il s'agisse des savoirs experts ou des savoirs scolaires. L'accès aux problèmes et pas seulement aux réponses à ces problèmes est alors envisagé comme un moyen de redonner leur sens aux savoirs scolaires (Astolfi, 2008 ; Fabre, 2007, 2009).

Même si Coquidé, Fortin et Rumelhard (2009) soulignent que les textes officiels français ne font référence ni à des modèles didactiques, ni à une théorie de l'apprentissage, l'analyse qu'ils en proposent et certains de nos travaux précédents (Gobert & Lhoste, 2011) montrent qu'il n'y a pas d'incompatibilité majeure entre la démarche préconisée et l'apprentissage par problématisation (notamment parce qu'elles combattent toutes deux des démarches de type « présentation » ou « illustration »). Ainsi, il nous semble que la démarche d'investigation, en tant que démarche pédagogique, offre des situations qui permettent la construction de savoirs problématisés. Nous avons essayé de dresser un parallèle entre les différentes phases de l'activité de problématisation et les différents moments de la démarche d'investigation dans le tableau 1.

<i>Démarche d'investigation (France : MEN, 2008, p. 4)</i>	<i>Nature de l'activité que les élèves devraient pouvoir mettre en œuvre / processus de problématisation</i>
le choix d'une situation-problème (par le professeur) ;	
L'appropriation du problème par les élèves	Position, construction du problème
la formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles ;	Construction du problème
L'investigation ou la résolution de problème conduite par les élèves ;	Résolution du problème
L'échange argumenté autour des propositions élaborées ;	Position, construction, résolution du problème
L'acquisition et la structuration des connaissances (sous la conduite du professeur) ;	Résolution du problème
La mobilisation des connaissances	

Tableau 1. Démarche d'investigation et problématisation

2.2. Problématisation et activité langagière

Fabre (1999, p. 199) indique que le processus qui permet de construire un problème peut être abordé comme une activité argumentative qui, d'une part, permet la construction des solutions possibles et relève d'une schématisation (au sens de Grize, 1996) et, d'autre part, possède une dimension formelle puisque, parmi les solutions présentées, les élèves seront amenés à en préférer certaines (les élèves pourront argumenter leurs choix pour persuader les autres). De plus, nous pensons, à la suite de Jaubert et Rebière (2000) et de Jaubert (2007), que l'observation et l'analyse de l'activité langagière des élèves nous renseigneront sur leur activité cognitive et donc sur la problématisation. Les productions des élèves sont analysées

en termes d'analyse épistémologico-langagière telle qu'elle est présentée dans Lhoste (2008) qui mobilise les catégories proposées par Fillon et *al.* (2004, p. 236-245) et éprouvées préalablement par Jaubert et Rebière (2000).

2.3. Question de recherche

L'analyse des quatre productions individuelles des cinq élèves avec les outils présentés dans la section ci-dessus doit nous permettre de mettre en évidence la fonction jouée par les différentes phases de la DI par rapport au processus d'apprentissage des élèves.

2.4. Le recueil de données

Le recueil de données a été mis en œuvre par Hélène Le Marquis dans une classe de CP-CE1 de l'école Hameau Baquesne, classe de ZEP à Cherbourg-Octeville dans le cadre de la réalisation de son mémoire de CAFIPEMF (Le Marquis, 2005). Il est présenté dans le tableau 2.

<i>Phase de la DI</i>	<i>Situations de travail (séance par séance de 1 à 9) – chaque séance est d'une durée approximative d'une quarantaine de minutes</i>
- Mobilisation des connaissances des élèves.	1. Première production individuelle: évaluation diagnostique
- L'appropriation du problème par les élèves ;	2. Travail de groupe d'élèves ayant des conceptions proches : production d'une affiche de groupes
- la formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles ;	3. Débat 1 : Présentation des affiches de groupe
- L'échange argumenté autour des propositions élaborées ;	4. Débat 2 : Argumentations autour des controverses pointées lors du premier débat
- Mobilisation des connaissances des élèves.	5. Deuxième production individuelle : évaluation formative
- L'investigation ou la résolution de problème conduite par les élèves ;	6. Travail sur un document expert
- L'échange argumenté autour des propositions élaborées ;	
- Mobilisation des connaissances des élèves.	7. Troisième production individuelle : évaluation formative
L'acquisition et la structuration des connaissances (sous la conduite du professeur);	8. Élaboration du texte de la classe
- L'échange argumenté autour des propositions élaborées ;	
- Mobilisation des connaissances des élèves.	9. Quatrième production individuelle : évaluation sommative

Tableau 2. La séquence mise en œuvre et le lien avec la DI

Le choix des élèves dont les productions seront analysées a été effectué à l'issue de la séance 1. Toutes les productions individuelles des élèves ont été analysées à l'aide de la grille d'analyse présentée à la section 3.1. Des élèves qui présentaient des conceptions relevant de chacun des catégories ont été choisis. Comme les élèves se répartissaient principalement au niveau 2 et 3, nous avons fait le choix de choisir de façon aléatoire un élève représentant les élèves dont la production pouvait être rattachée au niveau 1, deux élèves du niveau 2 et deux élèves du niveau 3. Tous les écrits individuels de cinq élèves ayant des conceptions initiales différentes ont été recueillis. Toutes les productions collectives (affiches de groupe, affiches support aux moments de débat, document expert, écrit final) l'ont également été. Les deux débats ont été enregistrés en vidéo et retranscrits. Les différents textes individuels des élèves devaient répondre à la même question posée aux élèves : « *Que se passe-t-il quand vous*

mettez le pied dans le pédiluve pour savoir si l'eau est chaude ou froide ? ». C'est également cette question qui est au cœur des autres séances.

3. Résultats et premières éléments de discussion

3.1. Analyse épistémique des évaluations diagnostiques et des débats scientifiques

Les représentations des élèves ont été analysées en mobilisant la grille d'analyse présentée dans le tableau 3.

Niveau 1.	L'organisme est considéré comme un tout. On touche l'eau, on sait : il n'y a rien à expliquer puisque la question de la communication entre les organes ne se pose pas.	Axelle, groupe 1,
Niveau 2.	L'organisme est constitué de différents organes qui fonctionnent indépendamment les uns des autres. Les pieds touchent l'eau, le cerveau le sait, le dit	Abdelssaamad, Nordine, groupe 2, groupe 3
Niveau 3.	L'organisme est constitué de différents organes qui sont en relation fonctionnelle les uns avec les autres. Se pose alors la question du support du message qui est transmis des pieds au cerveau et de par où ce message peut passer.	Jérémy, Mélika, groupe 4, groupe 6

Tableau 3. Analyse des évaluations diagnostiques individuelles et des affiches de groupe

Pour pouvoir envisager une communication au sein de l'organisme, il faut que les élèves puissent envisager le corps non plus comme un tout, mais comme un ensemble de parties qui sont en relation fonctionnelle les unes avec les autres, sinon cette question ne peut pas se poser. Lorsque la désyncrétisation de l'organisme est envisagée, les problèmes suivants peuvent alors se poser :

- c'est quoi le message qui est transmis d'un organe à un autre (c'est quoi le codage) ?;
- quelle est la nature de ce message ?;
- quel est le support anatomique de la transmission de ce message ?

Toutes ces questions ne peuvent pas être abordées à l'école primaire (en particulier la première) et peuvent être formulées dans des registres différents. Ce sont principalement les deux dernières questions qui sont au cœur des débats en mobilisant la méthodologie d'analyse des débats scientifiques en classes proposée par C. Orange (2000) (figure 1).

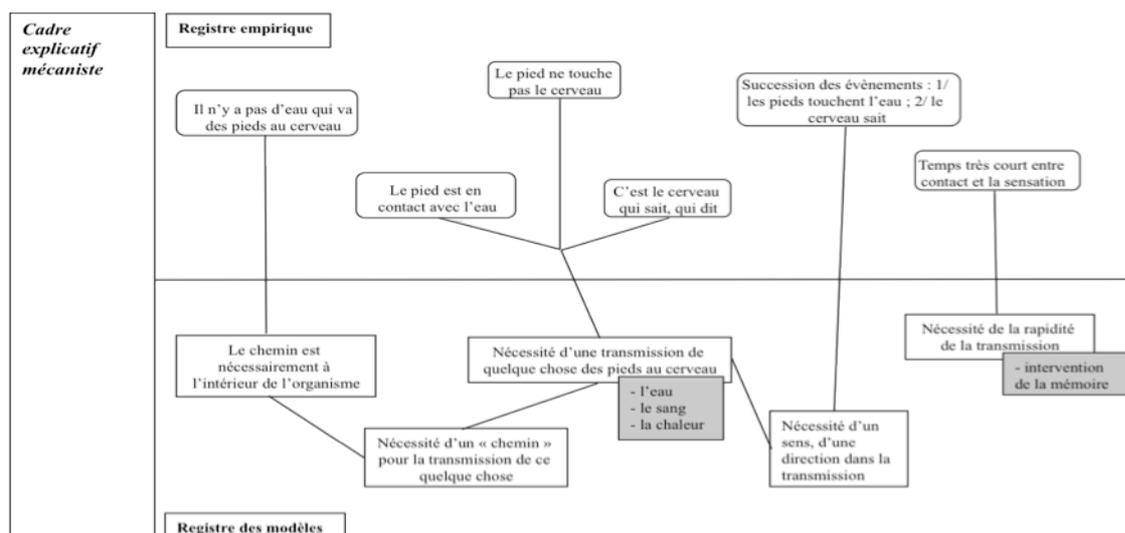


Figure 1. Espace de contraintes en jeu dans les deux débats scientifiques

L'ensemble des discussions relève d'un registre explicatif mécaniste.

3.2. Analyse épistémologico-langagière des premières productions des élèves

3.2.1. Résultats

Les différentes productions des élèves ont été analysées à partir d'une analyse épistémologico-langagière. Seuls quelques indicateurs ont été conservés dans les tableaux 4 et 5 (termes encadrés : vocabulaire utilisé pour construire les objets en lien avec la communication au sein de l'organisme ; surligné gris : indicateurs du positionnement énonciatif des élèves ; en vert : les déictiques utilisés par les élèves ; en bleu : les liens logiques)

Axelle : Je touche l'eau, ça suffit
G1 : Les pieds le sentent que l'eau est chaude ou froide.
Abdel : L'eau de la piscine est chaude parce que on le sait . L'eau est chaude.
G2 : Le cerveau il réfléchit et il dit que c'est chaud ou froid.
G3 : C'est la cervelle qui dit si c'est chaud ou froid.

Tableau 4. Les productions des élèves du niveau 1 et 2

Au niveau du savoir, l'organisme est considéré comme un tout. On touche l'eau, on sait : il n'y a rien à expliquer puisque la question de la communication entre les organes ne se pose pas. C'est très net dans les productions d'Axelle (« ça suffit ») et cela se traduit par un argument d'autorité dans la production d'Abdel.

Dans le travail de groupe, même si l'explication n'évolue pas, il y a attribution par les élèves du rôle de « dire », de « savoir » à un organe. C'est de la biologie : on fait référence à un organe et quand l'organe est trouvé, l'explication l'est aussi. C. Orange a montré que la « forte présence des organes dans les explications semble souvent bloquer une réflexion fonctionnelle » (2000, p. 139). Ceci nous semble renforcé ici par l'absence de prise en charge énonciative par les élèves des énoncés produits.

Dans les productions de groupe, nous pouvons noter l'apparition de verbes « sentir, toucher, savoir, réfléchir, dire » qui signalent le monde dans lequel s'inscrivent les locuteurs.

Ces deux derniers éléments nous donnent une première information par rapport à la représentation que les élèves se font du travail attendu en sciences et constituent des traces d'une première construction de la communauté discursive scientifique scolaire.

Jérémy : Il faut mettre les pieds. L'enfant rentre dans l'eau. Mon cerveau me dit si elle est chaude ou froide parce que c'est lui qui dit que c'est chaud. Parce que le sang monte au cerveau . Je ne sais pas dans quoi ça pass e, mais c'est dans le sang .
G4 : Il faut que l'eau monte jusqu'au front. Quand on touche l'eau, on sait que l'eau est chaude ou froide
Nordine : On va toucher l'eau avec pied ou main Et on va mettre tout son corps dans l'eau Ça monte, monte dans la tête Ça monte jusqu'au front par la flèche
Mélika : C' est parti du pied jusqu'à la tête . Je ne sais pas par quoi ça pass e.
G6 : ça monte dans la tête, dans le cerveau. Le fil du cerveau c'est la chaleur qui pass e.

Tableau 5. Les productions des élèves du niveau 3

Par rapport au premier groupe d'élèves, les explications produites par le second groupe d'élèves font référence à plusieurs organes et les élèves commencent à envisager des relations fonctionnelles entre les différents organes : l'eau monte, c'est le sang ou la chaleur qui passe des pieds à la tête.

On note une position énonciative flottante pour Jérémy qui passe du « on » au « je ». Pour Jérémy, cette position énonciative floue est associée à une position intermédiaire entre celles d'Axelle-Abdel et celle de Nordine et de Mélika. On retrouve un argument d'autorité chez Jérémy, mais il n'en reste pas là, il tente une explication. La position énonciative est plus marquée par la neutralité dans le cas de Nordine et de Mélika (on, ça...).

Ces flottements dans le positionnement énonciatif des élèves témoignent des tentatives qu'ils font pour s'inscrire dans une communauté discursive scientifique scolaire, dont ils ne connaissent pas encore bien les règles de fonctionnement : qu'est-ce que l'on attend d'une explication, d'une activité scientifique à l'école.

3.2.2. Discussion

Ces productions sont marquées par des formes lexicales floues : « ça », « cela » et « c' » de Mélika par exemple. Dire « ça », évite d'avoir à désigner précisément un objet. Le flou permet de faire fonctionner ce que l'on a à dire par rapport à un objet dont on ne sait pas trop ce qu'il est, ce qu'il va devenir. Les élèves s'essaient à dire quelque chose d'un objet qu'ils sont en train de concevoir en même temps. Les élèves parlent et en parlant, ils donnent forme à leur pensée.

Les élèves sont contraints par l'emploi de formes suffisamment floues parce que sinon cela voudrait dire que tout a été mis en mot. Ces objets, ces relations ne préexistent pas au travail réalisé en classe. Ils commencent à exister à partir de la question posée par l'enseignante et par l'activité langagière des élèves. Dans la formulation de Nordine, il n'est pas sûr que le premier « ça » et le second « ça » désignent le même objet (le premier est associé à tête et le second à front). Nous pouvons l'interpréter, même si ce n'est pas évident, comme une reprise-modification qui permettrait de faire avancer la discussion.

Face à une demande d'explication, les élèves produisent des énoncés de ce type : « - le pied touche l'eau » ; « - et... » ; « - ça monte au cerveau... » ; « - ça passe par où ? on sait pas » ; « - c'est parti de... ». Nous avons caractérisé ces énoncés, que nous retrouvons avec régularité dans les évaluations diagnostiques (qu'il s'agissent d'élèves de cycle 2 ou d'étudiants préparant les concours de recrutement de professeur) de chronique (Lhoste *et al.*,

2011). Ainsi, les énoncés produits par les élèves organisent le temps et l'espace par la construction d'un rapport spatio-temporel entre les différents événements. Ils correspondent à des genres premiers.

3.3. L'évolution des productions individuelles des élèves

Nous n'avons pas de place pour présenter l'évolution de tous les textes individuels des élèves. Nous allons présenter l'analyse des textes individuels d'Axelle (tableau 6) avant de donner les résultats pour l'ensemble des productions étudiées. Les différents codages permettent de suivre l'évolution de certains éléments des textes des élèves d'une production à l'autre (notamment en termes de reprise-modification).

Axelle 1 : Je touche l'eau, ça suffit
Axelle 2 : Le cerveau. En premier, le pied touche l'eau. (il y a un message qui va des pieds à la tête).
Axelle 3 : La peau des pieds touche l'eau. Les nerfs font un message qui va vite. Le cerveau lit le message qui dit si l'eau est froide ou chaude.
Axelle 4 : En premier, le pied touche l'eau. Les nerfs envoient un message au cerveau. Le cerveau comprend le message et tout ça va très vite.

Tableau 6. Les quatre textes d'Axelle

Nous pouvons observer un changement de position énonciative très net entre les textes 1 et 2. Avec le passage d'un texte très lié à la situation d'action à un texte dépersonnalisé (ce qui s'observe également au niveau du dessin qui accompagne le texte produit par Axelle).

Au niveau lexical, l'enrichissement est très net : le lexique flou (comme le « ça ») est remplacé par des mots plus précis. Notons cependant que ce lexique plus spécialisé peut venir masquer certaines difficultés conceptuelles : par exemple, ici le terme message devient explicatif en lui-même et peut venir masquer d'autres problèmes : de nature du message, codage du message... La construction de l'objet du discours « pied » est intéressante à suivre dans les textes d'Axelle, car c'est à partir du moment où les élèves vont pouvoir distinguer plusieurs éléments dans le « pied », qu'ils vont pouvoir commencer à faire de la biologie. Ici on passe de : « Je touche l'eau » -> « Le pied touche l'eau » -> « la peau des pieds touche l'eau ». La reformulation dans le texte 4 qui revient à « le pied touche l'eau », n'est peut-être pas à considérer comme un retour en arrière, mais à un accord autour de l'idée que c'est la peau du pied qui touche : il n'est plus nécessaire de le préciser, la classe est d'accord.

Au niveau de la cohésion du texte il y a encore un souci : le lien entre pied et nerf n'est jamais assuré puisqu'ils sont en juxtaposition. Le lien entre nerf et cerveau est assuré par le message qui assure la continuité. À noter les reformulations : « Les nerfs font un message » -> « les nerfs envoient un message » ; « Le cerveau lit le message » -> « le cerveau comprend le message » qui signalent l'entrée dans le monde scientifique et dans une communauté discursive scientifique scolaire.

Même si les textes d'Axelle en restent à une logique chronologie (en premier, envoyer, et tout ça...) renforcée par la structure du texte de classe proposé par l'enseignante, les textes produits par Axelle sont de plus en plus autonomes par rapport au contexte de production, ils sont également de plus en plus ancrés dans le monde scientifique. Cela nous conduit à dire que ces textes rendent compte d'un processus de secondarisation des textes d'Axelle.

Le tableau 7 reprend les résultats que nous avons obtenus à partir de l'analyse (faite selon la même méthodologie que celle décrite pour les textes d'Axelle) des productions des cinq élèves.

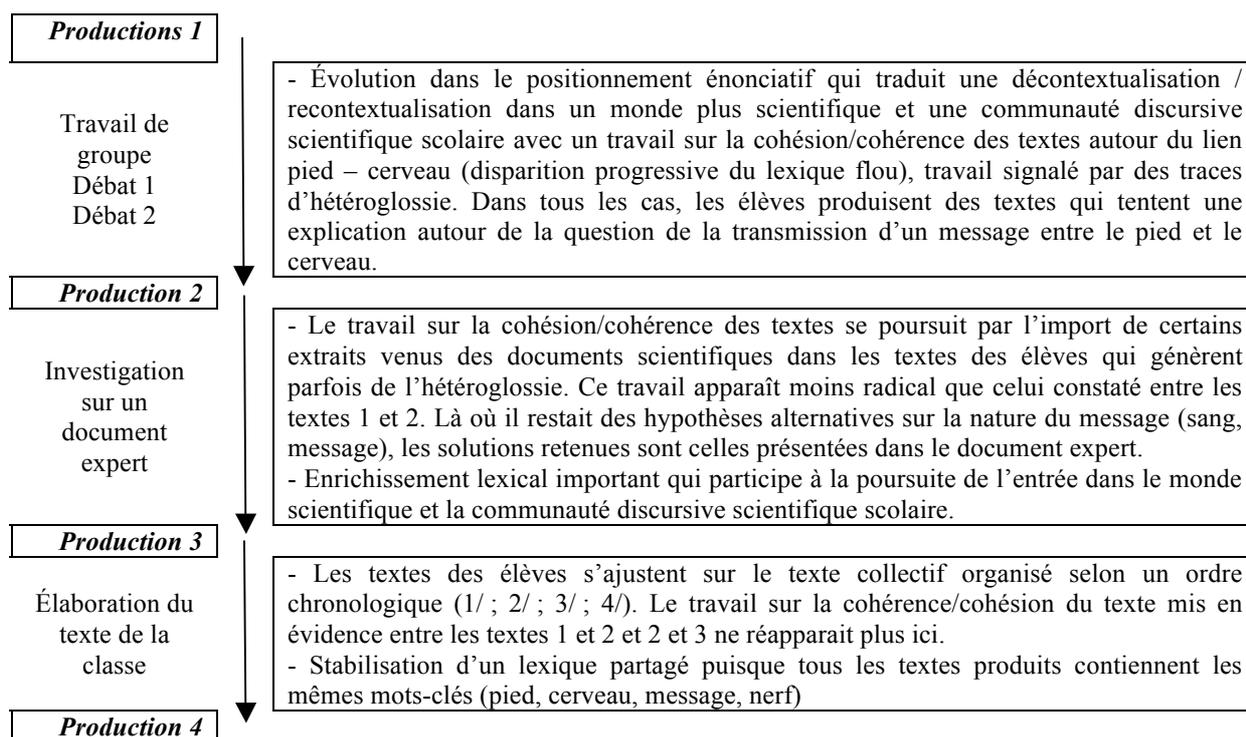


Tableau 7. Mise en relation entre les évolutions des textes des élèves et les phases de travail

Pour les cinq élèves étudiés, c’est après les débats scientifiques par les élèves que nous avons mis en évidence les évolutions les plus importantes dans les textes produits par les élèves : changement du positionnement énonciatif, mise au travail de la cohérence/cohésion des textes autour de la question de la transmission d’un message entre les pieds et la tête. Il nous semble que cela met en évidence l’importance des moments de débats en classe qui visent une appropriation et une construction du problème du point de vue des apprentissages des élèves.

Le moment d’investigation sur un document expert permet aux élèves de trancher les alternatives encore présentes dans les textes issus des débats scientifiques. Ils permettent également l’apport d’un vocabulaire spécifique et la poursuite du travail sur la cohérence/cohésion des textes des élèves suite aux débats scientifiques. Il s’agit bien, du point de vue de la problématisation, d’un moment de résolution de problème, même si on peut continuer à observer des traces de construction du problème (comme le signalent les traces d’hétéroglossie que l’on peut observer dans les productions de certains élèves).

Le moment de structuration des connaissances conduit à une certaine réification des textes des élèves qui s’ajustent sur le texte de la classe. Le texte de savoir qui a été institutionnalisé joue alors comme un modèle à imiter. Nous avons caractérisé dans un autre travail (Lhoste *et al.*, 2010) les processus qui peuvent expliquer la réification des textes produits par les élèves : modifications dans les niveaux de généralité ; désexplicitation / encapsulation ; déproblématisation.

4. Conclusion : fonction des phases de la démarche d'investigation par rapport à l'apprentissage des élèves

Malgré toutes les limites que l'on peut adresser à cette recherche (la situation de classe n'est pas ordinaire, nous avons mené une étude de cas sur cinq élèves), ce travail, à partir de l'étude des productions individuelles des élèves, permet d'apporter des indications sur les fonctions des phases de la DI sur les apprentissages des élèves. Ces premiers résultats mériteront bien entendu des recherches complémentaires pour les préciser et mesurer leur niveau de généralité.

Nos résultats montrent l'importance des premiers moments de la démarche d'investigation, notamment des moments des débats scientifiques en classe dans le processus de position et de construction du problème. Même si ces dispositifs ne visent pas à refaire découvrir le savoir aux élèves, ils jouent un rôle décisif dans le processus d'apprentissage (c'est après les deux débats que les textes produits par les élèves subissent la plus forte transformation ce qui témoigne des transformations cognitives) alors qu'ils sont souvent négligés dans les séquences ordinaires d'enseignement. Il convient cependant de rappeler la difficulté de conduire ces moments de débat en classe (Schneeberger *et al.*, 2007).

Pour ce qui concerne l'investigation, nos résultats montrent sa fonction dans la mise à l'épreuve de certaines hypothèses des élèves. Ils montrent aussi le rôle de l'investigation par rapport à l'apport lexical spécifique qui contribue ainsi à faire entrer les élèves dans une communauté discursive scientifique scolaire. Nous avons également montré que même s'il s'agit d'un moment de résolution de problème, le travail d'investigation permet de poursuivre le travail de construction du problème engagé dans les moments de débat. Nous nous interrogeons sur l'intérêt, du point de vue des apprentissages des élèves, de phases d'investigations conduites par les élèves qui ne seraient pas précédées d'un travail d'appropriation et de construction de problème.

Enfin, nos résultats montrent que la phase de structuration a un impact non négligeable sur les productions des élèves (et donc sur la construction de la communauté discursive scientifique scolaire) et également sur leurs apprentissages. D'autres travaux ont mis à jour les mécanismes complexes de mise en texte du savoir (Orange & Orange-Ravachol, 2007). Ces moments de structuration nécessitent donc une grande vigilance de la part des enseignants alors que ces moments de travail sont souvent rapidement expédiés à la fin des séances.

Nos conclusions ne visent pas à stigmatiser les pratiques enseignantes ordinaires, mais ils soulignent la nécessité d'une véritable formation initiale et continue des enseignants, champs de plus en plus délaissés par l'institution.

Bibliographie

- Astolfi, J.-P. (2008). *La saveur des savoirs. Disciplines et plaisir d'apprendre*. Issy-les-Moulineaux, ESF Éditeur.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, PUF.
- Coquidé, M., Fortin, C. & Rumelhard, G. (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites, *Aster*, 49, 51-78.
- Fabre, M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris, PUF.
- Fabre, M. (2005). Deux sources de l'épistémologie des problèmes : Dewey et Bachelard, *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, 3.

- Fabre, M. (2007). Des savoirs scolaires sans problèmes et sans enjeux. La faute à qui ?, *Revue française de pédagogie*, 161, 69-78.
- Fabre, M. (2009). *Philosophie et pédagogie du problème*. Paris, Vrin.
- Fillon, P., Orange, C., Peterfalvi, B., Rebière, M. & Schneeberger, P. (2004). Argumentation et construction de connaissances en sciences. In J. Douaire (éd.). *Argumentation et disciplines scolaires*. Paris, INRP, 203-247.
- France : Ministère de l'éducation nationale (2008). Programmes du collège. Programme de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre. Bulletin officiel spécial n° 6 du 28 août 2008.
- Girault, Y. & Lhoste, Y. (2010). Opinions et savoirs : positionnements épistémologiques et questions didactiques. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 1, 29-66.
- Gobert, J. & Lhoste, Y. (2011). Démarches d'investigation et problématisation en classe de SVT : quelle mise en œuvre par des enseignants débutants ? *Deuxièmes journées d'étude S-TEAM*, 10 au 12 mai 2011, Grenoble.
- Grize, J.-B. (1996). *Logique naturelle et communication*. Paris, PUF.
- Jaubert, M. (2007). *Langage et construction de connaissances à l'école*. Pessac, Presses universitaires de Bordeaux.
- Jaubert, M. & Rebière, M. (2000). Observer l'activité langagière des élèves en sciences. *Aster*, 31, 173-195.
- Le Marquis H. (2005). *L'écrit en sciences : comment aide-t-il à l'apprentissage ? En quoi en est-il un révélateur*. Mémoire de CAFIPEMF, académie de Caen, inspection académique de la Manche.
- Lhoste, Y. (2008). *Problématisation, activités langagières et apprentissage dans les sciences de la vie. Étude de quelques débats scientifiques dans la classe dans deux thèmes biologiques : nutrition et évolution*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation non publiée, université de Nantes, Nantes.
- Lhoste, Y. & Peterfalvi, B. (2009). Problématisation et perspective curriculaire en SVT : l'exemple du concept de nutrition. *Aster*, 49, 79-108.
- Lhoste, Y., Gobert, J., Decussy, C., Izabel, S. & Peterfalvi, B. (2010). Processus de mise en texte et de problématisation sur le devenir de la matière organique dans le sol : une étude de cas en 6^e. Colloque Mises en texte des savoirs dans les disciplines scolaires. *Les journées scientifiques de l'université de Nantes*, Nantes, 7 juin 2010.
- Lhoste, Y., Boiron, V., Jaubert, M., Orange, C. & Rebière, M. (2011, à paraître). Le récit : un outil pour prendre en compte le temps et l'espace et construire des savoirs en sciences ? *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 4.
- Orange, C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation non publié, université de Nantes, Nantes.
- Orange, C. & Orange-Ravachol, D. (2007). Problématisation et mise en texte des savoirs scolaires. Le cas d'une séquence sur les mouvements corporels au cycle 3 de l'école élémentaire. *Actes des cinquièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST*. Montpellier, LIRDEF, 305-312.
- Schneeberger, P., Robisson, P., Liger-Martin, J. & Darley, B. (2007). Conduire un débat pour faire construire des connaissances, *Aster*, 45, 39-63.

Étude exploratoire d'un scénario d'utilisation pour un environnement virtuel en 3D dans le cas de la relativité restreinte

Clément Maisch, Univ. Paris Diderot-Paris 7, département de Physique, LDAR, EA 4344 ; clement.maisch@univ-paris-diderot.fr

Cécile de Hosson, Univ. Paris Diderot-Paris 7, département de Physique, LDAR, EA 4344 ; cecile.dehosson@univ-paris-diderot.fr

&

Isabelle Kermen, Univ. d'Artois, LDAR, EA 4344 ; isabelle.kermen@univ-artois.fr

Mots clés : Relativité restreinte, événement, environnement immersif 3D, lumière et vision

Résumé : L'observation des effets directement liés à la théorie de la relativité restreinte sur des objets de la vie courante est impossible car ils ne peuvent être attestés qu'en nous déplaçant à des vitesses approchant la vitesse de la lumière c . La réalité virtuelle (RV) peut nous permettre de visualiser ces effets à l'aide d'un environnement immersif 3D. Dans cette communication, nous présentons les premiers résultats d'une étude exploratoire visant à évaluer l'apport de la réalité virtuelle sur la compréhension des effets associés à des déplacements d'objets macroscopiques à des vitesses proches de c . Les premiers résultats de cette étude indiquent que les effets observés (non-simultanéité d'événements, déformation d'objet, modification de leur vitesse apparente) permettent aux utilisateurs de l'environnement de mesurer l'importance de la prise en compte du délai de propagation de la lumière émise par chaque point des objets virtuels et d'approcher ainsi la notion d'« événement » nécessaire à la compréhension des effets relativistes.

1. Introduction

Cette étude prend place au sein du projet de recherche EVEILS (Environnements Virtuels pour l'Éducation et l'Illustration Scientifique). Ce projet est fondé sur l'exploration du potentiel innovant de la Réalité Virtuelle (RV) dans plusieurs domaines de la science au travers d'une approche interdisciplinaire dans laquelle sont impliqués des physiciens, des spécialistes de la RV et des chercheurs en didactique de la physique. Le projet exploite des interfaces avancées de manière à ce que des utilisateurs puissent être confrontés à des phénomènes inhabituels qui sans ces artefacts seraient inaccessibles à leur expérience sensible. Les principaux objectifs du projet EVEILS sont l'exploration des modifications conceptuelles et des avantages didactiques associés à la dimension immersive de ce simulateur. La place de la recherche en didactique au sein de ce projet rend EVEILS spécifique au sein des programmes de recherche dédiés aux simulations informatiques associées à la RV dans le contexte de la relativité restreinte (Savage et al., 2007).

La Théorie de la Relativité Restreinte (TRR), telle qu'elle a pu être introduite par Einstein, est l'une des plus importantes révolutions dans l'histoire de la physique. Néanmoins l'observation

directe des effets impliqués par cette théorie dans la vie quotidienne est impossible car ceux-ci ne peuvent être mis en évidence que pour des déplacements à des vitesses proches de la vitesse de la lumière (c). Ces effets sont contre-intuitifs car ils sont en contradiction avec notre appréhension quotidienne de l'espace et du temps. Même si les objets macroscopiques ne peuvent pas voyager à la vitesse de la lumière, la Réalité Virtuelle permet de simuler les déplacements. Ainsi, il devient possible d'expérimenter les effets consécutifs à des déplacements proches de c (déformation spatiale, modification de l'écoulement du temps) dans un environnement immersif, un CAVE (Cave Automatic Virtual Environment, voir figure 1)⁵³, où la vitesse de la lumière peut être ramenée à des valeurs proches de celles des vitesses quotidiennes usuelles (Doat et al, 2011). L'utilisation du CAVE est soumise à l'élaboration de scènes auxquelles sont associés des scénarios d'apprentissage créés en tenant compte des contraintes informatiques spécifiques à la RV et des contraintes didactiques qui incluent la prise en compte des difficultés des utilisateurs potentiels du CAVE associées à la TRR (de Hosson et al., 2011).

La compréhension de la notion d'événement⁵⁴ est un enjeu fondamental pour appréhender la TRR. En effet celle-ci s'applique à prendre en compte les coordonnées spatiale et temporelle d'un événement dans différents référentiels. Dans un référentiel, un événement est caractérisé par l'instant et le lieu où il a été produit. L'instant auquel cet événement est perçu dépend de la durée mise par la lumière pour parcourir la distance entre cet événement et les yeux de l'observateur. Ce chemin parcouru par les photons va influencer ce que verra un observateur immergé dans le CAVE. Ainsi dans un même référentiel, deux événements simultanés peuvent paraître non-simultanés. Ou encore l'image rétinienne d'un objet (la reconstruction par le système visuel de l'observateur de cet objet en fonction des photons arrivant au même instant dans l'œil) peut apparaître déformée en fonction de la distance à l'observateur et du mouvement de l'objet par rapport à l'observateur.

Les études menées pour caractériser les difficultés des étudiants à propos de la relativité restreinte ne sont pas nombreuses. Néanmoins à partir de ce qui a été exploré, nous pouvons retenir que les étudiants appliquent des lignes de raisonnement « spontané » détectées en cinématique classique (telles que le fait de considérer le mouvement, les distances et les vitesses comme absolus) à des situations construites dans un cadre relativiste (Saltiel et Malgrange, 1980 ; Villani et Pacca, 1987). Ils associent l'ordre selon lequel deux événements sont produits à l'ordre selon lequel ces événements sont perçus. Autrement dit, l'énoncé « deux événements A et B sont perçus de manière successive (A avant B) » est directement associé à l'énoncé « L'événement A s'est produit avant l'événement B », même lorsque les étudiants disposent des informations nécessaires à la résolution du problème (distance, temps de parcours de l'information visuelle...) (Scherr et al., 2001 ; Scherr et al., 2002 ; de Hosson et al., 2010). Il a ainsi été montré que deux événements simultanés pour un observateur pouvaient être considérés comme non simultanés par un autre observateur y compris lorsque ces deux observateurs sont immobiles l'un par rapport à l'autre (de Hosson et al., 2010). En fait, les étudiants ont des difficultés à reconstruire l'« histoire » d'un photon émis par un objet éclairé, c'est-à-dire à localiser l'événement « émission d'un photon » dans l'espace et dans le temps à partir de l'événement « perception de ce photon » par un observateur car ils ne prennent pas en compte la distance parcourue par les photons y compris lorsque celle-ci est

⁵³ CAVE : système de projection de RV constitué d'un encerclement d'écrans et de son. L'illusion de l'immersion est créée par des projections 3D graphiques. Cette immersion est couplée avec un système de traque de la tête de l'utilisateur, permettant de produire une perspective stéréo complète, d'isoler sa position et son orientation pour qu'il puisse explorer le monde virtuel en se déplaçant à l'intérieur du cube et en touchant des objets.

⁵⁴ Un événement est défini comme un fait qui est localisé en un lieu donné dans l'espace et à un instant donné dans le temps.

explicite. Dans certains cas, la propagation de la lumière entre l'objet et l'œil de l'observateur semble même inexistante ou non nécessaire pour expliquer la perception d'un objet par un observateur, ce qui n'est pas sans rappeler les difficultés des élèves associées à la vision des objets (Guesne, 1984).

2. Objectif de l'étude

A partir des difficultés précédentes, nous avons conçu des scènes à implémenter dans le CAVE. Nous supposons que le fait de pouvoir donner à voir les effets visuels (suprenants) consécutifs à des déplacements proches de la vitesse de la lumière (en particulier, la déformation des objets) permet de favoriser des raisonnements dans lesquels un utilisateur va remonter l'histoire des photons qui pénètrent ses yeux afin d'accéder à l'évènement « émission ». L'étude de la propagation de la lumière, traditionnellement enseignée sous la forme de schéma optique, ou via le modèle de l'onde électromagnétique, ne permet pas aux étudiants de réfléchir aux effets consécutifs à la prise en compte du caractère finie de la vitesse des photons et de visualiser ces effets. De ce point de vue, le développement d'un simulateur permettant de prendre en compte ces effets est novateur. Il existe en effet des travaux visant à donner à voir les effets relativistes notamment à l'aide de simulateurs 3D (Ruder et al., 2008 ; Savage et al, 2007) mais ces environnements virtuels d'une part non pas été conçus sur la base d'une exploration et d'une validation didactique et d'autre part ils n'ont pas pris la mesure des effets de propagation. L'objectif de cette étude est d'étudier l'impact de ces scènes sur la compréhension des phénomènes dus à un rapprochement des vitesses de déplacement d'objets macroscopiques à celle de la lumière. Il s'agit en particulier de permettre aux utilisateurs potentiels d'approcher la notion d'évènement nécessaire à la compréhension de certains aspects de la TRR en leur donnant la possibilité de reconstruire, à partir de l'information visuelle reçue par l'œil, le chemin parcouru par la lumière depuis un point d'un objet (localisé dans l'espace et le temps) jusqu'à leur œil, et de remonter ainsi à la localisation spatio-temporelle des évènements « émission d'un photon ». Les images générées dans le CAVE et perçues par les utilisateurs immergés ne peuvent être interprétées qu'en acceptant que chaque point de l'objet généré dans le milieu immersif est une source de lumière, ce qui revient à définir l'émission d'un photon comme un « évènement » localisé dans l'espace et dans le temps. Nous faisons l'hypothèse qu'en créant des situations nécessitant, pour être comprises, la mise en place de raisonnements sur les coordonnées spatio-temporelles des évènements « émission d'un photon » nous allons permettre aux utilisateurs du CAVE d'accéder ultérieurement aux effets relativistes tels que la non-simultanéité. En effet, comprendre que la simultanéité de deux évènements dépend du référentiel d'étude nécessite de localiser les évènements non seulement dans l'espace (ce qui est suffisant en cinématique classique) mais également dans le temps.

Pour ces raisons, nous nous demandons dans quelle mesure des scènes de RV dans lesquelles la vitesse de la lumière est proche des vitesses de déplacement d'objets macroscopiques, permettent à un utilisateur de développer un raisonnement prenant en compte la propagation de la lumière d'un point d'un objet jusqu'à son œil et de construire ainsi la notion d'évènement en tant qu'instant et lieu d'émission d'un photon à partir d'un point de l'objet.

3. Méthodologie de recueil et d'analyse des données

Afin de pouvoir répondre à cette question nous avons mis en place une expérimentation fondée sur l'immersion d'utilisateurs au sein d'une scène de billard virtuel dans laquelle se déplacent deux palets parallèlement à l'une des bandes du billard et dans la même direction (voir figure 1). La vitesse des palets est identique dans le référentiel du billard ; leur mise en mouvement s'effectue au même instant (dans le référentiel du billard) et à partir de l'axe central de la table (voir figure 2). Dans cette scène, la vitesse de la lumière est proche de celle des palets et de celle des utilisateurs⁵⁵.



Figure 1. La simulation de billard dans le CAVE EVE (CNRS/LIMSI, Orsay, France)

3.1. Protocole d'expérimentation

Notre expérimentation repose sur l'étude des réactions des utilisateurs lors de leur passage dans le CAVE⁵⁶. Les passages sont individuels et découpés en trois phases de 15 minutes. A chaque phase correspond un effet singulier qu'il s'agit d'expliquer. La première phase porte sur les instants de collision des palets avec l'une des bandes du billard, la deuxième sur la vitesse de déplacement des palets, et la troisième sur la forme des palets. Les raisonnements « experts » attendus pour expliquer ces effets (visuels) reposent sur la prise en compte 1) des effets spécifiquement relativistes (associés à la transformée de Lorentz appliquée à chacun des points des objets virtuels en mouvement) et 2) des effets associés au fait que le délai de propagation de la lumière émise par chacun des points des objets ne peut plus être négligé. De manière plus détaillées, les trois phases s'organisent comme suit :

Phase 1 : L'utilisateur est immobile au centre d'un bord de la table (utilisateur tâche 1). Il lui est demandé de se concentrer sur les collisions des palets avec les bandes. Ainsi positionné, il observe un décalage entre ces collisions (voir photo 3a). L'observateur peut aussi se déplacer le long de la bande et observer (à l'arrêt) les mêmes événements « collisions » de plusieurs points de vue. Dans cette situation la non-simultanée perçue est due au fait que les photons émis par chaque point des palets n'ont pas la même distance à parcourir. Le fait que la vitesse de la lumière soit proche de celle des objets en mouvement revient à prendre en considération

⁵⁵ c vaut 1m/s. A noter, tous les mouvements de l'utilisateur et ceux des objets sont calculés selon un algorithme « lorentzien » (i.e. : la transformée de Lorentz-Poincaré est appliquée à chaque point des objets de la scène) (Doat et al, 2011).

⁵⁶ En préambule de chaque passage, le chercheur présente à l'utilisateur le CAVE, les différentes modalités de la simulation (la métaphore du billard) et les différents outils qu'il peut utiliser pour visualiser les effets générés dans les scènes. Ainsi, par exemple, l'utilisateur peut mettre en pause la scène, évoluer librement au sein du dispositif immersif et observer tous les objets calculés selon sa position au moment de la mise en pause.

le **caractère fini de la vitesse de la lumière**⁵⁷. Par voie de conséquence, les instants de réception des photons dans l'œil de l'utilisateur dépendent de la distance parcourue par ces photons. Deux photons émis au même instant de deux points non situés au même endroit seront reçus à deux instants différents. Cette différence dans l'ordre de réception des photons impliquera que l'utilisateur percevra les collisions à des instants différents : le palet le plus proche (palet jaune) de lui paraîtra cogner la table en premier (dans la photo 3a, le palet jaune revient vers l'observateur au moment où le palet rouge rebondit sur la bande). Ici, l'effet de non-simultanéité est apparent : l'instant de contact des palets avec la table est identique pour les deux palets dans le référentiel du billard et donc pour l'utilisateur, quelle que soit sa position (immobile) dans la scène.

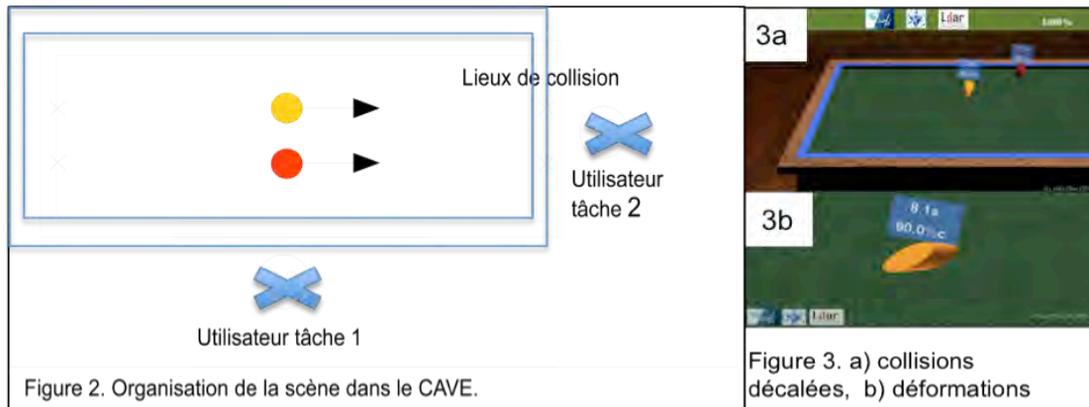


Figure 2. Organisation de la scène dans le CAVE.

Figure 3. a) collisions décalées, b) déformations

Phase 2 : L'utilisateur est placé de manière à pouvoir observer le mouvement des palets dans leur axe de déplacement (figure 2, utilisateur tâche 2). Ainsi positionné, il observe que les palets changent de vitesse en fonction du sens de leur mouvement : ils accélèrent lorsqu'ils se rapprochent de l'utilisateur et ralentissent lorsqu'ils s'en éloignent. C ayant une valeur finie et la distance entre chaque point de l'objet et l'œil de l'observateur variant au cours du temps, **la fréquence de réception d'une séquence de photon émis** (émis à intervalles réguliers dans le référentiel du billard) augmente lorsque les palets avancent vers l'utilisateur ; pour ce dernier et dans cette situation, les palets semblent venir vers lui en accélérant. A l'inverse, lorsque les palets s'éloignent de l'observateur, la fréquence de réception des photons diminue ce qui correspond à un effet visuel apparent de décélération.

Phase 3 : La troisième tâche portant sur l'étude des déformations des palets, va permettre à l'utilisateur de conceptualiser comme ponctuelle cette notion d'événement « émission ». Dans cette tâche, l'utilisateur peut évoluer librement autour et « dans » le billard. Le chercheur lui suggère de prendre plusieurs points de vue en s'arrêtant à différents endroits et de faire des mises en pause de la scène lorsqu'il le souhaite⁵⁸. Les déformations observées (contraction et inclinaison, voir figure 3b) dépendent de sa position et, plus exactement, de **la distance entre les différents points des palets** et lui-même. L'objet observé pendant la mise en pause est le résultat du traitement par le système visuel (œil + cerveau) d'un ensemble de photons ayant atteint la rétine de l'utilisateur en même temps. Or, du fait de la nécessaire prise en compte du caractère fini de c , ces photons n'ont pas été émis au même instant (dans le référentiel de la table) puisqu'ils proviennent de lieux plus ou moins éloignés de l'œil de l'observateur. Dans cette phase (comme dans la précédente), la prise en compte du processus de discrétisation des objets en des points-sources d'émission de photon est nécessaire. Rappelons que la

⁵⁷ 300.000 km/s est aussi une valeur finie mais tellement grande que la durée de propagation est quasi nulle ce qui amène à considérer la vitesse comme infinie pour les événements ordinaires.

⁵⁸ Le point de vue de la scène « figée » demeure celui de l'utilisateur au moment de la mise en pause. Le mouvement de l'utilisateur pendant la mise en pause n'affecte plus ce qui est observé (la scène n'est à ce moment-là plus calculée en fonction de la position de l'utilisateur).

déformation visible est également due à la contraction dite de Lorentz.

3.2. Méthode d'analyse

Le passage des utilisateurs dans le CAVE a été enregistré sous format audio puis retranscrit. Dans ces retranscriptions nous cherchons à déterminer comment l'utilisateur construit son raisonnement en fonction de ses propres connaissances, de ce qui est amené par les chercheurs et du rôle que peut prendre la simulation dans cette construction. Nous cherchons à déterminer par une analyse lexicale ce qui, dans le discours de chaque utilisateur constitue un point d'appui dans la compréhension des phénomènes. En particulier, nous nous attachons à repérer les éléments conceptuels que nous estimons décisifs, à savoir :

- la mention explicite de l'entrée de la lumière dans les yeux de l'utilisateur pour les phases 1, 2 et 3
- la mention explicite du caractère fini de la vitesse de la lumière pour les phases 1, 2 et 3
- la mention explicite de la distance entre les objets et l'utilisateur pour les phases 1, 2 et 3
- la mention explicite d'émissions ponctuelles de photons (discrétisation des objets) pour la phase 3
- la mention explicite des effets relativistes géométriques consécutifs aux effets « lorentziens » pour la phase 3

Nous nous attendons également à trouver, dans le discours des utilisateurs, la mention d'effets usuellement associés à la TRR tels que l'effet Doppler⁵⁹ que nous avons choisi de ne pas implémenté ici. De plus nous supposons que les utilisateurs ayant déjà eu un enseignement de la TRR devraient être capables de reconnaître et d'isoler les effets géométriques uniquement dus aux transformations lorentziennes.

4. Résultats

A ce jour, nous avons procédé à la mise en situation de 5 utilisateurs. Ces utilisateurs ont suivi des parcours scientifiques différents⁶⁰ mais ont tous pour point commun d'avoir déjà eu une expérience liée à la TRR. L'un d'entre eux, CP, n'a pas eu de formation académique en TRR. Ainsi la variété des parcours des utilisateurs interrogés permet d'espérer un large spectre de raisonnements.

A l'exception des effets lorentziens, les éléments conceptuels attendus ont été mobilisés par les utilisateurs au cours des trois phases (voir tableau 1). Les utilisateurs parviennent à les associer de manière pertinente pour expliquer les effets qui leurs sont présentés. A titre d'exemple et à propos de la différence perçue entre les deux collisions (phase 1) JO propose un raisonnement reposant sur le caractère fini de c , la différence de distance à parcourir pour les photons émis par les objets et l'importance de l'entrée de ces photons dans l'œil :

⁵⁹ Si l'effet Doppler avait été implémenté les effets aperçus auraient été une modification des couleurs et de la luminosité (Giancoli, 1989).

⁶⁰ Dans la suite, les utilisateurs sont nommés par leurs initiales. CG était une étudiante de M2 de physique, JO était un étudiant de M1 enseignement physique-chimie, IEM venait de réussir le concours à l'agrégation de physique, CP était un étudiant en stage de DUT d'informatique et RM est directeur de recherche dans un laboratoire de physique théorique.

JO : [...] Tout ce qui se passe loin de moi, enfin, de l'autre côté de la table, c'est euh, plus ralenti. Je vois, euh, plus de décalage.

Chercheur : D'accord. / et donc d'un point de vue physique, ça serait dû à quoi ça ?

JO : ça serait dû au fait que, euh, la vitesse de la lumière est finie, et que si, si y a plus de distance à parcourir je vois, euh, je vois un décalage, enfin, je perçois un décalage. Ben, les photons mettent plus de temps à, euh, à arriver à mes yeux

L'observation d'un décalage des instants de collisions consécutif au déplacement des utilisateurs favorise chez chacun d'eux un raisonnement cohérent engageant l'ensemble des éléments conceptuels attendus. Ces mêmes éléments sont globalement repris lors de la phase 2 (changements apparents des vitesses des palets) et progressivement mis en relation avec le changement de fréquence de réception des photons dans l'œil de l'utilisateur :

CG : Non ça dépend de la vitesse à laquelle-, de la distance à laquelle elle [la boule, palet] est de moi. Parce que là ce mouvement-là, elle a toujours la même vitesse, alors que j'ai l'impression qu'elle ralentit comme ça. Alors que là, elle accélère quand elle revient. / Et, euh, ça va être encore des histoires de propagation de la lumière [...]. Je vais avoir l'impression qu'elle a quitté cet endroit [la boule, palet] après, le, euh, le moment où elle l'a réellement quitté avec un écart de temps entre les deux, qui va être plus petit que l'écart de temps que je vais avoir entre, euh, le moment où j'ai l'impression qu'elle arrive là et le moment où elle y arrive réellement.

L'idée de fréquence est ici repérée par la mention des « écarts de temps », la « diminution » ou l'« augmentation » de ces écarts. Par ailleurs, il est intéressant de noter que les utilisateurs font explicitement la différence entre les caractéristiques du mouvement des palets dans le référentiel de la table (vitesse identique et constante : « elle a toujours la même vitesse », « réellement ») et ce qui est perçu (« j'ai l'impression »). Il semble d'ailleurs que la possible mobilité des utilisateurs dans la scène favorise cette cruciale différenciation ; cruciale dans la mesure où c'est elle qui permet de mettre en relation les effets perçus avec la localisation de l'observateur et donc d'orienter les raisonnements des utilisateurs vers la prise en compte de la propagation de la lumière :

RM : Ce qui, ce qui semble compter, c'est effectivement [...] le mouvement relatif de l'objet par rapport à moi.

Notons également que lors de cette phase quatre des cinq utilisateurs orientent leur explication vers des savoirs non pertinents pour expliquer les effets observés. À titre d'exemple l'effet Doppler apparaît cité comme dans cette phrase de RM :

RM : C'est un peu, euh, je dirais c'est quasi un effet Doppler, euh. Quand le, euh, l'objet qui émet de lumière vient vers moi, euh. Je sais pas si un effet Doppler, non plus, quand l'objet vient vers moi, j'ai l'impression qui va, euh, qui vient beaucoup plus vite que quand il s'en éloigne.

Cette explication (non pertinente dans cette simulation) sera d'ailleurs reprise pas ces utilisateurs lors de la phase 3.

Concernant la déformation apparente des palets (phase 3), elle est globalement expliquée par la différence entre les instants d'arrivée des photons, photons émis depuis les objets jusqu'à l'observateur. C'est la distance entre différents points des palets et l'observateur qui est mise en avant, plus que le caractère fini de la vitesse de la lumière (qui n'est plus mentionnée à ce stade de l'expérimentation) :

CG : Donc c'est lié au fait que quand je suis de dessus, ben, je vois d'abord, le dessus du palet, puis la couche d'en dessous, puis la couche d'en dessous, puis la couche d'en dessous.

Les marqueurs de temps sont très présents chez CG. Cela se retrouve chez tous les utilisateurs. La déformation des palets est bien identifiée comme « apparente » et dépendante de la position de l'utilisateur par rapport au palet. Ce qui est perçu est associé à ce qui a été émis comme le montre cet extrait d'expérimentation avec CP :

CP : C'est que l'avant [du palet] étant plus jeune [que l'arrière], il a eu le temps de parcourir une certaine distance avant que, euh, le photon que je vois soit émis. [...] De mon point de vue, l'arrière

n'était pas au même endroit à l'instant d'émission. Il était en arrière, ce qui va, ce qui va donner un effet d'éirement. Ce que je vois, ça a des instants d'émission différents l'avant et l'arrière du, du palet.

La mise en contact des utilisateurs avec ces effets de déformation semble donc favoriser des raisonnements dans lesquels instant d'émission et instants de perception sont mis en relation de manière pertinente.

Élément conceptuel	Utilisateurs le citant dans phase 1	Utilisateurs le citant dans phase 2	Utilisateurs le citant dans phase 3
Entrée lumière œil	CG, IEM, RM, JO	CG, CP, IEM	CG, RM, JO
Caractère fini vitesse	CG, IEM, RM, JO	RM	CG, JO
Distance objets utilisateur	Tous	Tous	Tous
Émission ponctuelle photon	Aucun	IEM	Tous
Effets lorentziens	Aucun	Aucun	Aucun
Notions de référentiel	CG, JO, IEM,	JO, IEM, RM	IEM
Effet Doppler	IEM	CG, IEM, RM	RM

Tableau 1. Nombre d'utilisateurs citant chacun des éléments conceptuels en jeu pour chacune des phases de l'expérimentation

5. Discussion et conclusion

La mise en contact d'utilisateurs avec des effets visuels spécifiques (non simultanéité apparente, déformation apparente, changement de vitesse apparente) consécutifs à la mise en mouvement d'objets virtuels 3D à une vitesse proche de celle de la lumière semble **favoriser l'émergence de raisonnements fondés sur la lumière**. De manière plus précise, les différentes phases de notre expérimentation engagent les utilisateurs à mettre en place des **chaines de raisonnement dans lesquelles le caractère fini de la vitesse de la lumière, la nécessaire entrée de la lumière dans l'œil d'un observateur jouent un rôle prépondérant**. Ceci semble permettre une association pertinente entre les événements « réception » (de la lumière dans l'œil) et « émission » (de la lumière depuis chacun des points-objets), association qui apparaît mobilisée à mauvais escient dans les études didactiques consacrées aux difficultés des étudiants en relativité restreinte (Scherr et al., 2001 ; Scherr et al., 2002 ; de Hosson et al., 2010).

Ensuite, quatre des cinq utilisateurs que nous avons interrogés avaient reçu un enseignement de TRR. Cela en a conduit certains à utiliser certains savoirs (non simultanéité due au changement de référentiel (Valentin, 1999), effet Doppler (Giancoli, 1989)) usuellement associés à cette théorie mais non appropriés pour expliquer les situations qui leur étaient proposées. A l'inverse, aucun des utilisateurs n'a expliqué la déformation des palets (phase 3) par l'effet conjugué de la variation de fréquence de réception des photons dans l'œil et de la contraction de Lorentz. A ce titre, la façon dont les situations sont exploitées (avec une attention forte portée à la propagation de la lumière) semble " « gommer » les effets spécifiquement relativistes pourtant présents.

Enfin, la possibilité offerte aux utilisateurs de pouvoir évoluer librement dans le CAVE semble leur permettre de dissocier les effets spécifiquement « apparents », de la « réalité » des formes et mouvements « vrais », c'est-à-dire déterminés par des coordonnées d'espace et de temps dans le référentiel du billard. Cette dissociation paraît favoriser l'émergence de raisonnements féconds, fondés sur la prise en compte de la propagation de la lumière.

Bien entendu, étant donné le faible échantillon de notre étude, ces résultats demeurent indicatifs et se verront affinés et complétés dans les semaines à venir. Il sera également intéressant de prévoir des expérimentations avec des utilisateurs n'ayant reçu aucun enseignement de TRR afin de comparer les réactions et explications fournies par les deux types d'utilisateurs.

Bibliographie

- Doat, T., Parizot, E., & Vézien, J.M. (2011). A carom billiard to understand special relativity. *Virtual Reality Conference (VR), 2011 IEEE*. Singapour.
- Giancoli, D.C. (1989). *Physique Générale 3: Ondes, optique et physique moderne*. DeBoeck Université, Bruxelles. p.449.
- Guesne, E. (1984). Children's idea about light / les conceptions des enfants sur la lumière. *New Trends in Physics Teaching, Vol IV UNESCO, Paris*, pp.179-192.
- de Hosson, C., Kermen, I., & Parizot, E. (2010). Exploring students' understanding of reference frames and time in Galilean and special relativity. *European Journal of Physics*, **31** (12), 1527–1538.
- de Hosson, C., Doat, T., Kermen, I., Parizot, E., & Vézien, J.M. (2011). Designing learning scenarios for a 3D virtual environment: the case of special relativity. *International Conference on Physic Education, ICPE 2011*. Mexico City.
- Ruder, H., Weiskopf, D., Nollert, H.S., and Müller, T. (2008). How computers can help us in creating an intuitive access to relativity. *New Journal of Physics*, **10**.
- Saltiel, E., & Malgrange, J.L. (1980). Spontaneous ways of reasoning in elementary kinematics. *European Journal of Physics*, **1**, 73-80.
- Savage, C. M., Searle, A., & McCalman L. (2007). Real Time Relativity: exploration learning of special relativity. *American Journal of Physics*, **75**, 791-798.
- Scherr, R., Schaffer, P., & Vokos, S. (2001). Student understanding of time in special relativity: simultaneity and references frames. *American Journal of Physics*, **69**, 24-35.
- Scherr, R., Schaffer, P., & Vokos, S. (2002) The challenge of changing deeply held student beliefs about relativity of simultaneity. *American Journal of Physics*, **70**, 1238-1248.
- Valentin, L. (1999). *L'université mécanique*. Herman, Paris. p.298.
- Villani, A., & Pacca, J.L.A. (1987). Students' spontaneous ideas about the speed of light. *International Journal of Science Education*, **9** (1), 55-66.

Représentations sémiotiques de Cram et de Newman en stéréochimie: quelques difficultés d'apprentissage au Bénin

**Destin Mangane, Univ. Paris Diderot-Paris 7, LDAR, EA 4344 ;
destin.mangane@imsp-uac.org**

&

Isabelle Kermen, Univ. Paris Diderot-Paris 7, Univ. Lille Nord de France, Univ. d'Artois, LDAR, EA 4344 ; isabelle.kermen@univ-artois.fr

Mots clés : stéréochimie, représentation sémiotique, visualisation d'une molécule

Résumé : Ce travail vise à repérer et analyser les difficultés d'apprentissage concernant les représentations symboliques de la structure spatiale des molécules organiques, sous l'angle de la visualisation de représentations sémiotiques. Un questionnaire papier-crayon comportant quatre questions a été passé à 328 élèves de terminale D au Bénin. L'analyse des réponses révèle que la visualisation iconique ou la visualisation mentale ne sont pas opératoires chez une proportion importante d'élèves qui ne maîtrisent pas les opérations de traitement au sein du registre sémiotique de Cram (passage d'une conformation éclipsée à une conformation décalée, identification de couples de stéréoisomères de conformation), ni les opérations de conversion inter registre Cram-Newman.

1. Introduction

L'apprentissage de la stéréochimie s'appuie sur les représentations sémiotiques des molécules. Les activités cognitives à réaliser lors de cet apprentissage peuvent comme en mathématiques, prendre des formes spécifiques : communication, traitement et conversion de représentations sémiotiques, nécessitant souvent des manipulations mentales. Le travail que nous présentons ici se propose de faire le point des difficultés d'apprentissage d'élèves de terminale D au Bénin concernant les représentations sémiotiques de Cram et de Newman des molécules organiques, sous l'angle de la visualisation.

2. Cadre théorique : systèmes sémiotiques, visualisation des molécules en stéréochimie

En stéréochimie au langage symbolique général de la chimie (les formules des molécules) s'ajoute une dimension spatiale, il s'agit de représenter la structure spatiale des molécules sur un plan (en deux dimensions) au moyen de conventions graphiques et de symboles, générant ainsi des représentations sémiotiques spécifiques. « *Les représentations sémiotiques sont des productions constituées par l'emploi de signes appartenant à un système de représentation qui a ses contraintes propres de signification et de fonctionnement* » (Duval, 1993). Un système sémiotique est appelé registre sémiotique s'il permet les trois activités cognitives suivantes : la formation d'une représentation conforme aux règles de formation des signes

propres au registre sémiotique, le traitement de cette représentation par les seules règles propres au système de façon à obtenir un apport de connaissance par rapport à la représentation initiale, c'est une transformation interne au registre (Duval, 1993), et enfin la conversion d'une représentation d'un registre dans un autre, de telle façon que cette dernière permette de clarifier d'autres significations relatives à ce qui est représenté, c'est une transformation externe au registre de départ (Duval, 1993). Nous distinguons dans le programme national d'enseignement de la stéréochimie, les systèmes sémiotiques de Cram et de Newman. Ces systèmes de représentation sont des registres sémiotiques au sens de Duval (1993). La manière d'interpréter ou de manipuler les représentations sémiotiques des molécules dépend de la tâche à réaliser. Elle implique une visualisation de la représentation de la molécule (Wu, 2004) qui, en fonction de la tâche proposée, peut être iconique ou mentale. Nous désignons par *visualisation*, la manière de voir une représentation sémiotique. Elle est dite *iconique*, lorsqu'il y a une combinaison simultanée de deux niveaux d'opération : la reconnaissance discriminative de formes et l'identification des objets correspondants aux formes reconnues. (Duval, 2005). La reconnaissance discriminative de formes consiste en une analyse discriminative de catégories produites par l'observation de la représentation, afin d'attribuer une catégorie particulière à l'objet d'intérêt. La visualisation iconique suppose la connaissance d'une forme type pour chaque objet à identifier et de la signification des signes utilisés dans la représentation (Duval, 2005). Bien que la fusion de la reconnaissance discriminative de formes et de l'identification des objets correspondant aux formes reconnues soit la condition pour des réponses rapides et adaptées, elle constitue un problème cognitif majeur. Il peut y avoir conflit entre la reconnaissance des formes par simple ressemblance à un exemple type et l'identification de l'objet correspondant à la forme reconnue (Duval, 2005). La visualisation est dite *mentale* lorsqu'une image mentale (c'est-à-dire la « *représentation mentale d'objets ou d'évènements qui ne sont pas physiquement présents* ») est générée et manipulée (Marchand, 2006). Pour passer d'une conformation donnée d'une molécule à une autre conformation par exemple, il faut être capable de se situer dans l'espace et de se représenter mentalement la molécule, puis de pouvoir y agir par une rotation mentale c'est-à-dire tourner mentalement la molécule autour de l'axe de la liaison C—C (Hoyek & al., 2010).

3. Problématique et questions de recherche

Le choix de la stéréochimie s'explique par le fait qu'une grande partie de l'enseignement introductif de la chimie organique, discipline reconnue comme difficile à enseigner et à apprendre (Loumouamou, 1998, Lafarge, 2010), repose sur elle. Cette place introductive qu'occupe la stéréochimie dans l'enseignement de la chimie organique implique, en cas d'échec dans son apprentissage, que l'élève soit freiné tout au long de l'étude de la chimie organique. La résolution des problèmes de stéréochimie implique la capacité à interpréter et à manipuler les représentations de Cram et de Newman notamment. On distingue entre autre la capacité de visualisation. Bien que cette dernière soit nécessaire à l'apprentissage de la chimie en générale, et de la stéréochimie en particulier, elle est très difficile à mettre en place par les étudiants (Wu & Shah, 2004). Lors du passage de la représentation de Cram d'une molécule à sa représentation de Newman par exemple, ils inversent les configurations absolues des carbones asymétriques (Boukhechem & al., 2011). Ils ont également du mal à placer de façon précise l'observateur par rapport à la molécule observée (Pellegrin & al. 2003), certains méconnaissent la libre rotation de groupes d'atomes autour d'une liaison simple et l'infinité de conformations pour une même molécule (Barlet & Plouin, 1997). Une étude préliminaire a montré que certains élèves béninois éprouvent des difficultés à passer d'une représentation

conventionnelle de molécule à une autre, nous avons souhaité analyser les tendances repérées sous l'angle de la visualisation de représentations de systèmes sémiotiques, ce qui a motivé une nouvelle étude. Le travail que nous présentons ici se propose de faire le point sur les connaissances et les difficultés des élèves béninois portant sur les représentations sémiotiques de Cram et de Newman. Il vise à apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Dans quelle mesure les élèves de terminale D au Bénin maîtrisent-ils les opérations intra et inter registres sur les représentations sémiotiques des structures géométriques des molécules organiques?
- Quels sont les obstacles à l'acquisition d'une compréhension permettant une utilisation de ces représentations conforme à leur signification ?

4. Méthodologie

Pour cela nous avons construit un questionnaire papier-crayon comportant quatre questions. Dans la première question nous testons l'application de la méthode de la double permutation couramment utilisée par les enseignants pour identifier des couples d'énantiomères. Les élèves ont à exprimer leur accord ou leur désaccord avec quatre propositions concernant l'obtention de la molécule chirale initiale (représentation de Cram fournie) ou de son image après une simple ou une double permutation des substituants du carbone. Dans la question 2, nous nous intéressons à la visualisation mentale de la molécule qu'impliquent les opérations de rotation autour de l'axe de la liaison C—C lors du passage d'une conformation à une autre, (opération de traitement, intraregistre). Nous supposons que les élèves sont conscients de cette possibilité de rotation autour de l'axe de la liaison C—C, mais le problème se pose lorsqu'il s'agit de mettre en place cette opération ou de repérer plus précisément la place occupée par chaque substituant après les rotations. Nous proposons donc en représentation de Cram, un dérivé trihalogéné de l'éthane en conformation éclipsée, et demandons de produire la représentation de Cram correspondant à une rotation de 60° autour de la liaison C—C (un schéma précise le sens de la rotation). La question 3 concerne la reconnaissance discriminative de formes éclipsées et décalées, ainsi que l'identification des objets correspondant aux formes reconnues. Nous faisons l'hypothèse qu'en représentation de Cram, les élèves se fondent sur la forme globale, pour dire que des conformations éclipsées ou décalées sont des représentations d'une même molécule. Nous proposons donc une série de représentations de Cram correspondant pour certaines à des conformations différentes d'une même molécule et demandons de repérer les stéréoisomères de conformation (opération de traitement intraregistre) et de justifier. Dans la question 4, nous nous intéressons au passage du registre de Cram à celui de Newman (opération de conversion interregistre). À travers cette question, nous abordons un autre genre de problème que peut poser cette visualisation, nous cherchons à mettre en évidence quelles liaisons, celles du carbone le plus proche ou le plus éloigné, les élèves visualisent le mieux. Nous proposons trois stéréoisomères en représentation de Cram et trois en représentation de Newman, et demandons de choisir parmi une série de trois propositions fixant la position de l'observateur (à gauche de la représentation de Cram, à droite de la représentation, ni à gauche et ni à droite) s'il est possible d'obtenir la représentation de Newman à partir de la représentation de Cram.

Nous avons collecté les réponses de 328 élèves âgés de 17 à 20 ans, des classes de terminale D des écoles des villes de Porto-Novo et de Natitingou (Bénin), 4 mois après enseignement de la stéréochimie, les élèves ont été prévenus quelques jours avant, et il leur a été demandé de réviser leurs cours de stéréochimie. L'analyse des réponses d'élève repose sur une catégorisation des réponses fondée sur les tendances de l'étude préliminaire et le cadre théorique de référence.

Pour la question 1, qui examine l'application de la double permutation, les propositions à choisir étant antinomiques, l'analyse des réponses recherche la cohérence des choix effectués par les élèves. L'application de la double permutation peut relever d'une simple mémorisation ou au contraire s'appuyer sur une visualisation mentale de la molécule représentée. Pour la question 2, il s'agit de passer d'une conformation éclipsée à une conformation décalée par une rotation mentale de 60° de la conformation proposée. Deux grandes catégories s'imposent donc, l'une comportant les réponses comprenant une représentation décalée, l'autre une éclipsée. À l'intérieur de chaque catégorie, on examine si les positions des substituants sont respectées ou non, comme les conventions de représentation des liaisons. Pour la question 3 qui met en jeu la visualisation iconique, puisqu'il s'agit d'identifier des stéréoisomères de conformation parmi des représentations décalées et éclipsées, les catégories de réponses sont construites à partir de la reconnaissance de forme globale et de l'identification ou non des substituants, ce qui correspond à l'identification des objets. Pour la question 4, le type de choix demandé aux élèves, la place de l'observateur par rapport à la représentation de Cram pour obtenir une représentation de Newman donnée, permet de catégoriser les choix effectués en termes de respect des positions des substituants observés d'une part et de respect des positions des carbones observés d'autre part. Le questionnaire proposé figure en annexe.

5. Résultats et discussion

Les résultats bruts obtenus à la question 1 (cf tableau 1) montrent que les élèves répondent mieux lorsqu'on envisage une seule permutation de substituants. Cependant ce ne sont pas les mêmes qui répondent correctement pour chaque proposition. En effet une analyse de la cohérence des choix effectués révèle que 43% des élèves interrogés font le choix correct pour les deux propositions R1 et R2, 26% pour les deux propositions R3 et R4 et 9% seulement pour les quatre propositions. Par ailleurs une proportion non négligeable d'élèves effectue des choix contradictoires, 20% sont d'accord avec R1 et R2, 19% avec R3 et R4 tandis que 18% annoncent leur désaccord avec R1 et R2, et 17% avec R3 et R4. Ces éléments montrent que certains élèves répondent de façon aléatoire, et que la plupart des autres ne maîtrisent pas l'application de la méthode de la double permutation. La mémorisation n'est pas avérée et on peut supposer que les élèves ne s'appuient pas sur une visualisation efficace, en effet ils sont moins nombreux à répondre correctement après une permutation, deux à deux, des substituants liés au carbone, qu'après une simple permutation de deux substituants.

Proposition/ choix (correct : **)	Pas d'accord	D'accord	Sans réponse
R1 : 1 permutation de deux substituants donne l'image	34%	64%**	2%
R2 : 1 permutation de deux substituants redonne la molécule	61%**	36%	3%
R3 : 2 permutations de deux substituants donne l'image	52%	46%**	2%
R4 : 2 permutations de deux substituants redonne la molécule	42%**	55%	3%

Tableau 1. Répartition des réponses brutes à la Question 1 (formulation des propositions simplifiée)

À la question 2 (cf. tableau 2) aucun élève ne fournit la réponse attendue et la majorité des élèves (70%) propose une conformation éclipsée ce qui correspond peut-être à une rotation de 120° au lieu de 60° , dont 57% proposent une disposition erronée des substituants comme s'ils effectuaient une simple permutation des substituants indépendamment de la rotation des liaisons autour de l'axe de la liaison C-C. Cela suggère une difficulté à manipuler efficacement l'image mentale de la représentation éclipsée initiale.

	Catégories de réponses (réponse correcte **)	pourcentage
Conformation décalée	Disposition correcte des liaisons et des substituants **	0%
	Disposition correcte des liaisons et incorrecte des substituants	5%
	Disposition des liaisons non conforme	4%
Conformation éclipsée	Disposition des substituants respectée	9%
	Disposition des substituants non respectée	57%
	Même représentation que celle de départ	4%
Autres (non respect des conventions de représentation des liaisons)		21%

Tableau 2. Répartition des réponses à la Question 2

Les réponses à la question 3 (cf tableau 3) indiquent que 51% des élèves sont capables de fournir des couples de stéréoisomères de conformation en prenant en compte les formes et la place des substituants sur chaque carbone. Cependant 39% d'entre eux proposent des conformations d'un seul type (formes différentes, éclipsée et décalée) faisant preuve d'une maîtrise partielle de la notion de stéréoisomères de conformation tandis que 9% proposent des conformations des deux types faisant preuve d'une maîtrise plus complète de cette notion. Les réponses incorrectes assimilent à des stéréoisomères de conformation sans se préoccuper des substituants, des molécules de formes identiques (décalées ou éclipsées) (9%), de formes différentes (4%) ou considèrent à la fois des formes identiques et différentes (19%). Cela met en évidence l'existence, chez ces élèves, d'une propension à privilégier la reconnaissance discriminative des formes éclipsée et décalée, négligeant ainsi l'identification de l'objet à la forme reconnue. La visualisation iconique n'est pas opératoire. Ceci provient peut-être du fait que l'enseignement de la notion de stéréoisomères de conformation s'appuie sur les conformations de la molécule d'éthane ; les substituants des atomes de carbone de cette dernière étant identiques, les élèves considèrent alors les formes globales comme les seuls critères permettant d'identifier des stéréoisomères de conformation, et oublient de regarder la nature des substituants. Nous faisons l'hypothèse que la présentation des seules conformations de la molécule d'éthane peut devenir un obstacle à l'acquisition de connaissances portant sur les conformations d'autres molécules dans la mesure où les élèves s'attachent uniquement à la forme globale de la conformation étudiée.

Catégories de réponses (réponses correctes**)	fréquence
C1 : reconnaissance de stéréoisomères de conformation de nature différente (éclipsée-décalée)=(é-d)**	39%
C2 : reconnaissance de stéréoisomères de conformation de même nature (éclipsée- éclipsée=é-é) (décalée- décalée=d-d)**	3%
C3 : reconnaissance de stéréoisomères de conformation de tout type (é-d) et (é-é) ou (é-d) et (d-d)**	9%
C4 : reconnaissance de formes globales identiques (é-é) ou (d-d), et substituants incorrects	4%
C5 : reconnaissance de formes globales différentes (é-d), et substituants incorrects	9%
C6 : reconnaissance de formes globales avec ou sans prise en compte des substituants	19%
Pas de réponse	17%

Tableau 3. Répartition des réponses à la Question 3

La question 4 s'est révélée très difficile pour les élèves qui devaient produire 9 réponses. Aucun n'a fourni 9 réponses exactes. 36% des élèves ne donnent aucune réponse, 26% ne répondent pas à au moins une proposition et 38% donnent 9 réponses. Trois types de réponses erronées, rassemblant 7 cas correspondant à des positions de l'observateur (à gauche ou à

droite de l'axe C-C de la représentation de Cram) et ne permettant pas de dessiner la représentation de Newman fournie concernant le non respect des positions des substituants sur les atomes de carbone. Le premier (E1) consiste en une permutation des substituants de l'atome de carbone proche de l'observateur (2 cas, 14% et 22%), le second (E2) en une permutation des substituants de l'atome de carbone éloigné de l'observateur (3 cas, 17%, 17% et 24%) et le troisième (E3) en une permutation des substituants des deux atomes de carbone (2 cas, 20% et 23%). Si l'on rapporte le nombre d'élèves ayant commis chaque erreur au nombre d'élèves ayant répondu au cas étudié (variable selon les cas) alors les taux de réponses erronées importants (E1, 25% et 40%; E2, 37%, 37% et 42%; E3, 44% et 51%) montrent que ces erreurs sont commises par une proportion non négligeable d'élèves. Le quatrième type de réponses erronées est constitué des 9 cas où les élèves inversent la position des carbones observés, ils choisissent une représentation de Newman conduisant à dire qu'ils placent le carbone de devant derrière et celui de derrière devant. Selon les cas, de 11% à 27% font cette erreur, ces taux rapportés au nombre d'élèves qui répondent à chaque cas, vont de 20% à 47% avec 5 cas où ce taux représente un tiers des élèves ayant répondu. Ces éléments nous conduisent à dire que la manipulation d'images mentales est une difficulté encore plus grande lors de la conversion interregistre Cram-Newman.

6. Conclusion

Cette étude révèle les difficultés inter et intraregistres rencontrées par les élèves dans la manipulation et l'interprétation des représentations sémiotiques de molécules organiques. Ces difficultés relèvent pour la plupart de la visualisation qu'elle soit mentale ou iconique. Toutefois, une étude approfondie de l'origine de ces difficultés nécessite des entretiens avec des élèves et des enseignants.

Bibliographie

- Barlet, R., & Plouin, D. (1997), La dualité microscopique- macroscopique un obstacle sous jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement universitaire. *Aster*, 25, 143-174.
- Boukhechem M-S., Dumon A. & Zouikri M., (2011). The acquisition of stereochemical knowledge by Algerian students intending to teach physical sciences, *Chemistry Education Research and Practice*, volume 12, 331–343
- Duval R. (1993), Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 5, 37-65.
- Duval R. (2005) Les conditions de l'apprentissage de la géométrie : développement de la visualisation, différenciation des raisonnements et coordination de leurs fonctionnements, *Annales de didactique et sciences cognitives*, volume 10, 5-53.
- Hoyek, N., Collet C. & Guillot A., (2010). Représentation mentale et processus moteur : le cas de la rotation mentale, *Science et Motricité*, 71, 9–39
- Lafarge D (2010), Analyse didactique de l'enseignement-apprentissage de la chimie organique jusqu'à bac+2 pour envisager sa restructuration. Thèse de didactique, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II

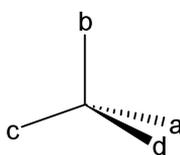
Loumouamou A. (1998), *Contribution à l'étude de la transposition didactique en chimie organique*. Thèse de didactique, Université Grenoble 1

Marchand, P. (2006). Comment développer les images mentales liées à l'apprentissage de l'espace en trois dimensions ? *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 11, 103-121.

Pellegrin, V. (1999). Les représentations graphiques bidimensionnelles des molécules en chimie organique avec un crayon et un papier. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 93, 811, 263-290.

Wu, H-K. & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry Learning. *Science Education*, 88, 465-492.

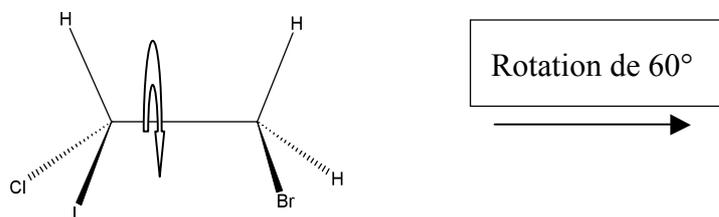
Annexe



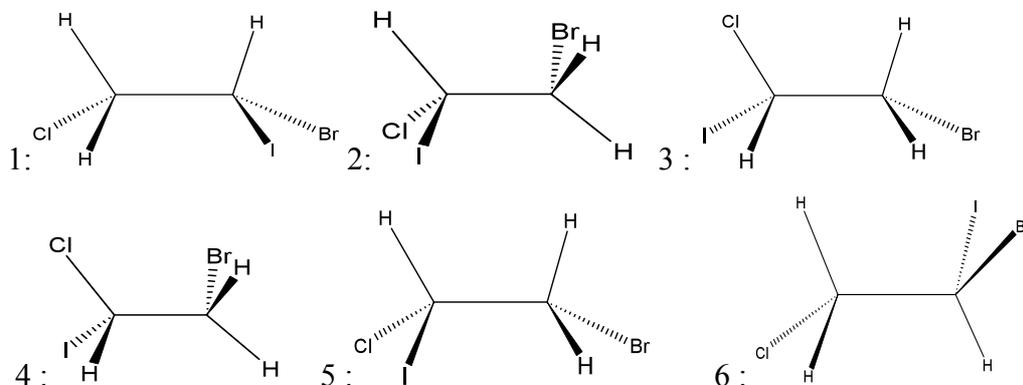
Question 1. Dans une molécule chirale telle que :

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
La permutation de deux atomes liés à l'atome de carbone conduit à une molécule qui est image de la première dans un miroir.				
La permutation de deux atomes liés à l'atome de carbone conduit à une molécule identique.				
La permutation, deux à deux, des atomes liés au carbone (a avec b, et c avec d par exemple), conduit à la même molécule.				
La permutation, deux à deux, des atomes liés au carbone (a avec b, et c avec d par exemple), conduit à une molécule qui est image de la première dans un miroir plan.				

Question 2. Compléter la figure suivante en dessinant une nouvelle représentation spatiale qui indique la position des atomes, après une rotation de 60° du groupement $-CHICl$ autour de l'axe de la liaison $C-C$.

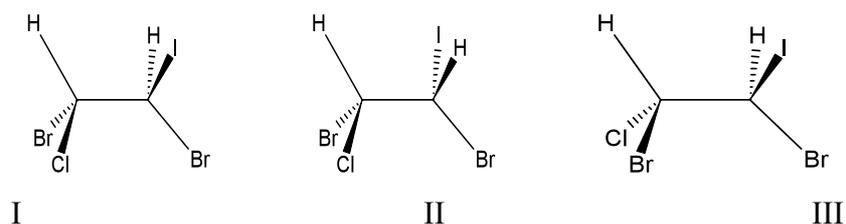


Question 3. Indiquez parmi la série de représentations spatiales, celles qui correspondent à des conformations d'une même molécule, justifiez.

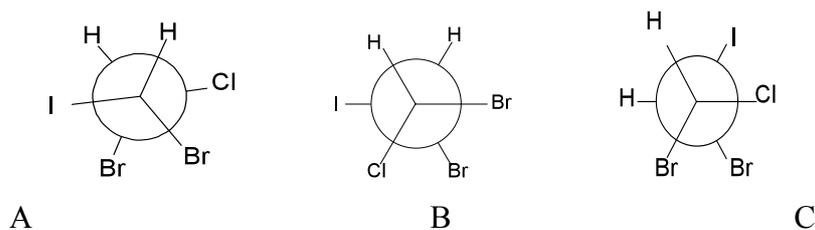


Question 4. Voici des stéréoisomères dans différentes représentations de Cram et de Newman :

Représentations de Cram :



Représentations de Newman :



Complétez le tableau suivant en indiquant à chaque fois parmi les propositions suivantes a., b., et c., celle qui convient le mieux.

- a. La représentation de Newman a été obtenue en plaçant l'œil de l'observateur à gauche de la molécule en représentation de Cram suivant la liaison C—C.
- b. La représentation de Newman a été obtenue en plaçant l'œil de l'observateur à droite de la molécule en représentation de Cram suivant la liaison C—C.
- c. La représentation de Newman ne peut être obtenue en plaçant l'œil de l'observateur à gauche ou à droite de la molécule en représentation de Cram suivant la liaison C—C.

représentations de Newman représentations de Cram	A	B	C
I			
II			
II			

Mise en relation des difficultés des enseignants du premier et second degré et des caractéristiques des séquences d'investigation en sciences

**Corinne Marlot, Univ. Blaise Pascal, IUFM d'Auvergne, Laboratoire PAEDI ;
corinne.marlot@univ-bpclermont.fr**

&

**Ludovic Morge, Univ. Blaise Pascal, IUFM d'Auvergne, Laboratoire PAEDI ;
ludovic.morge@univ-bpclermont.fr**

Mots clés : didactique des sciences – premier degré – second degré – investigation scientifique – travail du professeur

Résumé : Plusieurs recherches ont montré que la réalisation de séquences d'investigation pose des problèmes aux enseignants qu'ils soient du premier ou du second degré et qu'il existe différents types de séquences d'investigation. En nous appuyant sur ces travaux, nous argumentons l'hypothèse de liens entre les types d'investigation menées par les enseignants et les difficultés qu'ils sont susceptibles de rencontrer dans leur gestion. Cette mise en relation ouvre la voie à de nouvelles recherches visant à étudier de manière expérimentale cette hypothèse. Les résultats de ces recherches permettront à terme, de planifier une entrée progressive des professeurs dans l'enseignement des sciences expérimentales.

1. Introduction

Cette présentation expose la problématisation d'un programme de recherche qui débute. Notre proposition est ici de rapprocher différents résultats qui s'ignoraient en partie jusqu'à présent. Ces derniers concernent à la fois les difficultés rencontrées par les professeurs, les manifestations de ces difficultés et les différents types de séquence d'investigation scientifique.

La faible mise en œuvre de l'investigation dans les pays d'Europe Rocard (2006) peut s'expliquer par les difficultés que les enseignants rencontrent dans la réalisation des séquences d'investigation. Comme l'indique le modèle de Goigoux (2005), l'activité enseignante est orientée non seulement vers l'Ecole (Inspecteurs, parents...), vers les élèves, mais également vers l'enseignant lui-même. Ce dernier va chercher à se protéger, s'économiser, se faire plaisir... Ce modèle nous aide à dépasser une vision trop simpliste de l'activité d'enseignement, activité qui serait toute orientée vers la réussite des élèves. L'activité d'enseignement étant aussi orientée vers l'enseignant lui-même, il délaissera ce type d'enseignement au profit d'un enseignement moins difficile, même s'il pense que l'investigation pourrait nourrir l'intérêt et la réflexion de ses élèves.

Si les programmes de collège peuvent laisser penser qu'il existe une démarche d'investigation qui suivrait les sept moments proposés Windschitl, M. (2002), de la même manière, les documents d'accompagnement des programmes pour l'école primaire de 2002, développent un « canevas » de séquence d'investigation en 5 étapes. Pour autant, Morge et Boilevin

(2007), considèrent qu'il existe, non pas un, mais des types de séquences d'investigation qui engagent de manière diversifiée et non linéaire ces différentes étapes ou « moments ». Nous faisons alors l'hypothèse selon laquelle, si toutes les investigations ne sont pas identiques, elles ne présentent pas le même niveau de difficulté dans leur réalisation. Il devient alors possible d'envisager pour des enseignants de rentrer progressivement dans la réalisation de séquence, en évitant de commencer par celles qui cumulent le plus grand nombre de difficultés ou qui présentent des difficultés que l'enseignant ne se sent pas capable d'affronter en classe.

2. Quelques difficultés repérées chez les enseignants

Le manque de temps (Keys & Kennedy, 1999) est une des difficultés rencontrées par les enseignants dans la mise en place des séquences d'investigation. L'investigation est vécue comme un mode d'enseignement chronophage alors même que les enseignants sont sous la pression des programmes. Même si certaines investigations ont été construites pour ne pas prendre plus de temps que celui accordé dans les programmes, cette dimension chronophage de l'investigation est prégnante.

La gestion des réponses d'élèves est une des difficultés que rencontrent les enseignants. Ils doivent se contrôler pour éviter uniquement un mode d'interaction basé sur l'attente de la bonne et développer la compétence de proposer une autre question en feed-back (Keys and Kennedy, 1999) ou de s'appuyer sur des arguments de validité Morge (2000).

Dans le premier degré, la présentation des différentes disciplines par un même professeur selon une sorte de *continuum* et la percolation entre disciplines de pratiques similaires (débat, travail de groupe, enquête, plages importantes de temps, recours à la documentation...) peuvent être la source de confusions pour les élèves mais aussi pour les professeurs si les spécificités disciplinaires n'ont pas fait, à un moment donné l'objet d'une clarification (Bisault & Berzin, 2009 ; Lebeaume, 2000).

Tous les thèmes ne se prêtant pas à l'investigation (Keys and Kennedy, 1999), la compétence à repérer des thèmes favorables à l'investigation est aussi une compétence à acquérir, compétence sans laquelle les enseignants risquent de se mettre en difficulté.

Les élèves ne sont pas eux non plus habitués à réaliser des investigations (e.g. Morge, 1997, Keys & Kennedy, 1999). Lorsque l'enseignant propose des investigations, se crée alors une rupture du contrat didactique qui remet en cause les routines, les places et les rôles de chacun dans la classe.

L'investigation vise à développer chez les élèves certaines compétences telles que la planification d'une expérience, la rédaction d'un compte-rendu, certaines attitudes (curiosité, rigueur, inventivité...). L'enseignant doit donc se doter de nouveaux outils d'évaluation, outils qui ne sont pas nécessairement disponibles ou faciles à utiliser (Keys and Kennedy, 1999)

Un très grand nombre de recherches ont porté sur les conceptions épistémologiques des enseignants (pour une synthèse voir Lederman, N.G, 2007). Ces conceptions souvent qualifiées d'empirico-réalistes, s'opposent à une vision plus contemporaine de la science que l'on pourrait qualifier d'hypothético-déductive ou constructiviste. Ceci se traduit par exemple par la difficulté chez certains enseignants à différencier hypothèses et prévisions (Mathé 2010), ou à donner la primauté à l'observation au détriment de la théorie et du problème.

Les enseignants gérant des investigations doivent faire face à l'imprévu (Antheaume, 2001), non seulement dans les réponses des élèves (cf. ci-dessus), mais aussi dans le matériel dont il aura besoin pour faire les expériences, dans les activités proposées par les élèves etc. La gestion de l'imprévu est une des difficultés rencontrées par les enseignants.

3. Principales conséquences des difficultés des professeurs sur la mise en œuvre des différents types de séquence d'enseignement scientifique

Les difficultés rencontrées par les enseignants vont avoir pour conséquence certaines incohérences dans la mise en œuvre de l'investigation, que nous allons tenter de présenter ici.

Pris entre un souci de faire émerger les conceptions des élèves (mais sans que suive une réelle problématisation) et celui de « faire sortir » la question prévue, de nombreux jeunes professeurs alternent ou font coexister des modes de guidage concurrents, entre une libre expression de la parole des élèves et une prédominance de la parole du professeur (Garcia-Debanc & Laurent, 2003). Il peut s'ensuivre des modes de guidage « fausement non-directif » (Clément & Guiu, 2000) qui sèment le trouble chez les élèves (Marlot, 2008). Ces conduites divergentes mettent l'accent sur la propension des professeurs débutants à vouloir rectifier le plus vite possible les « erreurs » des élèves (Calmettes, 2010).

Certaines séances observées montrent un affaiblissement net de l'enjeu didactique initial : soit il se produit un glissement vers un objet d'apprentissage scientifique moins dense en savoir, soit un glissement vers des apprentissages plus transversaux (moins spécifiques), soit un glissement vers des objets appartenant à un autre champ disciplinaire (Marlot, 2009 ; Marlot & Ligozat, 2011). Dans le premier degré, ces glissements sont provoqués le plus souvent par le caractère ambigu des tâches proposées qui ne présentent pas explicitement les caractères de la discipline scientifique (Bisault & Berzin, 2009).

Une inflation des activités langagières peut apparaître lors de la mise en place de séquences d'investigation. Il arrive que ces activités soient déconnectées de la production de connaissances scientifiques et finissent par conduire à une valorisation de la communication entre élèves, au détriment des activités d'argumentation (Marlot, 2008). Ainsi, ces pratiques socio-langagières - comme celle du débat - finissent par s'uniformiser car elles ne véhiculent plus les manières de penser, parler et agir propres à chaque discipline (Jaubert, Rebière & Pujot, 2010).

Lors de la construction des hypothèses et de leur révision en cours de démarche, les professeurs font peu recours aux connaissances théoriques, soit déjà stabilisés dans la classe, soit apportés par le professeur en amont et au fur et à mesure du déroulement de l'investigation. Le risque est alors de voir apparaître des avancées par tâtonnement ou encore par « essai-erreur » où les hypothèses initiales seront révisées mais sans forcément faire appel à des connaissances notionnelles (Marlot, 2008). Que ce soit dans le premier ou le second degré, l'apprentissage du lexique lié à la notion étudiée est très souvent mis en avant dans les priorités des professeurs (Calmettes, 2010). Cet apprentissage ciblé sur le lexique peut faire courir le risque d'un apprentissage déconnecté de l'expression du phénomène étudié. Ces conséquences sont l'expression d'infondés épistémologiques.

La démarche d'investigation – comprise par les professeurs comme une succession ordonnée et linéaire des étapes repérées dans les prescriptions – risque de devenir un apprentissage en soi (Marlot, *ibid*). Les professeurs vont alors avoir du mal à dépasser la simple exécution procédurale et faire entrer les élèves dans la logique de l'investigation scientifique.

L'incertitude peut conduire les enseignants à fermer l'investigation, par exemple en partant d'une situation dans laquelle deux personnages formulent des hypothèses ou prévisions différentes, l'enseignant invitant ensuite les élèves à prendre partie et à tester ces avis par l'expérience (Mathé, 2010). Les conséquences évoquées ici sont la fermeture et la rigidification des séquences proposées.

Pour autant ces conséquences, aussi bien dans la régulation de l'activité des élèves par le professeur et dans les modes d'ajustement didactique en situation, que dans l'apprentissage effectif, apparaissent comme autant d'indicateurs de la difficulté de la mise en œuvre de l'investigation scientifique en classe. C'est donc la présence de ces « indicateurs » lors de l'analyse didactique des séances observées, qui sera pour nous le signe d'une difficulté qu'il s'agira de comprendre et expliquer, au regard du type d'investigation spécifiquement engagé.

4. Plusieurs types de séquences d'investigation

Pour cette seconde partie, nous nous appuyons principalement sur les travaux de (Windschitl, 2002), et de Morge et Boilevin (2007) qui ont proposé des typologies des séquences d'investigation.

4.1. Différents degrés de liberté donnés aux élèves dans l'investigation

Le modèle de déroulement d'une séquence d'investigation de Morge et Boilevin (2007) décrit l'investigation comme un enchaînement de plusieurs tâches dont la pertinence est donnée par le but de l'investigation (trouver un assassin, trouver la panne d'un appareil...). Pour atteindre ce but, plusieurs tâches doivent être réalisées (élaborer des hypothèses, modéliser, élaborer un protocole expérimental, inventer une stratégie pour gagner un jeu...). Une tâche est constituée de plusieurs phases : la formulation de la tâche, la conception et l'explicitation des propositions des élèves en réponse à la tâche, la phase de conclusion dans laquelle est discutée la recevabilité des propositions des élèves, et enfin, la phase de structuration qui selon la nature des savoirs mis en jeu peut prendre la forme d'une institutionnalisation (pour les savoirs construits par les élèves et correspondant au savoir de référence) ou d'une simple synthèse (pour les connaissances hypothétiques ou de faible portée). Ce modèle permet de caractériser différents types d'investigation en fonction de leur degré de liberté et du type d'enchaînement de tâches.

Si le but de l'investigation est défini par les élèves – par exemple à partir d'une image qui suscite des questions - ce niveau d'investigation correspond à ce que Windschitl, (2002) appelle « *open inquiry* ». Si le but de l'investigation est donné aux élèves et si les tâches ne sont pas prédéfinies, ce type d'investigation correspond à ce que Windschitl (2002), appelle « *guided inquiry* ». A l'inverse si les tâches et le but sont prédéfinis e.g. (Larcher et al. 1990), ce niveau d'investigation correspond à ce que Windschitl, (2002) appelle « *structured inquiry* ». Les séquences d'investigation peuvent aussi être caractérisées par leur enchaînement de tâches.

4.2. Différents enchaînements de tâches

Les séquences PACS reposent sur une structure de séquence dans laquelle il est demandé tout d'abord aux élèves de Prévoir un phénomène et d'Argumenter leurs prévisions en utilisant les connaissances qu'ils utilisent pour faire ces prévisions. Une phase de Confrontation est ensuite engagée : confrontation entre les prévisions et les argumentations des élèves et

confrontation entre les prévisions et les résultats expérimentaux. Le but de cette dernière confrontation est de tester la validité des connaissances mises en jeu dans l'argumentation. Enfin, la Synthèse permet de faire le bilan des connaissances validées, rejetées et des arguments associés à cette validation ou ce rejet.

Le déroulement d'une séance de résolution de problème ouvert débute par la formulation d'un problème ouvert aux élèves. Ce problème admet une infinité de solutions et il est nécessaire de modéliser la situation de départ. La première étape, nommée analyse quantitative et problématisation, comporte plusieurs activités : les élèves doivent représenter le déroulement dans le temps du problème, exprimer la question en terme de grandeur physique... Ensuite, lors de l'étape d'émission d'hypothèses, les élèves établissent des liens hypothétiques entre la grandeur physique et la variation des facteurs qui agissent sur cette grandeur. La troisième étape est celle de l'élaboration d'un chemin de résolution. Il s'agit pour les élèves de mobiliser une loi, un théorème qui permettrait de relier la grandeur physique aux variations des facteurs. Enfin, la dernière étape consiste à comparer les relations hypothétiques aux relations obtenues à l'aide de la loi ou du théorème.

Une situation adidactique se différencie des autres situations d'enseignement par le fait que la situation contraint « à elle seule » l'élève à construire la connaissance visée. Ces séances présentent habituellement l'enchaînement de tâches suivant : jeu au cours duquel les élèves cherchent gagner la partie en suivant des règles du jeu ; élaboration d'une stratégie qui permette à coup sûr de gagner le jeu ; Repérage de lois physiques qui sous-tendent les règles gagnantes, lois qui constituent l'objectif notionnel de la séquence.

Les séquences portant sur la modélisation, mettent également l'accent sur l'activité de modélisation, c'est-à-dire la démarche de construction de modèle par les élèves, plutôt que sur l'acquisition par les élèves d'un modèle déjà établi. Ce type de séance peut par exemple prendre la forme d'un enchaînement de tâches du type (Observation Modélisation, Liaison entre champs empirique et théorique, Enrichissement du modèle), comme c'est le cas de la séance de Larcher et al. (1990).

Les situations problèmes ne correspondent pas à un enchaînement spécifique de tâches. Leur principale caractéristique par rapport aux autres séquences d'enseignement, est la centration forte sur un obstacle à l'apprentissage des élèves. Si les situations adidactiques, les séquences PACS, les situations problématiques ouvertes, les séquences de modélisation sont centrées sur le dépassement d'un obstacle, ces types de séquences sont aussi des situations-problème.

5. Discussion et premières hypothèses : mise en relation des difficultés des enseignants et des types de séquences d'investigation

Le tableau suivant préfigure, de manière spéculative et en appui sur les résultats de la recherche précédemment évoqués, ce qu'une telle mise en synergie (type de séquence d'investigation / difficultés potentielles / conséquences éventuelles sur les enseignements et les apprentissages) pourrait avoir de fécond en tant qu'outil d'aide à la décision des professeurs, quand ils s'engagent dans la mise en place de l'investigation. De même, selon la répartition des responsabilités entre le professeur et les élèves (en terme de buts et de choix des tâches), il pourra exister – pour un même type de séquence d'investigation – un très large éventail de possibles. Ces distinctions feront l'objet d'explorations fines dans notre programme de recherche à venir.

Investigation	Enjeu didactique	Difficultés potentielles	Conséquences potentielles
PACS	Tester la validité des connaissances mise en jeu dans l'argumentation	Spécificité disciplinaire Choix du thème Rupture du contrat didactique	Infondés épistémologiques
Résolution de problème ouvert	Transposer d'un problème concret dans le langage scientifique avec élucidation des variables et invariants et mobilisation d'éléments théoriques	Rupture du contrat didactique Nouveaux outils d'évaluation à construire Conception épistémologiques de l'enseignant	Dérives langagières Infondés épistémologiques Fermeture et rigidification
Situation didactique	Repérer les connaissances (théories et modèles) qui sous-tendent les stratégies qui permettent de « gagner » au jeu	Rupture du contrat didactique Nouveaux outils d'évaluation à construire Gestion de l'imprévu Manque de temps	Infondés épistémologiques Dérives langagières Fermeture et rigidification
Modélisation	Faire construire des modèles par les élèves par mise en relation du champ empirique et du champ théorique	Choix du thème Rupture du contrat didactique Nouveaux outils d'évaluation à construire Conceptions épistémologiques de l'enseignant	Conduites divergentes dans le guidage Infondés épistémologiques
Situations-problèmes	Déstabiliser les conceptions des élèves pour produire un dépassement de l'obstacle épistémologique contenu dans la notion en jeu	Manque de temps Spécificité disciplinaire Choix du thème Rupture du contrat didactique Nouveaux outils d'évaluation à construire Conception épistémologiques de l'enseignant Gestion des erreurs des élèves et de l'imprévu	Conduites divergentes dans le guidage Glissement d'apprentissage et manque de spécificité disciplinaire Dérives langagières Infondés épistémologiques Fermeture et rigidification Ambivalence du guidage (directif/non directif)

Tableau 1. Mise en relation des difficultés des enseignants et des types de séquences d'investigation

La lecture de ce tableau, nous permet d'envisager de premières hypothèses de travail qu'il s'agira de mettre à l'épreuve des pratiques enseignantes.

Il semblerait que les différents types de séquence d'investigation ne présentent pas les mêmes difficultés et que c'est le type d'investigation par « situation-problème » qui représente le plus haut « risque ». Les types « PACS » représenteraient les choix les plus sûrs. Le recueil de données se fera selon le principe suivant : nous allons proposer à des enseignants de mettre en place des séquences d'investigation qui diffèrent les unes des autres selon les caractéristiques citées ci-dessus. Ces enseignants réalisent dans leurs classes les investigations

qui leurs sont proposées en concertation avec le chercheur. Nous recueillerons d'une part la perception que les enseignants ont eu des difficultés qu'ils ont rencontrées, (probablement par un questionnaire listant l'ensemble des difficultés associée une échelle de Likert pour chaque difficulté) et nous procéderons d'autre part à l'analyse didactique de la pratique effective en regard avec des entretiens post-séance pour chaque professeur. Nous pourrions ainsi prendre la mesure de l'écart possible entre les difficultés perçues et les difficultés effectives (en tant qu'obstacle à l'apprentissage des élèves selon les modalités du type d'investigation scientifique envisagée).

La première partie de ce programme de recherche va concerner des professeurs des écoles (néotitulaires et expérimentés) mais néophytes dans l'enseignement des sciences. Cette focalisation nous permettra – au-delà des visées précédemment exposées – de vérifier si les types de séquences d'investigation repérées par Morge et Boilevin (ibid) pour le second degré, restent valides pour le premier degré ou si nous observons des déclinaisons ou encore l'apparition de types inédits et spécifiques du premier degré. Nous réaliserons une collection d'études de cas de manière à produire des tendances dans la mise en relation « type de séquence d'investigation /difficultés perçues/difficultés réelles ».

Notre ambition est donc d'engager des recherches qui pourraient être collaboratives – dans la mesure où les séquences mise en œuvre seront co-construites et reconfigurées avec les professeurs - afin d'aider ces derniers à s'outiller conceptuellement pour être en mesure de dépasser la simple exécution procédurale des prescriptions et entrer ainsi progressivement dans l'enseignement par investigation.

Bibliographie

- Antheaume, P. (2001). Gérer l'imprévisible, se décentrer, se limiter. *Aster*, 32, 181 - 203.
- Bisault, J. et Berzin C (2009), Analyse didactique de l'activité effective des élèves en sciences à l'école primaire, *Éducation et didactique*, 3(2), 81-103.
- Calmettes, B. (2010). Analyse didactique pragmatique de pratiques en démarche d'investigation en physique. Actes du congrès international AREF, Université de Genève, 13-18 septembre.
- Clément, P., Guiu, F. (2000). Pédagogie de projet et éducation à l'environnement : d'où viennent les questions posées par les élèves de CM2 sur le terrain ? *Aster*, 31, 95-120.
- Garcia-Debanc, C., Laurent, D. (2003). Gérer l'oral en sciences : la conduite d'une phase d'émergence des représentations par un enseignant débutant. *Aster*, 37, 109-138.
- Goigoux, R. (2005). Contribution de la psychologie ergonomique au développement de la didactique du français. In A. Mercier & C. Margolinas (Eds.), *Balises en didactique des mathématiques*. Grenoble, La pensée sauvage, pp. 17 - 39.
- Jaubert, M., Rebière, M. & Pujo, J. (2010). Communautés discursives scolaires et formats d'interactions, Colloque International Spécificités et diversité des interactions didactiques : disciplines, finalités, contextes. Lyon, ICAR, Université Lyon2, INRP, CNRS, 24-26 juin 2010.
- Keys, C.W., & Kennedy, V. (1999). Understanding inquiry science teaching in context: a case study of an elementary teacher. *Journal of Science Teacher Education*, 10, 315–333.
- Larcher, C., Chomat, A. & Méheut, M. (1990). À la recherche d'une stratégie pédagogique pour modéliser la matière dans ses différents états. *Revue Française de Pédagogie*, 93, 51-62.

- Lebeaume, J. (2000). Jeux d'étiquettes, jeux de kim, jeux de famille, puzzles ou devinettes à l'école. Découverte du monde, sciences et technologies au cycles II et III. *Aster*, 31, 95-120.
- Lederman, N.G. (2007). Nature of science : past, present, and future. In S.K. Abelle 1 N.G. Lederman (Editors), handbook of research on science education (pp. 831-880). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Marlot, C. (2008). *Caractérisation des transactions didactiques : deux études de cas en Découverte du monde Vivant au cycle 2 de l'école élémentaire*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 2.
- Marlot, C. (2009). Glissement de jeux d'apprentissage scientifiques et épistémologie pratique du professeur au CP. *Aster*, 49. 109-136.
- Marlot, C. & Ligozat, F. (2011). Investiguer un processus biologique avec de jeunes élèves : la sémiotisation du temps dans des contextes d'enseignement préscolaires contrastés. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, n°4.
- Mathé, S. (2010). *La "démarche d'investigation" dans les collèges français : Elaboration d'un dispositif de formation et étude de l'appropriation de cette méthode d'enseignement par les enseignants*. Thèse : Université Paris Diderot-Paris 7.
- Morge, L. (2000). Former les enseignants à interagir avec les élèves en classe de sciences. *Recherche et Formation*, 34, 101-112.
- Morge, L. & Boilevin J.-M. (Dir.) (2007) *Séquences d'investigation en physique – chimie... recueil et analyse de séquences issues de la recherche en didactique des sciences*. Clermont-Ferrand : scérén, Collection : repères pour agir, CRDP d'Auvergne.
- Rocard, M. (2007). Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe. Rapport pour la commission européenne.
- Venturini, P, Calmettes, B., Amade-Escot, C. & Terrisse, A. (2007). Analyse didactique des pratiques d'enseignement de la physique d'une professeure expérimentée. *Aster*, 45, 211-233.

Analyse didactique des programmes français récents de SVT: cas de la plasticité et l'épigenèse cérébrales

**Lassaad Mouelhi, Groupe de recherche EDISVT, ISEFC, Tunis, Tunisie ;
mouelhilassaad@yahoo.fr**

&

**Mondher Abrougui, Groupe de recherche EDISVT, ISEFC, Tunis, Tunisie ;
abrouguimondher@gmail.com**

Mots clés : Épigenèse, plasticité cérébrale, innéisme, constructivisme, darwinisme neuronal

Résumé : Cet article présente les résultats d'une analyse des programmes français de Science de la Vie et de la Terre (SVT). L'analyse porte principalement sur l'étude des contenus des programmes les plus récents et de leurs documents d'accompagnement. Notre investigation didactique est articulée à une grille d'analyse focalisée sur les contenus relatifs aux déterminismes génétiques et épigénétiques des performances cérébrales. Les résultats montrent que les programmes français de 1^{ère}, appliqués de 2001 à 2011, ont commencé à poser, avec les notions d'épigenèse et de plasticité cérébrales, les bases biologiques du constructivisme. Ils le font de façon plus explicite dans la filière littéraire (1^{ère} L) que dans la filière scientifique (1^{ère} S) où ces notions restent encore juxtaposées à celles sur le déterminisme génétique du cerveau et de son fonctionnement, sans interaction claire entre le déterminisme génétique et les processus épigénétiques. Ces interactions sont en revanche relativement assez explicites pour le nouveau programme de 1^{ère} S (appliqué à partir de septembre 2011) en abordant la plasticité cérébrale relative à la perception visuelle et son lien avec un exemple concernant directement des lycéens tel que l'apprentissage de la lecture chez l'homme. C'est un autre pas en avant pour les programmes français pour aborder les interactions complexes entre facteurs génétiques, facteurs environnementaux et comportements de l'individu dans le développement des compétences sensorielles, motrices et cognitives. Cependant, alors que depuis quelques années, le dogme de la biologie moléculaire (l'ADN comme programme génétique) est remis en cause, le nouveau programme de 1^{ère} S continue dans sa première partie à consolider ce dogme. Cette prégnance explicative, à l'insu des concepteurs des programmes, représente un obstacle à l'acquisition des notions relatives au déterminisme biologique des performances cérébrales et des comportements.

1. Cadre théorique et questions de recherche

Les renouveaux considérables actuels des neurosciences (Changeux, 1983, 2002, 2007, 2008 ; Changeux & Ricoeur, 1998 ; Fottorino, 1998 ; Edelman, 1987, 2000, 2007...) tentent de modéliser les interactions complexes entre facteurs génétiques, facteurs environnementaux et comportements de l'individu dans le développement de ses performances cérébrales.

Grâce aux travaux de l'épigénétique, les spécialistes en neurosciences ont mis en évidence que le cerveau ne peut pas se comprendre comme l'effectuation d'un programme génétique. Il s'agit pour Changeux (2008) d'abandonner cette idée de programme génétique pour une conception plus complexe, prenant en compte le développement d'un organisme particulier en interaction avec un environnement donné. Ainsi, au déterminisme simpliste pour lequel à un gène correspond une fonction se substitue une conception plus subtile, « ...qui incite à une observation à la fois plus précise et plus complète de la réalité qui met l'accent sur la contribution des interactions entre cellules dans le développement de l'organisme et la mise en place de la complexité de l'adulte ». C'est une telle conception qui, au passage, rend intéressante l'étude du phénomène d'apprentissage par lequel un cerveau va se singulariser (Changeux, 2008, p. 332). D'ailleurs, Jeannerod (2002) a souligné que la riche diversité des personnalités, des aptitudes et des comportements humains est liée à la singularité du cerveau de chaque individu. Les fascinantes différences neurobiologiques qui existent entre les hommes proviennent de l'interaction entre ce dont ils ont hérité et des influences du milieu. Une fois mises en place les grandes lignes du câblage cérébral, l'activité nerveuse vient graduellement en accroître la précision en ajoutant sélectivement, ou quelque fois en retranchant, des connexions synaptiques dans tout le cerveau en développement. La stabilisation de nos synapses est donc sélective et c'est l'activité des circuits qui est à l'origine de cette sélection.

Dans cet article nous insistons sur l'importance que revêtent certains concepts, entre autres, ceux relatifs à l'épigénèse et à la plasticité cérébrales, non seulement dans les recherches actuelles en neurobiologie mais aussi dans les processus liés à son enseignement. De plus, ces concepts constituent les fondements neurobiologiques du socio-constructivisme auquel se réfèrent la plupart des recherches didactiques traitant cette thématique. Les performances cérébrales sont apprises, construites en s'inscrivant progressivement dans les réseaux neuronaux de notre cerveau. En effet, Le constructivisme peut aujourd'hui s'appuyer sur l'ontogenèse neuronale, la mise en place des synapses, et la constitution des réseaux neuronaux. La neurobiologie sait à présent (depuis Changeux (1983), Jeannerod (1983), Edelman (1987), jusqu'à Delacour (1998), Changeux et Ricoeur (1998), Fottorino (1998), Changeux (2008)...) que tous les cerveaux humains naissent immatures, avec les capacités d'apprendre propres au génome de l'espèce humaine ; mais que nous ne sommes en rien programmés pour parler français ou arabe : nos performances intellectuelles sont toutes liées à nos apprentissages. Le cerveau humain se construit largement en fonction de l'expérience individuelle : c'est l'épigénèse cérébrale.

Coquidé et Tirard (2007) soulignent que « *la neuroplasticité⁶¹ représente un des thèmes en jeu dans l'évolution conceptuelle actuelle qui nous fait abandonner une vision de l'organisme contraint par le déterminisme génétique fort (le « tout génétique ») pour une conception épigénétique* ».

Dans ce contexte, il convient de s'interroger :

Comment les programmes français des *sciences de la vie et de la Terre* (SVT) abordent le déterminisme biologique des performances cérébrales ?

Quelles interactions y a-t-il entre les connaissances scientifiques à enseigner par rapport à ce thème et les valeurs ?

L'élaboration de ces programmes est une étape essentielle de la transposition didactique. La présente recherche s'appuie sur ce cadre théorique de la transposition didactique pour

⁶¹ Selon Gandolfo et Grammont (2005), la neuroplasticité signifie « la capacité de changement du système nerveux, son adaptabilité aux variations des milieux interne et externe ».

analyser les programmes officiels (et leurs documents d'accompagnement) en tant que contenus d'enseignement scientifique dont la construction nécessite la mise en tension de deux contraintes: la première est la vigilance épistémologique, indispensable pour les mettre «sous contrôle» afin d'éviter des ruptures inacceptables avec l'état de la connaissance, la seconde consiste à se défaire de l'idée naïve selon laquelle cette fidélité serait la seule contrainte qui vaille, alors que d'autres pèsent au moins aussi fort, et ne pèsent qu'à l'état masqué puisqu'on n'en prend pas la mesure (Demounem & Astolfi, 1996).

2. Méthodologie

Pour effectuer une analyse critique des contenus liés à l'enseignement du système nerveux à l'école, au collège et au lycée en France, nous nous appuyons sur une grille d'analyse formée d'un ensemble de critères complémentaires. Cette grille est fondée en partie sur des méthodes sémio-linguistiques. Elle comporte essentiellement une identification des messages dans des titres et des sous-titres, dans le texte (technique des termes pivots, Harris 1952, Jacobi 1987, Clément 2002). Les critères d'analyse utilisés dans ce travail ont fait partie d'une grille plus large élaborée dans le cadre d'un projet européen⁶² intitulé «*Biology, Health and Environmental Education for better Citizenship*» (projet de recherche coordonné par Carvalho G., Clément P., Bogner F.), qui a comporté une analyse comparative des programmes et manuels scolaires de 19 pays.

Nous commençons par une première analyse de contenu à partir de la liste des titres (et sous-titres) (**Critère1**). Nous effectuons ensuite une deuxième analyse de contenu à partir des termes-pivots (**Critère2**). Pour identifier les messages privilégiés (ici, interaction des connaissances scientifiques et système de valeurs), nous avons élargi ce type d'analyse du texte aux exemples illustrant les déterminismes génétiques et épigénétiques des performances cérébrales. (**Critère 3**).

Critère 1 : Première analyse de contenu à partir de la liste des titres (et sous-titres)

Une première approche porte sur le libellé des titres et des sous-titres de chaque chapitre abordant le système nerveux. Son but est d'identifier les principaux messages relatifs au déterminisme biologique des performances cérébrales et des comportements privilégiés à travers une analyse de contenu des titres et sous-titres.

Cette analyse de contenu donne une première information sur les aspects conceptuels, liés à la neurobiologie, privilégiés par chacun des programmes. A titre d'exemple, quels sont les concepts neurobiologiques privilégiés à partir de leurs occurrences ?

Critère 2 : Deuxième analyse de contenu à partir des termes-pivots

L'analyse de termes-pivots peut être l'un des instruments qui permet d'identifier les interactions entre les connaissances scientifiques et les valeurs. Elle consiste à rechercher des mots clés (termes-pivots) et leurs reformulations dans des textes. Le choix des termes s'est fait en fonction d'une pré-analyse des textes étudiés. Les termes pivots choisis sont subdivisés en trois groupes en s'appuyant sur l'étude des grands courants relatifs aux théories de l'apprentissage, ce qui permet de les identifier au cours de l'analyse de contenu.

- Le choix du premier groupe de termes-pivots s'appuie sur le courant héréditariste, que je nommerai innéiste, privilégie un déterminisme biologique qui renvoie aux positions innéistes

⁶² Ce projet est élaboré de 2004 à 2008.

du débat inné-acquis, il utilise des expressions comme « programme génétique », « la part des gènes »... La notion de « *programme génétique* » est contestée par la communauté scientifique car l'information contenue dans les gènes n'est pas un programme automatique comme un programme informatique : c'est en fonction de l'environnement, dans toutes ses dimensions, qu'elle s'exprime ou non, et de différentes façons, par des processus épigénétiques. Continuer à n'utiliser que la notion de « programme génétique » relève d'une idéologie réductionniste, déterministe, innéiste (Clément P., 2005). Cette idéologie réduit les émergences cérébrales à des déterminismes génétiques : le cerveau est considéré comme s'il est initialement différencié et simplement aux commandes des comportements, pensées,...

Les termes-pivots indicateurs de la conception innéiste sont donc : « *programme génétique* », *la part des gènes*, *inné*, *pré-établi*, *déterminisme génétique de l'organisation et du fonctionnement du cerveau*...

- Le choix du deuxième groupe de termes-pivots s'appuie sur Le courant behavioriste qui considère le cerveau comme une boîte noire, juste un simple relais entre des stimuli (S) et des réponses (R). Ce courant privilégie la moelle épinière, les réflexes innés ou appris (conditionnement). Il fait référence aux expériences de Pavlov et Skinner.

Les termes-pivots indicateurs de la conception behavioriste sont donc : *conditionnement*, *réflexes*, *Pavlov*, *Skinner*, *habituation*, *dressage*, *Récompense / punition*, *behaviorisme*, *réaction involontaire*, *comportements automatique*...

- Le choix du troisième groupe de termes-pivots s'appuie sur le **courant (socio)-constructiviste** qui correspond aux connaissances actuelles sur la façon dont le cerveau humain apprend en configurant et re-configurant en permanence ses réseaux neuronaux, par épigénèse cérébrale. Une autre facette de ces apprentissages est la plasticité cérébrale, qui insiste sur la souplesse de la structuration du cerveau (notamment humain) en fonction de son histoire.

Les termes-pivots relatifs à ce troisième groupe sont relatifs aux supports neuronaux du constructivisme sont : *Epigénèse*, *Plasticité cérébrale*, *neuroplasticité*, *réseaux neuronaux*, *synapses émergeant de l'apprentissage*, *constructivisme*, *construction cérébrale*, *influence de l'environnement (de chaque histoire de vie) sur la construction du cerveau et/ou de ses performances*, *Structures et/ou performances cérébrales acquises*,...

Critère 3 : Analyse des exemples illustrant le déterminisme biologique des performances cérébrales

Nous tentons d'identifier si les programmes officiels et les documents d'accompagnement des SVT font une dissymétrie dans la présentation du déterminisme génétique d'une part, et de l'épigénèse/plasticité de l'autre. Dans le cas où le premier est affirmé, démontré, illustré par des exemples humains qui concernent tous les élèves et que le second est juste discuté, introduit pour nuancer le premier et illustré par des exemples sur les animaux qui sont étrangers aux préoccupations des élèves. Cette dissymétrie, si elle est repérée, révèle une idéologie implicite innéiste, sans doute à l'insu même des concepteurs des programmes qui semblent avoir cherché à exposer une position synthétique équilibrée donnant la même importance aux déterminismes génétiques et épigénétiques.

3. Résultats et discussion

3.1. Analyse du programme et du document d'accompagnement de 1^{re} S (appliqués de 2001 à 2011)

La présentation générale du programme de sciences de la vie et de la terre de la classe de 1^{re} S (B.O. HS N° 7 du 31 Août 2000) précise l'objectif de l'enseignement du système nerveux : « Une quatrième partie a pour objectif de dégager l'importance de l'expression du génotype et de la plasticité dans la formation du cerveau et dans l'individuation qui en dépend. [...]. La connaissance des phénomènes à l'échelle cellulaire, et des mécanismes explicatifs des processus intégrateurs, permet ensuite de traiter de la part du génotype dans le fonctionnement du système nerveux, et de la neuroplasticité ». Ce paragraphe montre bien que l'épigénèse et la plasticité cérébrale sont enfin intégrées au programme du lycée dans le cadre d'un thème fédérateur de la 1^{re} S commandé par le conseil national des programmes (CNP) « l'articulation génotype/ phénotype ou relations génotype-phénotype-environnement ». C'est la première fois que la neurophysiologie est abordée sous l'angle des déterminismes des phénotypes comportementaux. Cela constitue une rupture avec les programmes antérieurs qui ont propagé à leur insu une idéologie héréditariste, généralement implicite (Abrougui 1997 ; Clément & Forissier, 2000 ; Forissier & Clément 2003). D'ailleurs, depuis longtemps des didacticiens de la Biologie, ont mis en relief l'absence des notions d'épigénèse et de plasticité cérébrale dans l'enseignement secondaire et voire même universitaire (plusieurs filières de la Biologie) (Clément, 1998) ; ils ont suggéré que l'introduction de l'épigénèse et de la plasticité cérébrale dans l'enseignement de la Biologie soit un enjeu à la fois scientifique (la Biologie a actuellement dépassé le stade du tout génétique et le débat inné/acquis (Stewart, 1993 ; Jacquard & Kahn, 2001) et citoyen (car l'insistance unique sur la notion du « programme génétique » renforce l'idéologie héréditariste et justifie le fatalisme) (Clément *et al.*, 2000). L'analyse de l'extrait de la présentation générale du programme cité ci-dessus révèle une conception de la relation génotype, environnement et fonctionnement du système nerveux en termes de « part.» de l'un et la part de l'autre. Cette conception additive sera commentée dans les lignes qui suivent.

3.1.1. Première analyse de contenu à partir de la liste des titres (et sous-titres)

3.1.1.1. Analyse et discussion du titre du thème abordant le système nerveux

Le titre du thème abordant le système nerveux («*La part du génotype et la part de l'expérience individuelle dans le fonctionnement du système nerveux* ») mérite un premier commentaire. Il suggère en effet un modèle additif, qui n'a pas de sens quand il s'agit d'une interaction entre le génome et son environnement (Stewart, 1993 ; Forissier & Clément, 2003). De nombreux scientifiques l'ont souligné à plusieurs reprises : « Pour que la notion de part ait un sens, il est nécessaire que le résultat de la somme des parties puisse s'analyser en termes qui s'ajoutent. Il faut que « le modèle explicatif » soit additif. S'il ne l'est pas, le recours à cette notion ne peut qu'être fautif. [...]. Tel est évidemment le cas lorsque les causes évoquées sont d'une part, le patrimoine génétique, d'autre part les apports du milieu » (Jacquard, 1982, pp. 46). Lorsqu'il y a interaction, les deux parties sont chacune à 100 % nécessaires, l'inné comme l'acquis. Stewart (1993), Jacquard et Kahn (2001) et bien d'autres l'ont à maintes reprises souligné.

La majorité des biologistes sont en accord sur le fait que chez l'homme, la part de l'hérédité et celle de l'environnement ne peuvent pas être considérées comme des variables additives (Jacquard, 1982 ; Clément *et al.*, 1981 ; Stewart, 1993...).

3.1.1.2. Analyse des sous-titres

En analysant la colonne consacrée aux « notions et contenus », on note des titres et des sous-titres mis en relief. Dans ce qui suit, nous nous limitons aux titres en rapport avec l'interaction des facteurs génétiques, facteurs environnementaux dans la construction et le fonctionnement du cerveau :

La part du génotype dans le fonctionnement du système nerveux

Le cortex sensoriel et la plasticité du système nerveux central

L'expression « *la part du génotype* » réapparaît de nouveau, ce qui confirme le recours à un modèle additif pour aborder les relations génotype-phénotype-environnement en abordant le système nerveux et son fonctionnement, déjà signalé en analysant le titre du thème. D'ailleurs dans le document d'accompagnement (p. 1, lignes 10-12), l'idée du modèle additif est renforcée. Nous lisons « *cette partie du programme se termine par l'étude de la neuroplasticité, concept indispensable pour comprendre la part de l'expérience individuelle complétant la part du génotype dans le fonctionnement du système nerveux* ». Ici en plus des expressions « *la part de l'expérience individuelle* » et « *la part du génotype* », s'ajoute l'expression « *complétant* » dans le sens de s'additionnant. Comme si l'expérience individuelle ajoutait son influence sur l'organisation et le fonctionnement du système nerveux après sa construction selon l'unique effet des gènes.

L'analyse des contenus et des notions à aborder selon le texte du programme officiel permettra d'approfondir notre analyse et de confirmer ou d'infirmer les hypothèses émises sur l'origine du titre du thème.

Les objectifs de la partie du programme abordant le système nerveux sont précisés dans l'introduction des contenus et des notions comme suit :

Cette partie du programme a un double objectif :

- d'une part, permettre l'acquisition de notions de base sur la communication nerveuse chez les Mammifères et plus particulièrement chez l'Homme.

- d'autre part élargir la compréhension des relations entre le phénotype et le génotype d'un organisme.

Les réactions comportementales, les représentations du monde que se construit un organisme grâce à son système nerveux sont des aspects de son phénotype au même titre que ses caractéristiques physiques.

Le réflexe myotatique fournit un exemple du déterminisme génétique impliqué dans l'organisation du système nerveux et les propriétés des neurones.

Les approches suggérées de la plasticité du cortex cérébral attirent l'attention sur le fait que depuis le tout début de sa mise en place jusqu'à la mort, l'organisation cérébrale inscrit dans sa structure l'histoire individuelle de l'organisme. Cette épigénèse, permise par les gènes, ouvre l'architecture corticale sur l'environnement physique et social. Elle fait de chaque individu -même les vrais jumeaux- un être cérébralement unique, parce qu'en constante reconstruction.

Extrait du programme officiel de 1^{ère} S (2001), p. 9, lignes 4-14 ; p. 10, 1-2

L'analyse de cet extrait permet d'inférer la logique du thème : selon le programme et son accompagnement «L'existence des réflexes innés chez tous les individus d'une même espèce est une première raison de rechercher un contrôle génétique de ces réflexes. L'ensemble des protéines permettant la mise en place et le fonctionnement d'un réseau de neurones impliqué dans la réalisation d'un réflexe constitue le phénotype à l'échelle moléculaire. De nombreux gènes contrôlent ces protéines. (Accompagnement du programme, p 3, lig. 35-39). Ici, le déterminisme génétique est abordé séparément d'une influence possible de l'environnement. D'ailleurs, le document d'accompagnement du programme utilise le terme « inné ». Le document d'accompagnement précise qu'Il s'agit seulement de comprendre que la part du génotype dans la réalisation d'un phénotype comportemental est forcément complexe et passe par l'expression de très nombreux gènes pour la plupart inconnus. Seuls quelques exemples

de mutations perturbant l'organisation des réseaux neuroniques sont connus et confirment la part du génotype (exemples : formes d'insensibilité congénitale à la douleur chez l'homme, désorganisation de circuits neuroniques du cortex du cervelet chez la souris...) (pp. 30, lignes 7-17 à droite).

Cette partie du programme permet d'élargir la compréhension des relations entre le phénotype et le génotype d'un individu. Notre perception du monde, aspect de notre phénotype, est une "construction cérébrale" résultant de l'activité des assemblées neuroniques corticales. Cette perception est dépendante d'une organisation du cortex (aires cérébrales spécialisées) globalement semblable au sein de l'espèce, mais néanmoins variable d'un individu à l'autre. La mise en place de cette structure corticale résulte d'une interaction entre le génotype et l'environnement. Ici, les concepteurs du programme utilisent même le terme épigénèse qui n'est compatible qu'avec le modèle interactif expliquant les relations génotype/phénotype /environnement « Cette épigénèse, permise par les gènes, ouvre l'architecture corticale sur l'environnement physique et social. Elle fait de chaque individu - même les vrais jumeaux - un être cérébralement unique, parce qu'en constante reconstruction » (programme officiel, p. 221, lignes 13-15). Ce qui introduit le modèle interactif (interaction génotype/phénotype/environnement) alors que, jusque là, n'était exprimé qu'un modèle additif, qu'en retiendront les enseignants et les élèves ?

3.1.2. Deuxième analyse de contenu à partir des termes-pivots

Dans le tableau ci-dessous, nous présentons les occurrences dans le programme de 1^{ère} S (2001) et dans son document d'accompagnement des termes-pivots indicateurs du behaviorisme, de l'innéisme et du constructivisme.

Termes-pivots	Occurrences	
	dans le programme officiel	dans le document d'accompagnement
Réflexe(s)	11	14
La part du génotype	4	5
Neuroplasticité	7	6
Epigénèse	1	0

Tableau 1. Occurrences des termes-pivots et leurs formulations dans le programme officiel de 1^{ère} S (2001) et dans son document d'accompagnement

L'analyse des termes-pivots dans le programme officiel de 1^{re} S et son accompagnement montre la simultanéité d'emploi :

- d'une part de termes indicateurs d'innéisme (inné, la part du génotype),
 - d'autre part de termes indicateurs du behaviorisme (réflexe,...)
- et enfin de termes indicateurs du constructivisme (plasticité, épigénèse ...),

Le terme « épigénèse » est employé dans le programme officiel une seule fois, il est utilisé aussi une fois comme adjectif « épigénétique ». Toutefois, le terme plasticité est utilisé 3 fois avec 4 reformulations. Elle est exprimée aussi en d'autres termes : « Remodelage des connexions synaptiques » et « Réorganisation des tonneaux de vibrisses ».

3.1.3. Analyse et discussion des exemples illustrant le déterminisme biologique de la construction et du fonctionnement du cerveau

Exemple 1 : Analyse de documents relatifs au déterminisme génétique de certaines formes d'insensibilité congénitale à la douleur. (programme, p. 11, tableau, lignes 1-4, à gauche)

S'agit-il d'un déterminisme génétique strict ?

« Dans ce chapitre (Du génotype au phénotype, relations avec l'environnement), on s'attache à la précision du vocabulaire de manière à ne pas utiliser des expressions comme «gène d'une maladie». (Document d'accompagnement de 1^{ère} S, pp. 21, lignes 23-26)

Etant donné que le débat « inné et acquis », est aujourd'hui scientifiquement dépassé, la causalité ontogénétique, mérite d'être abordée avec un nouveau regard. Elle doit faire appel d'abord à tous les travaux qui portent sur les relations entre facteurs génétiques et épigénétiques dans la genèse des phénotypes comportementaux et des structures nerveuses qui les sous-tendent. Les données récentes dans le domaine de la génétique comportementale, c'est-à-dire des relations entre les gènes, la construction du système nerveux et le comportement, fournissent des arguments critiques et décisifs dans notre vision de l'ontogenèse et de la coaction entre maturation et expérience, entre génétique et épigénétique. Même s'il est aisé de démontrer des influences génétiques sur la genèse du système nerveux et les traits de comportement qui en émergent, seule une vision simpliste tend à considérer qu'un gène code pour un caractère et qu'un trait de comportement aurait alors son image génétique traduite ensuite en phénotype. Il n'existe aucune correspondance 1/1 entre gènes et structures nerveuses, mais plutôt des relations multiples qui, à chaque stade du développement, sont guidées et actualisées par des informations épigénétiques. On comprend alors que toute dissociation entre facteurs génétiques et épigénétiques dans les émergences comportementales apparaît comme une approximation purement statistique, dont la validité reste très illusoire au niveau des individus exprimant leur phénotype comportemental singulier.

Exemple 2 : Étude comparée des représentations corticales sensorielles chez deux espèces de mammifères.

Exemple 3 : Étude de la représentation des vibrisses de rongeurs dans le cortex sensoriel et sa modification génétique et épigénétique.

Cet exemple est le plus détaillé dans le document d'accompagnement du programme (voir page 4). Une question s'impose ici : cet exemple a-t-il du sens pour les élèves ? S'agit-il d'une question socialement vive pour eux ? Est-il suffisant qu'un exemple soit bien illustré dans la littérature pour qu'il soit un objet d'un bon choix pédagogique pour aboutir à une formation scientifique et culturelle des apprenants ?

Exemple 4 : Analyse de l'évolution de la représentation corticale des doigts des violonistes,

Exemple 5 : Occupation du "cortex visuel" chez les non voyants... (p. 11, tableau, lignes 5-16 à gauche)

Alors que tous les apprentissages humains (aussi bien moteurs qu'intellectuels : parler, lire, compter, chanter, jouer des instruments...) ne sont possibles que par les processus d'épigenèse cérébrale, au cours desquels se configurent puis se stabilisent plus ou moins nos réseaux neuronaux, les exemples les plus détaillés dans le programme ne concernent que des animaux : les rongeurs, avec l'exemple longuement traité des vibrisses et d'autres mammifères.

Les exemples 4 et 5 sont intéressants à aborder avec les élèves parce qu'il s'agit de sujets à forte charge émotive pour eux, ils sont porteurs de sens.

Le programme de 1^{ère} S (2001) comporte une dissymétrie dans la présentation du déterminisme génétique d'une part, et de l'épigenèse/plasticité de l'autre. Le premier est affirmé, démontré, illustré par un exemple humain qui concerne tous les élèves alors que le second est illustré par des exemples sur les animaux qui sont étrangers aux préoccupations des élèves.

En conclusion, l'analyse critique du programme officiel de SVT de 1^{ère} S (2001) montre que les concepteurs de ce programme en introduisant les notions d'épigenèse et de plasticité cérébrales, ils commencent à poser les bases biologiques du constructivisme. Cependant ces notions ont été juxtaposées à celles sur le déterminisme génétique du cerveau et de son fonctionnement, sans interaction claire entre le déterminisme génétique et les processus épigénétiques.

3.2. Analyse du programme et du document d'accompagnement de 1^{ère} L (appliqué de 2001 à 2011) : analyse du contenu du thème « *la représentation visuelle du monde* »

Les concepteurs du programme de 1^{ère} L (2001) indiquent en introduction que « La représentation visuelle que nous avons du monde extérieur est le fruit d'une construction cérébrale à partir des signaux lumineux que capte notre œil. » (Programme officiel, p. 3, lignes 4-5). Ils ajoutent que ce thème « conduit à souligner l'importance des phénomènes d'intégration qui participent à cette construction cérébrale. Il souligne enfin que chaque cerveau est unique. En effet, bien que construit sur les mêmes bases morpho-anatomiques et fonctionnelles dans une espèce donnée, le cerveau diffère dans le détail d'un individu à l'autre, notamment en raison de la plasticité neuronale qui se manifeste au cours de l'apprentissage et modifie l'organisation des réseaux de neurones responsables de son activité. ».

Enfin un contenu scientifique conforme aux connaissances scientifiques actuelles sur la construction du cerveau et de ses réseaux neuronaux. Les différences individuelles des performances cérébrales sont expliquées à des lycéens littéraires en utilisant des termes simples reflétant une conception constructiviste de l'apprentissage (importance accordée à l'épigenèse et la plasticité cérébrale) et sans contradiction avec « le rôle des gènes » (l'expression « la part des gènes » est évitée) qui n'est en rien contradictoire avec les processus épigénétiques présentés ensuite. Les termes-pivots indicateurs du béhaviorisme ou de l'innéisme en rapport avec le système nerveux sont absents. Les termes-pivots ou les expressions indicatrices du constructivisme, en rapport avec le système nerveux central, dénombrés sont :

Termes-pivots ou expression	Occurrences dans le programme	Occurrences dans le document d'accompagnement
Plasticité neuronale	1	1
Plasticité cérébrale	0	1
Construction cérébrale	3	2
Influence de l'environnement (de chaque histoire de vie) sur la construction du cerveau et/ou de ses performances	1	1

Le programme de 1^{ère} L (2001) a commencé la mise en place des bases biologiques du constructivisme d'une façon plus explicite que celui du programme de 1^{ère} S (2001) analysé plus haut.

3.3. Les nouveaux programmes de 1^{ère} appliqués à partir de septembre 2011

Les intitulés des thèmes et les sous-titres, en rapport avec le déterminisme biologique de la construction et le fonctionnement du cerveau, des nouveaux programmes de SVT en 1^{ère} (BO spécial n° 9 du 30 septembre 2010) révèlent comme le montre le tableau ci-dessous que ces programmes abordent en commun la perception visuelle en intégrant la plasticité cérébrale.

	Titre du thème	Sous-titres relatifs au déterminisme biologique du système nerveux
Programme de 1 ^{ère} S de 2011	<i>De l'œil au cerveau : quelques aspects de la vision</i>	<i>Cerveau et vision : aires cérébrales et plasticité</i>
Programme de 1 ^{ère} ES et 1 ^{ère} L de 2011	<i>Représentation visuelle</i>	<i>aires visuelles et plasticité cérébrale</i>

Le contenu du programme de 1^{ère} S relatif à la neurobiologie est radicalement modifié par rapport à celui abordé dans le programme de 2001 (titre : « *la part du génotype et la part de l'expérience individuelle dans le fonctionnement du système nerveux* ») déjà analysé plus haut. Cette déduction à partir uniquement de l'analyse des titres et des sous titres est confirmée par l'analyse de l'extrait suivant du programme de 1^{ère} S (2011) :

« *La mise en place du phénotype fonctionnel du système cérébral impliqué dans la vision repose sur des structures cérébrales innées, issues de l'évolution et sur la plasticité cérébrale au cours de l'histoire personnelle. De même la mémoire nécessaire par exemple à la reconnaissance d'un visage ou d'un mot repose sur la plasticité du cerveau. L'apprentissage repose sur la plasticité cérébrale. Il nécessite la sollicitation répétée des mêmes circuits neuroniques.* ».

Cet extrait montre que les concepteurs de ce programme, comme pour 1^{ère} L et 1^{ère} ES, ont évité par rapport au programme de 2001 d'une part l'expression « la part des gènes », d'autre part la juxtaposition de l'héréditarisme (réflexe inné, la part des gènes...) au constructivisme (épigénèse et plasticité cérébrales). Les bases biologiques du constructivisme sont ici explicitées en termes simples « *la mémoire nécessaire par exemple à la reconnaissance d'un visage ou d'un mot repose sur la plasticité du cerveau. L'apprentissage repose sur la plasticité cérébrale.* ». Le terme pivot « *plasticité cérébrale* » figure 5 fois dans la page 13 du nouveau programme de 1^{ère} S. De même le nouveau programme de sciences de 1^{ère} L et ES soulignent que « *la reconnaissance d'un mot écrit nécessite une collaboration entre aires visuelles, mémoire et des structures liées au langage* » (p. 2, colonne droite). C'est un autre pas en avant pour les programmes français pour aborder les interactions complexes entre facteurs génétiques, facteurs environnementaux et comportements de l'individu dans le développement des compétences sensorielles, motrices et cognitives. Toutefois, alors que depuis plus qu'une dizaine d'années, le dogme de la biologie moléculaire est remis en cause (loin d'être un programme génétique gouvernant l'organisme, l'ADN est un générateur aléatoire de protéines soumis à des contraintes sélectives imposées par son environnement), le nouveau programme de 1^{ère} S continue dans sa première partie à consolider ce dogme chez les élèves. Cette incohérence se manifeste aussi avec d'autres thèmes du programme de 2011 de 1^{ère} S où nous lisons dans le thème 3-B intitulé « *variation génétique et santé* » : « *Le plus souvent, l'impact du génome sur la santé n'est pas un déterminisme absolu. Il existe des gènes dont certains allèles rendent plus probable le développement d'une maladie sans pour autant le rendre certain. En général les modes de vie et le milieu interviennent également, et le développement d'une maladie dépend alors de l'interaction complexe entre facteurs du milieu et génome*»

4. Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que, si les programmes français de 1^{ère}, appliqués depuis 2001, ont introduit, avec les notions d'épigénèse et de plasticité cérébrales, les bases biologiques du constructivisme. Ils le font de façon plus explicite dans la filière littéraire (1^{re} L) que dans la filière scientifique (1^{re} S) où ces notions restent encore juxtaposées à celles sur le déterminisme génétique du cerveau et de son fonctionnement, sans interaction claire entre le déterminisme génétique et les processus épigénétiques. Ainsi avant 2011, et en

concordance avec les choix de la noosphère qui transparaisent à travers l'analyse menée, il semblerait que les notions d'épigénèse et de plasticité cérébrales sont articulées à des programmes marqués par des dimensions socioculturelles et de ce fait conviennent plus aux élèves de la filière littéraire qu'aux élèves de la filière scientifique. Ainsi certaines lacunes initialement constatées à propos des contenus du programme de 1^{ère} S de 2001 sont relativement levées dans le nouveau programme de SVT de 2011. La plasticité cérébrale est alors abordée en 1^{re} aussi bien dans le programme de la filière scientifique que dans les filières non scientifiques avec un esprit de culture scientifique commune (comme il est indiqué dans le préambule du nouveau programme de 1^{re} S) et non un savoir pointu. A travers le chapitre lié à la perception visuelle, seul chapitre évoquant les notions de plasticité et d'épigénèse cérébrale, les dimensions liées aux interactions complexes entre facteurs génétiques, facteurs environnementaux et comportements de l'individu sont absentes. De plus le texte du programme de 2011 propose un fil conducteur explicatif privilégiant une causalité linéaire allant de l'ADN vers le phénotype alors que le programme de 2001 était clairement organisé, pour la biologie par exemple, autour des relations génotype, phénotype et environnement (fil conducteur). Cela traduit un retour vers des modèles explicatifs liés au dogme du « tout génétique » encore fortement dominant dans l'enseignement des SVT. Cette prégnance explicative, à l'insu des concepteurs des programmes, représente un obstacle à l'acquisition des notions relatives au déterminisme biologique des performances cérébrales et des comportements.

Bibliographie

Abrougui M. (1997). *La génétique humaine dans l'enseignement secondaire en France et en Tunisie. Approche didactique*. Thèse de doctorat : Didactique des disciplines : université Claude Bernard – Lyon 1.

Changeux J.-P. (1983). *L'homme neuronal*, Paris, Ed. Fayard.

Clément P., Blaes N. & Luciani A. (1981). Le mythe tenace du « chromosome du crime » (encore appelé « chromosome de l'agressivité »). *Raison Présente*, 54, pp. 109-127).

Changeux J.-P. (2002). *L'homme de vérité*. Paris : Editions Odile Jacob, (pp. 283-285).

Changeux J.-P. (2007). L'individualité naît de la souplesse neuronale. *La Recherche*, 410, pp. 78-81.

Changeux, J.-P. (2008). *Du vrai, du beau, du bien. Une nouvelle approche neuronale*. Paris, Odile Jacob.

Clément P. (1998). Paradigmes de construction et enjeux citoyens de l'enseignement de la biologie. In : *Premier symposium international de didactique des disciplines* : Tunis 2-4 novembre 1998, pp. 177-191.

Clément P. & Forissier T. (2000). L'identité biologique n'est pas uniquement génétique : un défi pour un enseignement citoyen. In *Actes BioED 2000, MNHN, Paris*.

Clément P. (2002). Methods to analyse argumentation in (more or less) scientific texts. An example: analysis of text promoting Creationism. *Acts of ESERA Summerschool in Lubjana (CD-ROM)*, 7 p.

Clément P. (2005). Sous les sciences, les valeurs. In *Cahiers pédagogiques, n° 443*. Paris : Cercle de recherche et d'Action Pédagogiques (CRAP) Paris.

- Clément P., Mouelhi L. & Abrougui M. (2006). « Héréditarisme, comportementisme, constructivisme : le système nerveux dans les manuels scolaires français et tunisiens ». In Aster, 2006, n° 42, Lyon : INRP, pp. 187-222.
- Coquidé, M., & Tirard, S. (dir.) (2007). *Neuroplasticité. Enseigner de nouveaux savoirs ou un nouveau regard ?* Paris : Vuibert / Adapt.
- Demounem R. & Astolfi J.-P. (1996). *Didactique des sciences de la vie et de la terre, fondements et références*. Paris : Nathan.
- Delacour J. (1998). *Une introduction aux Neurosciences cognitives*. Bruxelles : De Boeck Université.
- Edelman G. M. (1987). *Biologie de la conscience*. Paris : Odile Jacob.
- Edelman G.M. (2000) – Pour une approche darwinienne du fonctionnement cérébral. *La Recherche*, 334, pp.109-111.
- Edelman G.M. (2007). *La science du cerveau et la connaissance*. Odile Jacob, Paris.
- Forissier, T. & Clément, P. (2003). Teaching "biological identity" as genome / environment interactions. *Journal of Biological Education*, 37, 2, pp. 85-91.
- Fottorino E. (1998). *Voyage au centre du cerveau*. Paris : Stock.
- Harris Z. (1952). Discourse analysis. Traduction française dans *Langages*, 13 (1969).
- Jacobi D. (1987). Textes et images de vulgarisation scientifique. Berne : Peter Lang.
- Jacquard A. (1982). *Au péril de la science ? Interrogations d'un généticien*. Paris : le Seuil, p. 46.
- Jacquard A. & Kahn A. (2001). *L'avenir n'est pas écrit*. Paris : Bayard, p. 68.
- Jeannerod M. (1983). *Le cerveau machine*. Paris : Fayard.
- Jeannerod M. (2002). *Le cerveau intime*. Paris : Editions Odile Jacob, pp. 9-10.
- Prochiantz A., (2002). In Yves Michaud (sous dir.) -2002. *Le cerveau, le langage, le sens*. Paris : Odile Jacob. Texte de la 24^{ème} conférence de l'Université de tous les savoirs donnée le 24 janvier 2000.
- Stewart J. (1993). Au delà de l'inné et de l'acquis. In : *Intellectica*, 16 (Biologie et cognition), Paris : CNRS, p. 151-174.

La réalisation d'une exposition traitant du déclin des abeilles : évolution de la prise en compte des controverses sous l'influence des acteurs

**Angélique Moreau, EAM UCBL, S2HEP, Ens de Lyon, Univ. Lyon 1 ;
angelique.moreau@gmail.com**

**Catherine Bruguière, EAM UCBL, ENS S2HEP, Ens de Lyon, Univ. Lyon 1 ;
catherine.bruguiere@univ-lyon1.fr**

&

**Éric Triquet, EAM UCBL, S2HEP, Ens de Lyon, Univ. Joseph Fournier –
Grenoble ; eric.triquet@ujf-grenoble.fr**

Mots clés : Exposition scientifique, questions socialement vives, éducation relative à l'environnement, définition des contenus exposés

Résumé : Notre étude s'intéresse à la production d'une exposition itinérante réalisée dans le cadre du projet Urbanbees. Destinée à un large public, celle-ci porte sur la thématique controversée du déclin des abeilles. Nous étudions la collaboration d'acteurs rattachés à différentes institutions, de recherche, associatives, culturelles ou éducatives, dans le traitement de cette thématique. Le caractère vif de la thématique anime les échanges, mais on note que celui-ci disparaît dans la version finale de l'exposition.

1. Introduction

Notre recherche doctorale⁶³ s'intéresse à la médiation d'une thématique scientifique socialement vive à travers différents dispositifs. Elle s'appuie à la fois sur les recherches relatives à la médiation scientifique, sur les travaux centrés sur l'éducation relative à l'environnement et sur le courant de recherche traitant des questions scientifiques socialement vives (QSSV). Notre terrain d'étude, le projet Urbanbees⁶⁴, comporte une grande opération de médiation sur la thématique controversée du déclin des abeilles. Nous proposons ici d'analyser les échanges entre représentants de différentes institutions, issus à la fois des sciences institutionnelles et des milieux associatifs, culturels ou éducatifs, au cours de la genèse de l'exposition itinérante Urbanbees. L'objectif de notre étude est de montrer en quoi le caractère socialement vif d'une thématique influence le contenu de l'exposition et en quoi le statut des acteurs conditionne la nature des contributions qu'ils proposent.

⁶³ Ce projet est soutenu par la Région Rhône-Alpes (cluster 14).

⁶⁴ Le projet européen Urbanbees (Life+ Biodiversité), qui se déroule de 2010 à 2014 dans l'agglomération lyonnaise, vise à élaborer un plan de gestion pour conserver et favoriser la diversité des abeilles sauvages dans les milieux urbains. L'originalité de ce projet tient au fait qu'il est entièrement couplé à différentes actions de médiation à destination d'un large public.

2. Cadres de référence

2.1. Les questions scientifiques socialement vives dans les expositions

Depuis quelques années, les professionnels de la médiation scientifique, saisis de l'intérêt des publics pour les sciences envisagées comme faits de société, s'investissent dans cette voie en les confrontant à l'incertitude et en les incitant à participer aux débats (Albe, 2008). L'exercice n'est cependant pas aisé pour les musées, historiquement plus enclins à présenter dans leurs expositions un savoir stabilisé au travers de connaissances validées. *De facto*, on peut penser que les QSSV traitées dans les expositions sont bien souvent adoucies, voire dénuées des sujets suscitant le débat⁶⁵. À titre d'exemple, les expositions sur des thèmes environnementaux se révèlent être essentiellement positivistes, sans être présentées comme objet de controverse (Fortin-Debart, 2004 ; Quertier et Girault, 2010, cité par Soichot, 2011). Mais qu'en est-il des QSSV intégrées à des expositions dans d'autres cadres de diffusion des sciences que ceux des musées ? Nous nous interrogeons, à travers l'analyse de l'exposition itinérante *Urbanbees*, sur le traitement d'une QSSV par des représentants de différentes institutions.

Mais une question n'est pas socialement vive par nature. Pour Beitone (2004), elle le devient ou cesse de l'être « en fonction des débats qui traversent la société de façon suffisamment audible pour avoir un impact sur les apprentissages des élèves » ou, comme nous le proposons, sur les visiteurs d'une exposition. Nous émettons l'hypothèse que le traitement de questions vives dans une opération de médiation peut avoir des incidences sur les contributions des acteurs impliqués et donc sur son contenu, les questions vives enseignées comme médiatisées pouvant être alors refroidies ou au contraire réchauffées selon la façon dont elles sont problématisées ou non. Nous étudions dans le cadre de notre recherche la production d'une exposition, un média froid (Rasse, 1999) en prise au traitement médiatique d'une QSSV « chaude ».

2.2. Les postures des acteurs impliqués dans des opérations de médiation

Lorsqu'ils communiquent en direction des publics, les chercheurs déplacent dans l'espace public des enjeux qui leur sont propres. Daniel Jacobi (1984) et Éric Triquet (1993) ont montré, respectivement dans des revues de vulgarisation et dans une exposition scientifique, qu'ils attendent valorisation et reconnaissance de leur contribution, tant dans que hors de leur communauté de pairs. Confrontés au traitement de questions vives, les points de vue et les arguments proposés par les scientifiques entrent alors dans un système de valeurs qui dépasse les propres faits scientifiques (Molinatti, 2007).

Pour l'heure, les recherches menées par les didacticiens sur les QSSV concernent principalement les pratiques d'enseignement, mais elles nous offrent un cadre de réflexion essentiel en ce qui concerne les postures adoptées par les acteurs impliqués dans des opérations de médiation. L'enseignement de controverses ne permet pas à l'enseignant de s'appuyer sur des savoirs stabilisés, il se trouve dans ce cadre face à une diversité de groupes sociaux divisés, chacun d'entre eux produisant des savoirs et des arguments, également marqués par une grande diversité (Legardez & Simmonneaux, 2006 ; Albe, 2009). Aussi, à la complexité et aux controverses propres à la question socioscientifique enseignée, s'ajoute une dimension éducative face auxquelles les enseignants adoptent diverses postures de

⁶⁵ Les musées peuvent proposer une programmation culturelle (conférences, débats...) pour accompagner ou compléter l'exposition. Ces dispositifs sont bien souvent privilégiés pour développer des thèmes qui n'ont pu l'être dans l'exposition et intégrer une dimension plus problématique de la thématique (Lemire et Girault, 2001).

communication didactique, entre enseignement de choix et éducation aux choix (Urgelli, 2009). Quatre formes d'engagement des enseignants sont distinguées : neutralité exclusive, impartialité neutre, partialité exclusive et impartialité engagée (Kelly, 1986 ; Simonneaux et Simonneaux, 2006).

La question de la posture se pose différemment lors de la médiation d'une QSSV puisque les acteurs impliqués dans des opérations de médiation, en particulier les chercheurs, se trouvent au cœur de la controverse et prennent parti d'une façon ou d'une autre dans leurs pratiques professionnelles. Aussi, dans des expositions traitant du changement climatique, Marine Soichot (2011) a montré que les positionnements déclarés par les professionnels sont parfois en contradiction avec les réalisations effectives : une définition dominante du problème est donnée malgré la posture de neutralité revendiquée.

Par ailleurs, le traitement de QSSV dans des opérations de médiation entraîne des collaborations avec des acteurs d'institutions différentes. Si cette ouverture favorise la confrontation des points de vue sur une question controversée, elle renforce également les difficultés de collaboration. Dans le cadre de projets d'éducation relative à l'environnement, Francine Boillot-Grenon (1999) précise que chaque acteur privilégie différemment des finalités éducatives, environnementalistes ou disciplinaires. Elle identifie trois grands types de représentations environnementales, indicateurs des dynamiques qui entrent en conflit au cours de l'élaboration du projet : le statut du progrès scientifique, le rapport homme-nature et la définition de l'environnement. De même, nous considérons que les échanges autour d'une thématique vive peuvent provoquer différents modes d'implication pour les acteurs : ils peuvent être amenés à poser des questions, à transmettre des valeurs, des savoir-faire ou encore des attitudes, ou bien au contraire rester neutres sur les sujets qui leur tiennent à cœur.

3. Objet d'étude : le déclin des abeilles sauvages et les acteurs impliqués dans l'exposition Urbanbees

Le Centre de Culture Scientifique, Technique et Industrielle (CCSTI) du Rhône coordonne la réalisation de l'exposition en sollicitant les acteurs du projet Urbanbees⁶⁶ à l'occasion de cinq réunions de travail (de janvier à juillet 2010). Cette exposition « *a pour but d'expliquer au public le rôle des abeilles pollinisatrices, d'expliquer en quoi la biodiversité est importante et de montrer qu'il y a une réelle perte de biodiversité en ce moment et quels sont les dangers liés à cette perte de biodiversité. Et bien sûr de présenter le projet Urbanbees et d'inciter le public à y participer* »⁶⁷.

3.1. Les causes du déclin des abeilles comme question scientifique socialement vive

Depuis le début des années 1970, les apiculteurs observent une surmortalité des populations d'abeilles domestiques. Les abeilles sauvages⁶⁸ sont également touchées : l'équipe de Biesmeijer (2006) a montré leur déclin, tant en abondance qu'en diversité, en Angleterre et

⁶⁶ Ce projet est construit autour d'un partenariat entre un organisme de recherche scientifique, l'Institut National de Recherche Agronomique d'Avignon (UMR 406 Abeilles et Environnement) ; une association naturaliste, Arthropologia ; une agglomération, le Grand Lyon, à travers son service pédagogique ; et des professionnels de la culture scientifique, le CCSTI du Rhône (Service Science et Société de l'Université de Lyon).

⁶⁷ Propos de la chargée de médiation du CCSTI du Rhône (UL3), recueillis lors de la 3^{ème} réunion de travail (T1).

⁶⁸ Il existe en France près de 1000 espèces d'abeilles, dites sauvages. Solitaires, elles ne produisent pas de miel.

aux Pays-Bas. L'ensemble du projet Urbanbees s'est construit à partir de cette publication scientifique bien qu'il n'existe à ce jour aucune vérification scientifique démontrant ce même déclin en France. Les conséquences d'un tel déclin étant particulièrement inquiétantes⁶⁹, différents groupes d'acteurs s'emparent de cette question pour tenter d'en expliquer les causes. Parmi elles, l'une porte particulièrement à controverse, celle de la responsabilité effective ou non des pesticides utilisés dans l'agriculture. Les recherches scientifiques et les différents rapports d'expertise étant bien souvent en contradiction, agriculteurs, producteurs de pesticides, apiculteurs ou encore associations de protection de la nature se renvoient la balle pour tenter d'expliquer ce déclin.

3.2. Les représentants de différentes institutions et leur contribution dans l'exposition Urbanbees

Nous considérons que les acteurs qui contribuent à la préparation de l'exposition Urbanbees sont à la fois des relais de leur institution (selon leur statut), mais aussi de leur expérience, professionnelle et personnelle, vis-à-vis de la médiation scientifique et de la connaissance des abeilles. La réalisation de l'exposition s'est opérée autour d'une équipe permanente de deux chargées de médiation du CCSTI du Rhône. Les autres institutions, partenaires du projet Urbanbees, interviennent de façon occasionnelle : elles sont représentées par un ou plusieurs interlocuteurs, l'équipe de conception de l'exposition au complet comptant 11 personnes.

Une analyse antérieure⁷⁰ a montré que la thématique du déclin des abeilles ne présente plus son caractère vif dans le cadre de l'exposition Urbanbees malgré un positionnement fort des représentants des différentes institutions en défaveur de l'utilisation des pesticides, jugée cause principale du déclin des abeilles⁷¹.

4. Méthodologie et résultat : quelles postures adoptent les représentants d'institutions différentes lors du traitement de la question du déclin des abeilles dans l'exposition Urbanbees ?

Pour comprendre les mécanismes qui ont conduit à la perte de cette dimension vive, nous avons constitué un corpus composé des enregistrements des cinq réunions préparatoires de l'exposition. Celui-ci est mis en regard avec les différentes versions (intermédiaires et définitive) de l'exposition, analysées à la lumière des échanges de mails entre acteurs au moment de leur relecture et de leurs corrections. Nous retenons dans cette communication deux extraits particulièrement significatifs, prélevés lors de la 3^{ème} réunion de travail (R3) où la définition du contenu de l'exposition porte sur deux modalités : le public ciblé par l'exposition et le ton à privilégier pour parler du déclin des abeilles. Dans ces extraits, interviennent une chargée de médiation du CCSTI du Rhône (UL3) ; un chargé de recherche à l'INRA, spécialiste de la pollinisation (IN1) ; le directeur d'Arthropologia, naturaliste (AR1) ;

⁶⁹ La disparition des abeilles entraînerait une perte de biodiversité, une baisse de la production agro-alimentaire (le service de pollinisation assurée principalement par les abeilles est estimé à plus de 153 milliards d'euros à l'échelle mondiale pour les principales cultures dont l'homme se nourrit) et ainsi des modifications de notre alimentation.

⁷⁰ Ces travaux ont été présentés lors du séminaire doctoral du cluster 14 (Lyon, le 15 juin 2011).

⁷¹ Au préalable, grâce au modèle d'élaboration des îlots de rationalité (Fourez, 1997 ; Bader et Therriault, 2008), une analyse *a priori* de la controverse du déclin des abeilles nous a permis de mettre en évidence le positionnement général des représentants des différentes institutions du projet Urbanbees (étude comparée avec les thèmes généraux abordés au cours des différentes réunions de préparation de l'exposition).

la coordinatrice d'Arthropologia, ethnozoologue (AR2) et un chargé des affaires pédagogiques de la Ville de Lyon (VL). Pour les besoins de cette étude, nous analysons leur positionnement au travers de leurs contributions dans les échanges, selon leur nature (thèmes, questions, savoirs...) et leur contenu (arguments avancés, références convoquées...). Nous regarderons avec quelle vivacité les acteurs s'expriment au sujet de la thématique : s'ils posent des questions, s'ils apportent des éléments de réponse, s'ils s'expriment sur le sujet ou au contraire s'ils l'évitent...

Extrait 1. La responsabilisation des publics : quels publics viser ? (R3)⁷².

- AR1 *Un panneau d'appel à la responsabilisation du public, c'est bien. Mais les agriculteurs et, comment ils s'appellent, les espaces verts, etc. Là, c'est pas le même public, c'est des professionnels, donc ils travaillent à une autre échelle et qui dispensent d'autres quantités de produits ou qui font des dégâts beaucoup plus importants. (T216) [...]*
Et c'est pour ça, un panneau d'appel à la sensibilisation du public, mais tu vois j'aurais bien aussi rajouté et des pouvoirs publics, ou des professionnels. (T224)
- UL3 *& ah oui, d'accord. (T225)*
- AR2 *Il va y avoir d'autres actions dans le projet qui vont cibler ça et là, c'est (T226)*
- AR1 *& bien sûr, mais ce serait dommage de pas le porter (T227)*
- UL3 *& il faut en parler. Non mais t'as raison, je suis d'accord avec toi. (T228)*
- VL *Non mais l'utilisation des pesticides par le public, c'est que dalle. (T229)*
- AR1 *C'est 10%. Avec les espaces verts. (T230) [...]*
- VL *C'est quand même un pourcentage, hein. (T235)*
- AR1 *Ouais, ouais, non mais. Par contre, si tu relativises, avec les surdosages [...]. On arrive à des dosages dans certains jardins, notamment dans des jardins familiaux [...], à 15 à 100 fois la dose qu'on trouve en milieux agricoles. Donc c'est ultra toxique. Donc, effectivement le grand public a tout à fait sa place. Mais je trouverais dommage de pas saisir aussi, parce qu'il y a 75 000 tonnes de pesticides déversés dans la nature, c'est effectivement principalement les professionnels, les agriculteurs en première loge. Donc c'est nous, choix des consommateurs, etc. Espaces verts et jardins, 10% seulement, mais ça fait quand même 7 500 tonnes. Donc, je pense que voilà, pour moi, les pouvoirs publics ils ont un rôle. [...]. Après les agriculteurs, ça se traite différemment. Mais malgré tout, ce serait quand même bien d'inciter. Vu que c'est marqué. Responsabilisation. (T236)*

Extrait 2. Le problème du déclin des abeilles : quel ton donner à l'exposition ? (R3)

- UL3 *Bon alors, ensuite, il va falloir décider sur quel registre on joue. Et je pense qu'il faut éviter le mode alarmiste, mais plutôt utiliser des émotions positives, créer de l'intérêt en provoquant un sentiment d'attachement. (T470) [...]*
Qu'en pensez-vous ? (T474)
- AR1 *Moi, je pense que ne pas alarmer, c'est mentir. Par omission. Ce qui ne veut pas dire qu'on ne peut pas mettre les deux côte à côte, hein. Il y a un constat qui est plus qu'alarmant, c'est la réalité. Après de dire, voilà, on peut sortir les mains des poches et se mettre au boulot avec le sourire, ok. Mais, après dis-moi ce que tu en penses *IN1*, mais je trouve que ce serait limite de pas parler de ce problème qui est quand même majeur dans le maintien de (T475)*
- AR2 *& l'idée, c'est pas de ne pas en parler, c'est d'en parler (T476)*
- UL3 *& c'est de la façon dont on va en parler (T477)*
- AR2 *& mais pas d'acc-, c'est pas juste d'en parler, c'est d'accabler les gens sous un poids, un fardeau, qui du coup, ils vont dire, ouais (T478)*
- VL *& du coup, à être trop alarmiste, tu déclenches une saturation auprès des publics, qu'on voit bien d'ailleurs avec, qu'on a bien vu avec le grenelle 2. (T479) [...]*
- IN1 *Moi honnêtement, et puis je suis désolé, au niveau alarmiste, ce qu'on a vraiment comme données réelles sur la situation des abeilles sauvages en France, je suis désolé, on a zéro chiffre. On a zéro. Donc c'est quand même un peu dommage d'être alarmiste dans ce contexte là. (T486)*

On note que lors de la discussion qui s'intéresse à la responsabilisation des publics dans l'exposition, ciblant initialement un large public, le naturaliste d'Arthropologia (AR1) souhaite communiquer spécifiquement en direction des agriculteurs et des pouvoirs publics. On peut penser qu'en cherchant à s'adresser à différents publics, il désire faire partager le

⁷² Nous indiquons dans ces extraits les tours de parole de chacun des locuteurs (par exemple T216). Virgules et points ne gardent pas leur valeur habituelle, ils représentent des temps d'arrêt plus ou moins long dans la prise de parole. Le signe & marque un enchaînement rapide et les paroles dites simultanément sont soulignées. Les noms sont anonymisés de la façon suivante : *IN1*.

caractère potentiellement vif du sujet traité : plusieurs groupes d'acteurs sont ainsi reconnus par AR1 comme impliqués dans la controverse et susceptibles de faire évoluer la situation en faveur des abeilles. AR1 montre son engagement, son caractère militant : il entend manifestement convaincre les publics, leur faire prendre conscience du caractère urgent de la situation, les amener à participer au projet et à adopter un comportement plus respectueux de l'environnement. Comme nous l'évoquons, la conviction de la dangerosité des pesticides l'emporte pour AR1, il adopte une posture de « partialité exclusive », selon l'expression de L. et J. Simonneaux (2006), pour mener à bien ses objectifs, limiter l'utilisation des pesticides⁷³. Le point de vue adopté par AR1 est un point de vue que l'on peut penser comme dominant dans le milieu naturaliste (Arthropologia mène par ailleurs des actions de sensibilisation sur le déclin de la faune entomologique et la dangerosité des pesticides), il repose sur une finalité environnementaliste qui vise le pouvoir-faire et le vouloir-faire pour des actions en faveur de l'environnement. Il va plus loin en souhaitant alerter, faire prendre conscience de ce problème, il « réchauffe » la question.

Le chercheur de l'INRA (IN1), quant à lui, s'exprime relativement tard dans cette séquence pour mettre un terme à la discussion. Il a plutôt tendance à adopter une posture « d'impartialité neutre » : il émet ses réserves face aux propos d'AR1 en prenant appui sur un argument de poids, l'existence d'aucune donnée admise par la communauté scientifique concernant un déclin des abeilles sauvages en France.

La coordinatrice d'Arthropologia (AR2), la chargée de médiation du CCSTI (UL3) et le chargé des affaires pédagogiques au Service des Espaces Verts de la Ville de Lyon (VL) sont plus modérés. Dans ces extraits, ils apportent seulement leur point de vue sur le ton que doit prendre l'exposition, plutôt que sur le fond de la problématique du déclin des abeilles. De manière générale, nous retrouvons, dans d'autres extraits, qu'ils ont bien souvent une approche consensuelle, ils prennent difficilement parti sur les questions à enjeux.

Or, si la vivacité de la thématique est maintenue lors des réunions de travail, nous devons poursuivre notre étude sur d'autres phases de conception de l'exposition. Nous nous intéresserons en particulier à la phase d'écriture et de relecture des textes de l'exposition prise en charge par les chargées de médiation du CCSTI.

5. Conclusion

Cette analyse nous montre que le caractère vif de la thématique discutée lors d'une réunion de travail est particulièrement porté par deux acteurs qui convoquent des références différentes. Le directeur d'Arthropologia (AR1), qui s'appuie sur des convictions propres aux acteurs du milieu naturaliste, se focalise sur les pesticides et cherche à dénoncer un responsable. Le chercheur de l'INRA (IN1), lui, en se référant à la communauté scientifique, fait preuve d'une vigilance critique par rapport au déclin des abeilles.

Ce travail nous interroge également sur la pertinence de l'exposition, en tant que média froid, dans le traitement de QSSV, c'est pourquoi nous voulons étendre notre réflexion sur des dispositifs plus « chauds » comme les dispositifs de médiation participatifs mis en œuvre dans le cadre du projet Urbanbees. À travers ces dispositifs, nous confronterons le positionnement de ces mêmes acteurs en prise directe avec les publics face au caractère vif de la thématique.

⁷³ Il l'exprime très clairement par la suite : « On peut tout à fait reprendre la phrase de Churchill aussi, quand il l'adressait aux nazis. Nous, on peut l'adresser là aux grandes boîtes agro-chimiques. C'est-à-dire que l'avenir d'un si grand nombre est dans les mains d'un si petit nombre. C'est la deuxième fois on va dire. » (R3-T783).

Bibliographie

Albe, V. (2008). Pour une éducation aux sciences citoyenne : Une analyse sociale et épistémologique des controverses sur les changements climatiques. *Aster*, n°46, 45-70.

Albe, V. (2009). *Enseigner les controverses*. Rennes : Presses universitaires de Rennes.

Bader, B., & Therriault, G. (2008). La démarche de structuration des îlots de rationalité : une approche des QSV soucieuse d'épistémologie des sciences et d'équité en éducation aux sciences, *Efficacité de l'approche des Questions Socialement Vives pour l'éducation à l'environnement et à la durabilité*. Symposium sous la direction de L. Simonneaux & A. Legardez au colloque « Efficacité et équité en éducation », Rennes.

Biesmeijer, J.C., Roberts, S.P.M., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Schaffers, A.P., Potts, S.G., Kleukers, R., Thomas, C.D., Settele, J., & Kunin, W.E. (2006). Parallel declines in pollinators and insect pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, n°313, 351-354.

Beitone, A. (2004). Débattre des questions « socialement vives » ?, *Les Cahiers Pédagogiques*, n°427.

Boillot-Grenon, F. (1999). Clarifier les représentations des partenaires de l'éducation relative à l'environnement. *Aster*, n°29, 61-83.

Fortin-Debart, C. (2004). *Le partenariat école-musée pour une éducation à l'environnement*. Paris : L'Harmattan.

Fourez, G. (1997). Qu'entend par « îlot de rationalité » ? Et par « îlot interdisciplinaire de rationalité » ?. *Aster*, n°25, 217-225.

Jacobi, D. (1984). *Recherches sociolinguistiques et interdiscursives sur la diffusion et la vulgarisation des connaissances scientifiques*. Thèse d'État, Université de Franche-Comté, Besançon.

Kelly, T. (1986). Discussing controversial issues: four perspectives on the teacher's role. *Theory and Research in Social Education*, n°14, 113-138.

Legardez, A., & Simonneaux, L. (2006). (Eds.). *L'Ecole à l'épreuve de l'actualité. Enseigner les questions vives*. Paris : ESF.

Lemire, F., & Girault, Y. (2001). Du musée témoin au musée acteur de la société : l'accompagnement culturel d'une exposition. *La lettre de l'OCIM*, vol.77, 27-34.

Molinatti, G. (2007). *Médiation des sciences du cerveau : approche didactique et communicationnelle de rencontres entre neuroscientifiques et lycéens*. Thèse de doctorat, Muséum national d'histoire naturelle, Paris.

Rasse, P. (1999). *Les musées à la lumière de l'espace public. Histoire, évolution, enjeux*. Paris : L'Harmattan.

Soichot, M. (2011). *Les musées et centres de sciences face au changement climatique. Quelle médiation muséale pour un problème socioscientifique ?* Thèse de doctorat, Muséum national d'histoire naturelle, Paris.

Triquet, É. (1993). *Analyse de la genèse d'une exposition de science. Pour une approche de la transposition médiatique*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon.

Urgelli, B. (2009). *Logiques d'engagement d'enseignants face à une question socioscientifique médiatisée : le cas du réchauffement climatique*. Thèse de doctorat, École Normale Supérieure Lettres et Sciences Humaines, Université de Lyon.

Quertier, E., & Girault, Y. (2010). *Tendances actuelles de la mise en exposition de la biodiversité*. Colloque Éducation au Développement Durable et à la Biodiversité : concepts, questions vives, outils et pratiques, Digne-les-Bains, 20-22 octobre.

Participations à l'expertise collective d'une Question Environnementale Socialement Vive : apports et limites de divers dispositifs en formation d'enseignants de sciences

Olivier Morin, Univ. Lyon1 ; olivier.morin@univ-lyon1.fr

Laurence Simonneaux, UMR EFTS, ENFA, Univ. de Toulouse ; laurence.simonneaux@educagri.fr

&

Jean Simonneaux, UMR EFTS, ENFA, Univ. de Toulouse ; jean.simonneaux@educagri.fr

Mots clés : Questions Socialement Vives (QSV), approche interculturelle, Raisonnement socio-scientifique (RSS), travail collaboratif

Résumé : Face aux controverses des expertises scientifiques mises en débat dans la société, l'enseignement des Questions Socialement Vives (QSV) place l'incertitude et le risque au cœur des processus d'enseignement /apprentissage. L'argumentation mobilise alors de multiples références scientifiques, des savoirs professionnels et sociaux. En réunissant, à l'aide d'un environnement numérique de travail, des étudiants de différentes disciplines ou de continents différents, nous explorons comment les échanges d'arguments depuis divers points de vue favorisent la perception de la complexité des situations/problèmes environnementales. De telles situations d'apprentissage participent à la clarification épistémologique nécessaire pour l'exercice d'une citoyenneté éclairée, critique et active.

1. Contexte et visée théoriques

L'accent mis depuis les années 1990 sur le développement d'une culture scientifique pour tous conduit à s'intéresser aux capacités d'argumentation dans le cadre de débats socio-scientifiques, ces débats étant également considérés comme l'occasion d'apprentissages conceptuels et épistémologiques (Kolstoe, 2001 ; Millar et Hunt, 2002) Parallèlement, l'émergence des recherches francophones sur les Questions Socialement Vives (QSV) est liée à un contexte social marqué par de profondes mutations des rapports entre sciences et société et au contexte éducatif de l'intégration dans les programmes de préoccupations sociales liées aux développements technoscientifiques. Les QSV sont de plus en plus intégrées aux programmes d'enseignement et dans les grandes orientations des éducations à l'environnement, à la durabilité, à l' (éco) citoyenneté, aux choix. L'enseignement des sciences s'inscrit alors dans la perspective d'une éducation citoyenne⁷⁴ qui vise l'exercice du « principe de responsabilité » d'Hans Jonas (1990).

⁷⁴ Avec Sauvé (1977), nous considérons que l'éducation à la citoyenneté implique le développement d'habiletés relatives à la prise de décision quant à l'utilisation des sciences et technologies « en regard d'une certaine qualité de société ».

Dans le monde anglo-saxon, les recherches sur les Socio-Scientific Issues (SSI) sont appréhendées à partir de la didactique des sciences. Zeidler, Sadler Simmon et Howes (2005) montrent que l'enseignement des SSI permet d'intégrer la nature des sciences⁷⁵, l'argumentation et les valeurs. Cette approche est nécessaire à l'engagement et la participation au débat démocratique sur les répercussions des techno-sciences car elle permet de développer des compétences essentielles comme l'aptitude à reconnaître les affirmations pseudo-scientifiques, à appliquer les savoirs scientifiques à la vie quotidienne (Reis, 1997; Bencze, à paraître)

Mais les QSV sont complexes et porteuses d'incertitudes. Nous nous attachons aux questions environnementales socialement vives QESV, c'est-à-dire des situations / problèmes mettant en tension le fonctionnement des écosystèmes et les interventions humaines relatives à la gestion des produits et services de ces écosystèmes. Elles exigent pour leur résolution plus que des solutions scientifiques. Simonneaux & Simonneaux (2009) relient l'identification des risques et des incertitudes à la recherche et l'évaluation de savoirs produits par des producteurs académiques et « non académiques » de savoirs. Habermas (1968) a décrit les conséquences politiques de l'extension de la « rationalité instrumentale » (recherche de la maîtrise des choses, de l'efficacité dans l'action, caractérisant l'essence de la science moderne) au détriment de la « rationalité communicationnelle » (recherche du sens et dimension de débat). En effet, il n'y a pas qu'une seule réponse possible, valide et rationnelle aux QSV (Oulton, Dillon & Grace, 2004, Levinson, 2010), et les décisions ne sont pas réservées aux experts mais concernent tous les citoyens (consommateurs, électeurs, législateurs etc.). Pour Callon, Lascoumes & Barthe (2001), les « forum hybrides » (« forums » parce qu'il s'agit d'espaces ouverts où des groupes peuvent se mobiliser pour débattre de choix collectifs qui engagent le collectif, « hybrides » parce que ces groupes engagés sont hétérogènes, constitués à la fois de scientifiques, de politiques, de techniciens et de profanes qui se sentent concernés) contribuent à l'inventaire de la complexité par celui des intérêts en jeu, des connections entre les problèmes en discussion, des options envisageables. Nous nommons expertise collective le processus par lequel un tel inventaire permet l'intégration raisonnée de savoirs scientifiques dans la prise de décision.

A l'école, le manque d'assurance des enseignants dans l'appréhension des questions controversées et la difficulté à développer les compétences requises chez les élèves rend difficile la formation des citoyens du futur (Aikenhead, 2006). Simonneaux & Simonneaux, (2009) ont montré qu'élèves et étudiants appréhendent les controverses en s'appuyant sur une diversité de références parmi lesquelles les savoirs scientifiques et technologiques ne sont pas les seuls mobilisés, des connaissances profanes jouant un rôle majeur et les prises de position s'appuyant sur des considérations personnelles (pratiques sociales de références, savoirs médiatisés, valeurs voire religion, intégrés dans des représentations sociales). L'enseignant qui donne aux élèves les moyens de construire leur participation à de tels débats doit assumer un double risque : celui de la dérive normative (le politiquement correct), celui de la dérive relativiste (repliement des savoirs sur les opinions). Or les postures épistémologiques des enseignants ne sont pas homogènes⁷⁶. La confrontation à des QSV dans des situations de formation aide à en prendre conscience, en particulier par l'explicitation des arguments que les échanges intersubjectifs rendent nécessaires.

⁷⁵ Pour Popper (1991), une théorie scientifique est toujours la réponse à un problème et ne manque pas de susciter de nouveaux problèmes, de sorte que la « vérité » scientifique ne peut être définitive : Les résultats scientifiques sont soumis à des révisions et des réinterprétations permanentes. Nous appréhendons la Nature des Sciences à partir de la construction des savoirs scientifiques (constructions différentes du fait des différentes épistémologies mobilisées dans LES sciences) intégrant des facteurs humains.

⁷⁶ Nous définissons une posture épistémologique comme une conception privilégiée des fonctions attribuées aux sciences dans la perception du réel et du monde.

2. Question de recherche

Nous considérons que le traitement de la controverse ne peut viser sa clôture, mais aider à construire la complexité de la question. C'est pourquoi notre recherche porte sur l'« expertise collective » des QESV : comment le traitement collectif d'une QESV permet-il l'évolution des raisonnements socio-scientifiques (RSS) ?

Nous analysons la nature des contributions à l'expertise collective dans diverses situations d'échanges, en direct ou grâce à un ENT (environnement numérique de travail) entre des étudiants futurs enseignants de diverses disciplines et de divers continents. Nous émettons l'hypothèse que l'approche interculturelle (interdisciplinaire et/ou internationale) est un levier pour une meilleure appréhension de la complexité et des incertitudes des QESV.

3. Situation didactique et recueil de données

Nous avons travaillé avec des étudiants en quatrième année de l'Ecole Nationale de Formation Agronomique, de l'Université de Deakin (Australie) et de l'Université Claude Bernard Lyon 1, se destinant à l'enseignement des Sciences de l'Environnement (Deakin) de Sciences de la Vie et de la Terre (Lyon 1) d'agronomie, de sciences économiques ou d'éducation socio-culturelle (Enfa). Nous leur avons demandé de rédiger par groupes de 6 à 8 un écrit (wiki) sur une plateforme collaborative (Spiral Connect à Lyon 1, Univert (support moodle) pour l'Enfa et Deakin). Chaque groupe a disposé d'un forum adossé au wiki. Nous leur avons proposé une démarche d'enquête dans une approche proactive (Ladage & Chevillard, 2010) : il s'agit d'envisager l'évolution de la consommation de viande à l'horizon 2050 à l'échelle globale, en regard des prévisions démographiques de l'ONU, des projections de la FAO et des scénarios Agrimonde du CIRAD et de l'INRA (2009). Nous avons choisi la thématique « Nourrir l'humanité » pour son potentiel à favoriser une réflexion individuelle et collective à propos du passage de l'expertise à la prise de position. Chacun peut se sentir concerné : en tant que consommateur inscrit dans le présent de son groupe social, en tant que scientifique détenteur de connaissances plus ou moins actualisées, en tant que « citoyen du monde » impliqué dans une réflexion sur l'avenir.

Les dispositifs étudiés sont des variantes d'un scénario commun : Nous avons proposé dans un premier temps un échange d'opinions au sein de groupes de 4 à 6 étudiants à partir d'une brève présentation de la situation/problème complétée par une revue de presse que nous avons fourni. Ce dossier présente en 4 pages des témoignages divergents sur la consommation individuelle (végétarien ou non) avec des argumentations à propos du bien être animal et des conditions d'élevage, des informations sur les impacts environnementaux de l'élevage (émission de gaz à effet de serre, consommation d'eau, utilisation de surfaces agricoles) des discussions d'effets de la consommation sur la santé et l'évolution humaine.

Les échanges intragroupes ont abouti à la rédaction d'un écrit collaboratif. Afin de privilégier le développement des argumentations, nous avons proposé une structuration des wikis en rubriques : Ce qui rend cette question sensible/ Ce que nous apprennent les personnes concernées/ Dans une recherche de l'intérêt collectif, quelles sont les pistes d'actions possibles ?/ Quelles sont celles que votre groupe retient ? Pourquoi et à quelle(s) conditions(s) ?/Quels sont les points de divergence dans votre groupe autour des actions sélectionnées ?

Dans un second temps, nous avons organisé la confrontation de wikis de groupes différents, et des échanges intergroupes, qui ont donné finalement lieu à la réécriture du premier wiki.

Nous avons procédé à trois sessions : la première en mars 2011 avec deux groupes de 6 étudiants de Lyon 1 (SVT), la deuxième entre avril et juin 2011 avec un groupe de 5 étudiants de l'Enfa (Production Horticole, Production Animale, Education SocioCulturelle) et un groupe de 2 étudiants australiens (Sciences de l'Environnement), la troisième en octobre 2011 avec 11 étudiants de l'Enfa répartis en deux groupes (Production Animale, Production Végétale, Horticulture, Education Socio Culturelle, Sciences Economiques).

Les étudiants de Lyon 1 suivent un master en présentiel sur le campus, ils ont pu débattre oralement lors des rédactions de wikis. Ce fut aussi le cas des étudiants australiens. Les étudiants de l'Enfa suivent un master en Formation A Distance, seuls certains ont pu participer à des débats oraux lors d'un regroupement de début de semestre, la plupart des interactions ont eu lieu sur l'Environnement Numérique de Travail. Ce fut aussi bien sûr le cas des échanges franco-australiens.

Les variantes au scénario commun sont donc i) au niveau de la constitution des groupes (étudiants d'une même discipline ou non, dans l'éducation nationale ou l'enseignement agricole, en France ou en Australie), et ii) au niveau du dispositif d'échanges intragroupes (débat oral et/ou forum de discussions). Dans le cas des échanges internationaux, ils sont en anglais.

4. Méthodologie d'analyse des données

Nous analysons la dynamique des interactions qui a été enregistrée dans l'historique des wikis et des forums de l'ENT pour identifier les aspects de la controverse explorés par les différents groupes et les types de RSS développés.

Dans une précédente recherche, (portant sur des étudiants de différentes disciplines ou d'une même filière universitaire traitant par le débat une authentique situation/problème relative à la lutte contre une espèce invasive), nous avons défini (Morin & Simonneaux, 2010) des indicateurs permettant de caractériser l'évolution des « opinions raisonnées ». Nous suivons l'évolution des RSS grâce à cette grille d'analyse comprenant 6 dimensions (Problématisation, Gouvernance, Echelles, Valeurs, Incertitudes et Savoirs) avec pour chacune des dimensions 4 niveaux de prise en compte de la complexité. Nous avons élaboré une grille croisant la catégorisation de Mercer (1995) sur les types de discours (disputational, cumulative & exploratory talks) et les domaines de validité des arguments selon Habermas (1987) (objectif, subjectif, social)⁷⁷ (Morin & Simonneaux, 2011). Elle fait apparaître le niveau d'intégration des argumentations individuelles dans le raisonnement collectif. Nous proposons dans cette communication une analyse de l'approche de la complexité telle qu'elle se déploie dans les reformulations successives de la problématique par les différents groupes au cours des échanges. Nous nous appuyons sur une analyse « à priori » des aspects de la controverse faisant débat dans l'« acteur réseau » (au sens de Callon) pour dessiner le panorama des questions discutées et suivre les itinéraires de reconfigurations de la controverse durant les interactions entre étudiants. Nous comparons les cheminements dans les divers types de regroupements d'étudiants.

⁷⁷ Dans l'Agir Communicationnel habermassien, les participants reconnaissent intersubjectivement les prétentions à la validité que chacun mobilise. Ils utilisent trois types de prétentions à la validité : l'énoncé est *vrai*, l'acte de parole est *juste* en référence au contexte normatif existant, et l'intention de l'interlocuteur est sincère. Chaque acteur s'engage alors à essayer de comprendre le monde objectif, social et subjectif de l'autre autant que le sien.

5. Résultats

Le corpus de données n'était pas totalement constitué à la date de réponse à l'appel à communication (septembre 2011), les analyses complémentaires sont en cours de réalisation (décembre 2011) et seront présentées au colloque de mars 2012.

Notre recherche préliminaire (2010), nous avait permis d'observer que la maîtrise d'une discipline ouvre la voie à une possible réflexion critique des expertises, mais aussi que l'identité disciplinaire peut installer dans une posture de spécialiste qui limite l'implication dans la controverse. Le débat entre étudiants de diverses disciplines permet un approfondissement des raisonnements, lié à la confrontation d'arguments issus de différents domaines d'expertise.

Nos premières analyses des écritures collaboratives de wikis apportent des résultats convergents, en révélant toutefois une influence nette de l'outil collaboratif (forum et wiki) utilisé : Nous observons que l'environnement numérique s'avère à la fois un support enrichissant permettant des échanges constructifs, et un facteur pouvant limiter les participations. Il est limitant lorsque nous observons une tendance à la recherche de consensus avec évitement des oppositions (pas de « *disputational talk* ») dans les forums, une propension à la répartition des responsabilités aboutissant à une juxtaposition d'éléments (« *cumulative talk* ») au cours de la rédaction des wikis. Il est un levier pour le passage à des « *exploratory talks* » lors des échanges internationaux, qui ont permis de nécessaires dérangements sociocognitifs et l'explicitation des valeurs en jeu. Notre grille de lecture révèle dans les échanges en ligne des épisodes relevant des trois mondes habermassiens. Nous constatons que le croisement des différentes subjectivités est davantage exprimé lors des échanges internationaux dans lesquels les participants affichent plus explicitement leur identité culturelle. Nous observons que les échanges interdisciplinaires - d'autant plus lorsqu'ils sont internationaux- favorisent l'exploration des aspects sociaux de la controverse et des pistes de régulation politique.

6. Conclusion et implications

Cette recherche aide à clarifier les modalités du processus d'intégration de savoirs pluriels (académiques, vernaculaires, locaux...) à la prise de décision citoyenne. Elle ouvre la voie à des stratégies de formation renouvelées. Impliquer les participants dans leur identité citoyenne, par une mise en scène inspirée des « *forum hybrides* », les invite à argumenter leurs prises de position. Tenir une position ou bien arriver à en changer, c'est ajouter au prouvé de la raison l'éprouvé du débat vécu, dans lequel s'expriment aussi des savoirs de vie, des émotions et des valeurs. Les ENT peuvent contribuer aux dérangements sociocognitifs par des approches interculturelles (entendues au sens large : internationales, interdisciplinaires, intersubjectives).

La comparaison des apports et limites de dispositifs d'interactions conduit notre équipe à envisager des scénarios de formation associant les interactions rendues possibles par les supports numériques et les temps de débats en présentiel.

Bibliographie

- Aikenhead, G.S. (2006). *Science education for everyday life : Evidence-based practice*. New York : Teacher College Press.
- Bencze, L. Sperling, E. & Carter, L. (à paraître). Student's research-informed Socio-scientific Activism : Re/vision for a sustainable future. *Research In Science Education*.
- Callon, M. Lascoumes, P. et Barthe, Y. (2001). *Agir dans un monde incertain : essai sur la démocratie technique*. Paris : Le Seuil.
- Habermas, J. (1968). *Knowledge and human interest*. Polity press.
- Habermas, J. (1987). *Théorie de l'agir communicationnel*. Paris : Fayard.
- Kolstoe, S. (2001). Scientific literacy for citizenship: Tools for dealing with the science dimension of controversial socio-scientific issues. *Science Education*, 85(3), 291-310.
- Jonas, H. (1990). *Le principe responsabilité Une éthique pour la civilisation technologique*. Paris : Editions du Cerf.
- Ladage, C. & Chevallard, Y. (2010). La pédagogie de l'enquête dans l'éducation au développement durable, Colloque international « Education au développement durable et a la biodiversité » IUT de Provence, Digne les Bains, 20-22 octobre 2010.
- Levinson, R. (2010). Science education and democratic participation : an uneasy congruence ? *Studies in Science Education*, 46 (1), 69-119.
- Mercer, N. (2000). *Words and Minds: how we use language to think together*. London: Routledge.
- Millar, R. & Hunt, A. (2002). Science for public understanding: A different way to teach and learn science. *School Science Review*, 83(304), 35–42.
- Morin, O. & Simonneaux, L. (2010). Caractérisation de raisonnements socioscientifiques dans une perspective d'éducation au développement durable. Actes du congrès international de l'Actualité de la Recherche en Education et en Formation. 13 au 16 septembre 2010, Genève.
- Morin, O. Simonneaux, L. Tytler, R. & Simonneaux, J. (2011) A framework for considering cross-cultural exchanges as a way to develop reasoning about environmental socioscientific issues. Actes du colloque international European Science Education Research Association : Science learning & citizenship . 5 au 9 septembre, Lyon.
- Oulton, C. Dillon, J. & Grace, M. (2004). Reconceptualising the teaching of controversial issues. *International Journal of Science Education*, 26(4), 411–423.
- Popper, K.R.(1991). *La connaissance objective*. Paris : Complexe.
- Reis, P. (1997). A promoção do pensamento através da discussão dos novos avanços na area da biotecnologia e da genética. [Promoting thinking through the discussion of new proposals in the area of biotechnology and genetics]. Master Thesis in Science Education, University of Lisbon, Faculty of Sciences, Department of Education.
- Sauvé, L. (1977). *Pour une éducation relative à l'environnement*. Montréal : Guérin.
- Simonneaux, L. & Simonneaux, J. (2009) Student's Socio Scientific Reasoning on controversies from the viewpoint of Education for Sustainable Development *Cultural Studies of Science Education*, 4, 3, 657-687.
- Zeidler, D.L. Sadler T.D., Simmons M.L., Howes E.V.(2005). Beyond STS : A research framework for socioscientific issues education. *Science education*, 89.

PCK des enseignants relatif au concept avancement chimique : Cas des enseignants de sciences physiques tunisiens de la classe quatrième année scientifique

Ali Nouri, Institut supérieur de l'Education et de la Formation Continue de Tunis, Laboratoire EDIPS ; alinouiri@yahoo.fr

&

Chiraz Ben Kilani, Institut supérieur de l'Education et de la Formation Continue de Tunis, Laboratoire EDIPS ; Chiraz.BenKilani@isefc.rnu.tn

Mots clés : PCK –avancement chimique – difficultés d'apprentissage

Résumé : Ce travail s'inscrit dans le cadre des recherches essayant d'explorer les connaissances des enseignants sur l'avancement chimique et sur les difficultés des élèves lors de l'apprentissage de ce concept. Nous utilisons le cadre théorique des PCK (Pedagogical Content Knowledge) pour l'identification de ces connaissances. L'approche méthodologique à base des entretiens avec dix enseignants de sciences physiques tunisiens de la classe quatrième année scientifique, montrent que les difficultés des élèves sont quasiment méconnues par les enseignants et que les connaissances de ces derniers sur l'avancement se résume à lui donner un sens mathématique. Ils affirment que la corrélation de ce concept avec son tableau lui attribut un caractère technique et procédural. Quelques implications au niveau de la formation des enseignants, de la conception du programme et du manuel scolaire seront envisagées.

1. Introduction

Les recherches sur les connaissances des enseignants se sont beaucoup intéressées au problème de rendre efficace l'enseignement des sciences expérimentales (Roletto, 1998). En effet, si tenir compte des représentations est indispensable pour « bien » enseigner, les recherches ont montrés que, pour bien former, il est essentiel de tenir compte des pensées et des connaissances des enseignants (Tochon, 1992). La spécificité des taches d'enseignement est qu'elle couvre deux champs de pratiques différentes mais interdépendantes, la didactique et la pédagogie (Altet, 1996). Enseigner un concept en chimie comme l'avancement chimique est beaucoup plus que la connaissance scientifique sur ce sujet. Il s'agit d'avoir une connaissance suffisante pour combiner les contenus et la pédagogie afin d'améliorer la qualité de l'enseignement (Budak et Köseoglu, 2008).

2. Contexte éducatif

L'avancement chimique est introduit en 2007 dans le programme de chimie de la classe quatrième année secondaire scientifique (classe terminale) en Tunisie, pour montrer aux élèves comment suivre l'évolution des quantités de matière des entités chimiques présentes à chaque instant dans un système. L'analyse du programme officiel et du manuel scolaire⁷⁸ des classes terminales nous a permis de constater que la définition de l'avancement chimique proposée peut poser une ambiguïté « *L'avancement d'une réaction, noté x , est le nombre de fois que la réaction a marché depuis l'état initial* ». C'est une notion importante en chimie quantitative. En effet, quelle que soit la difficulté de l'exercice quantitatif mettant en jeu une réaction chimique, l'outil avancement de la réaction et son tableau sont majoritairement utilisés (Ducamp, Rabier, 2005). Les études ont montré que les enseignants utilisent le manuel scolaire et le programme comme deux sources essentielles pour l'enseignement de l'avancement chimique (Ducamp, 2003). De plus plusieurs aspects de l'avancement chimique associés à son tableau semblent poser des difficultés d'apprentissage et de compréhension aux élèves comme l'indique un bon nombre de recherches, (Hackling & Garnett, 1985; Banerjee, 1991 ; Le Maréchal et al, 2004 ; Ducamp & Rabier, 2007). On pense alors en droite ligne avec l'étude réalisée par Ducamp, (2003), que les enseignants auront à enseigner une notion abstraite, mal définie et mal maîtrisée.

Nous essayons d'explorer les connaissances professionnelles des enseignants de sciences physiques tunisiens de la classe quatrième année scientifique sur le concept avancement chimique. En particuliers les questions suivantes seront explorées : **Que « signifie » l'avancement chimique chez ces enseignants ? Quelles sont leurs connaissances à propos de ce concept ? Est-ce qu'ils connaissent les difficultés des élèves à propos de l'avancement chimique ?**

3. Cadre théorique

Nous choisissons dans notre recherche le cadre théorique des PCK (Pedagogical Content Knowledge). En effet, le PCK a été proposé comme un modèle fiable pour la réflexion sur les connaissances que les enseignants en sciences occupent ou devraient élaborer, pour que leur enseignement soit efficace (Abell, Smith, Schmidt, & Magnusson, 1996; Smith, 2000). Shulman présente le PCK comme un domaine particulier de la connaissance "qui va au-delà de la connaissance de la matière en soi à la dimension de connaissance de la matière pour l'enseignement"(Shulman, 1986). Le fondement de PCK est considéré comme étant "*that special amalgam of content and pedagogy that is uniquely the province of teachers, their own special form of professional understanding*" i.e c'est l'amalgame extraordinaire de contenu et la pédagogie, unique chez les enseignants, c'est leur forme propre de la compréhension professionnelle (Shulman, 1987). Cette notion est interprétée de différentes manières depuis la définition donnée par Shulman. Veal et al, (1999) décrivant le PCK comme étant la synthèse de trois connaissances : connaissance du sujet (Subject Matter knowledge SMK), connaissance pédagogique (Pedagogical knowledge PK), et la connaissance du contexte (Knowledge of context KofC). Grossman (1990) et plus tard Magnusson, et al (1999) décrivent outre le PCK, les différents domaines de connaissance d'un enseignant de science et la relation des différentes composantes que forment les PCK. Ils ont mentionné que le PCK se

⁷⁸ En Tunisie, il s'agit d'un seul manuel scolaire adopté dans toutes les circonscriptions et publié par le ministère de l'éducation.

compose de cinq éléments: (a) les orientations vers l'enseignement des sciences, (b) la connaissance des programmes, (c) la connaissance de l'évaluation, (d) les stratégies d'enseignement des sciences, et (e) la connaissance des difficultés d'apprentissage des élèves.

Rollnick et al, (2008), présentent une nouvelle description du PCK en tant que: *“In simple terms, PCK can be described as how teachers teach their subject by accessing what they know about the subject, the learners they are teaching, the curriculum with which they are working, and what they believe counts as good teaching in their context”*. Ces auteurs proposent ainsi un modèle constitué par les domaines de la connaissance des enseignants et leurs manifestations dans la salle de classe. Les domaines de la connaissance des enseignants regroupent quatre domaines fondamentaux de connaissances à savoir la connaissance du sujet (SMK), les connaissances des élèves (Knowledge of students KofS), les connaissances pédagogiques générales (General pedagogical knowledge GPK) et les connaissances du contexte (KofC). Les observables ou les manifestations comprennent les représentations, les stratégies d'enseignement d'un sujet précis, l'évaluation ainsi que les parties remarquables du programme qui attirent l'attention. Mais malgré cette multitude des définitions du PCK et les modifications apportées par les uns et les autres à la définition originale tous les spécialistes s'accordent sur les deux principes de Shulman à savoir la connaissance des représentations du sujet (SMK) et la connaissance des difficultés d'apprentissage des élèves (KofS) (Driel et al, 1998). Cette étude s'intéresse donc spécifiquement à ces deux connaissances à propos du concept avancement chimique.

4. Recherches antérieures sur les difficultés des élèves

Le concept avancement chimique associé à son tableau semble causer des difficultés pour les élèves (Ducamp, 2003 ; 2007), en effet cette notion n'a pas de sens chez les élèves du terminale (Le Maréchal et al, 2004). Un bon nombre de recherches en didactique indiquent les difficultés conceptuelles des élèves, qui peuvent être répertoriées comme suit :

- Les élèves n'arrivent pas à distinguer entre la vitesse et l'avancement dans une réaction chimique (Hackling & Garnett, 1985; Banerjee, 1991).
- Il y a souvent une ambiguïté entre l'avancement final de la réaction et l'avancement maximal. (Le Maréchal et al, 2004).
- L'avancement n'est pas égal à la quantité de matière du produit présent mais à celle du produit formé (Le Maréchal et al, 2004).
- Si la transformation évolue dans le sens inverse, l'élève ne maîtrise pas le remplissage du tableau d'avancement (Le Maréchal et al, 2004).
- Les concepts de réaction chimique comme la mole, la stœchiométrie et la quantité de matière ne sont pas mieux maîtrisés avec l'utilisation de l'avancement chimique (Ducamp et Rabier, 2007).
- L'avancement chimique implique chez les élèves une méthode de résolution des exercices basée sur l'utilisation des algorithmes (Ducamp et Rabier, 2005).

Très peu d'articles ont traités les difficultés d'enseignement de cette notion. Ducamp, (2003) montre dans une étude sur les pratiques déclarées des enseignants français de seconde et du cycle scientifique qu'ils utilisent le manuel scolaire et le programme comme deux sources essentielles pour l'enseignement de cette notion et que ces enseignants estiment qu'ils enseignent une notion abstraite, mal définie et mal maîtrisée.

5. Analyse du programme officiel et du manuel scolaire

Le programme officiel tunisien de chimie de la classe terminal scientifique couvre quatre thèmes, qui sont par ordre, la cinétique chimique, les équilibres chimiques, les réactions acide base et les piles. Les concepteurs du programme introduisent le concept avancement chimique au premier chapitre de la partie cinétique chimique sans le définir ni indiquer la présence de son tableau.

De son côté l'analyse du manuel scolaire de cette même classe a relevé que le concept avancement chimique et son tableau sont omniprésents dans le manuel. Cependant, la définition proposée par ce manuel suscite une polémique dans le milieu des enseignants du terminal scientifique. En effet, ce concept est introduit de façon à favoriser le registre macroscopique au détriment de celui microscopique « le nombre de fois que la réaction a marché ». En plus, le manuel ne propose aucune méthode explicite permettant à l'élève de remplir le tableau associé à ce concept.

6. Méthodologie

Nous avons adopté une méthodologie qualitative basée sur des entretiens individuels avec dix enseignants (P1, P2,.....P10) dont les expériences professionnelles varient de 9 à 33 ans. Ces enseignants (quatre femmes et six hommes) sont titulaires et confirmés. Deux critères sont intéressants à considérer dans notre choix. D'une part, la volonté de l'enseignant et son engagement sont primordial pour une telle recherche. D'autre part, nous nous sommes intéressés à ceux qui enseignent les classes terminales. Les enseignants conservés doivent avoir dans leur tâche une classe de terminale scientifique, car c'est à ce niveau qu'a lieu l'introduction de l'avancement chimique. Les entretiens réalisés ont duré entre cinquante minutes pour les plus courts et une heure et demi pour les plus longs. Le protocole d'entretien est constitué de trois sortes de questions : des questions ouvertes, des questions semi-ouvertes et des questions fermées. Les entretiens avec les enseignements s'articulent autour de deux thèmes: connaissances sur le contenu disciplinaire (SMK) et connaissances sur les difficultés des élèves. Dans la première partie de chaque entretien avec un enseignant, nous avons posé quatre questions dans le but de connaître ses connaissances sur le sujet avancement chimique et le sens qu'il lui donne à ce concept. Dans la deuxième partie de l'entretien, nous avons posé deux questions pour savoir les connaissances de l'enseignant sur les difficultés de leurs élèves et la façon dont ceux-ci l'utilisent au cours de la résolution des exercices quantitatifs. Le choix des questions est pris en s'inspirant des questions (Loughran et al, 2004), ceux de (Olneira I, 2008), et ceux de (Ducamp Ch, 2003). L'analyse des réponses aux différentes questions nous a permis d'inférer les domaines de connaissances de leur PCK mentionnées ci-dessus.

7. Résultats et discussion

7.1. Connaissances du contenu disciplinaire (SMK)

Q1 : Quelles ressources documentaires mobilisez-vous le plus pour élaborer les contenus de votre enseignement sur l'avancement chimique ?

Les résultats concourent pour dire que quatre sources sont essentielles : le programme officiel, le manuel scolaire, les manuels français et l'internet. Les discussions révèlent que le manuel scolaire est majoritairement utilisé par les enseignants. En effet, ils sont convaincus de sa fiabilité vu qu'il est conçu par une commission d'inspecteurs. En plus, ils veulent s'assurer de la conformité des savoirs proposés avec ceux indiqués dans le programme officiel. Certains enseignants utilisent les manuels français pour « approfondir » leurs cours. D'autres, se servent d'autres sources documentaires particulièrement les paras scolaires et les sujets du baccalauréat afin de préparer les exercices sur l'avancement chimique à leurs élèves.

Q2 : Comment vous introduisez la notion de l'avancement chimique à vos élèves ? Ce choix est influencé par quoi ?

Concernant l'introduction de ce concept, nous avons constaté que la majorité des enseignants (sept sur dix) suit la démarche proposée par le manuel scolaire. Cette démarche est basée sur l'introduction d'une définition, suivie de la réalisation de l'expérience soit, l'oxydation des ions iodures par les ions peroxodisulfates, soit la décomposition de peroxyde d'hydrogène. Les enseignants se sentent « rassurés » par l'utilisation de ce manuel puisqu'il les aide à faire circuler des savoirs institutionnels. Nous avons trouvé une tentative d'innovation chez un enseignant interviewé. Il introduit le concept avancement d'une façon intuitive. Il propose à ses élèves l'exercice de fabrications des sandwiches comme activité d'apprentissage. Cet enseignant déclare, en se basant sur sa longue expérience que c'est la seule méthode pour aider les élèves à appréhender cette notion. Signalons que certains enseignants prennent le soin, avant d'introduire l'avancement chimique, de rappeler certains pré-acquis d'élèves concernant, le réactif limitant, quantité de matière, réaction totale...

Q3 : Comment vous définissiez l'avancement chimique à vos élèves ? Pensez-vous que la définition recommandée par le manuel scolaire permet d'expliquer aux élèves l'avancement chimique ?

Les résultats des discussions menées avec les enseignants prouvent que la majorité adopte la définition proposée par le manuel malgré le refus et le rejet qu'ils éprouvent envers cette forme de définition. En effet, le manuel définit l'avancement chimique comme étant le nombre de fois que la réaction a marché depuis l'état initial. Certains enseignants se blâment de la contradiction dans cette définition entre d'une part, l'avancement est un nombre de fois et d'autre part son unité qui est la mole. D'autres, évoquent les difficultés qu'ils rencontrent avec leurs élèves lors de l'exposition de cette définition. On a constaté une innovation chez un enseignant qu'il choisit une autre définition pour s'échapper « du nombre de fois que la réaction a marché » L'avancement d'une réaction est la quantité de matière formée (ou réagit) de tout produit (ou réactif) de la réaction dont le nombre stœchiométrique dans l'équation est 1.

En conclusion, malgré que les enseignants refusent en majorité la définition proposée par le manuel scolaire, ils l'adoptent dans l'introduction de ce concept à leurs élèves et n'essayent pas de remédier cette lacune.

Q4 : Que représente pour vous le concept avancement chimique ?

Nous avons constaté encore que la majorité des enseignants interrogés (sept sur dix) pensent que cet outil est plutôt mathématique. Il « n'a aucun sens en chimie » pour certains, pourtant qu'il s'agit d'un outil « rassurant » et un « facilitateur de calcul » pour certains d'autres. Cet outil par sa corrélation avec le tableau d'avancement prend pour certains enseignants l'aspect technique et procédural puisqu'on doit apprendre à l'élève des techniques et des procédures lui permettant de pouvoir remplir le tableau.

7.2. Connaissances sur les difficultés des élèves

Q1 : Quelles sont les difficultés que vous attendiez de l'élève ?

Les enseignants ne sont pas unanimes dans la citation des difficultés des élèves. Sur dix enseignants, deux enseignants déclarent que les élèves n'ont pas de difficulté à propos de l'avancement. Six entre eux mentionnent une seule difficulté des élèves et deux enseignants signalent la présence de deux difficultés. Les enseignants connaissent mal les difficultés de leurs élèves à propos de ce concept. Ils ignorent même l'existence de certaines difficultés comme l'ambiguïté entre l'avancement et la vitesse de la réaction. En revanche, ils nous éclairent des éventuelles difficultés que les élèves éprouvent. La plus citée est celle concernant la mauvaise manipulation des coefficients stœchiométriques lors du remplissage du tableau d'avancement. Aussi, ils déclarent d'autres difficultés telles que : la confusion entre l'avancement x et la quantité de matière de réactif restant.

Q2 : Est-ce que vous avez pu voir la manière dont les élèves utilisent ce concept ?

La quasi-totalité des enseignants interviewés affirme l'existence d'une corrélation entre le concept avancement chimique et son tableau. Ils sont donc obligés d'initier à leurs élèves des techniques et des procédures, conformes aux préconisations du manuel scolaire, leur permettant de remplir correctement ce tableau. Les élèves schématisent un tableau à trois lignes où ils notent dans la première les quantités de matières à l'état initial, dans la deuxième ils indiquent l'état intermédiaire et enfin pour la troisième ligne ils marquent l'état final du système chimique et éventuellement ils peuvent utiliser une quatrième ligne pour marquer les quantités de matière pour un état correspondant à un instant bien précis. Ces techniques et procédures ramènent les élèves à s'appuyer de la méthode algorithmique pour résoudre les problèmes en chimie, comme la signalée (Ducamp C, 2005).

8. Conclusion et perspectives

Concernant les connaissances du sujet SMK, nous constatons que la majorité des enseignants puisent leurs connaissances sur l'avancement chimique à partir du manuel scolaire, malgré qu'ils blâment certaines imperfections existantes. Les enseignants perçoivent l'avancement chimique comme un outil mathématique, n'ayant pas de sens en chimie, rassurant et facilitateur de calcul. Ils affirment que la corrélation de ce concept avec son tableau lui attribue un caractère technique et procédural. Au niveau des difficultés des élèves citées dans le cadre théorique, elles sont quasiment méconnues par les enseignants. Cependant, d'autres difficultés émergent comme, la confusion entre l'avancement et la quantité de matière de réactif restant, la différenciation entre la réaction à suivre et celle du dosage par laquelle on suit pour les réactions proposées dans le programme ou bien l'amalgame entre le taux d'avancement et le taux d'avancement final de la réaction.

À l'issue de ce travail nous pouvons envisager quelques implications sur plusieurs niveaux. Au niveau de la formation des enseignants, Les résultats obtenus dans cette recherche viennent éclairer un cadre de référence possible pour, d'une part, accompagner les enseignants au développement des connaissances professionnelles sur le sujet de l'avancement chimique. D'autre part à les consolider afin de les aider dans la conception et la réalisation des séquences d'apprentissage où les difficultés des élèves font l'objet d'une attention particulière. Une attention doit être accordée au programme officiel afin d'explicitier d'avantage les connaissances et savoir – faire exigibles concernant ce concept et favoriser l'autonomie des enseignants dans la préparation des activités d'apprentissage. Une réflexion particulière doit être portée sur la conception et l'élaboration du manuel scolaire que se soit au niveau de contenu ou bien des stratégies d'apprentissage puisque les enseignants construisent leurs cours principalement à partir de lui.

Bibliographie

- Abell, S. K., Smith, D. c., Schmidt, J. A, & Magnusson, S. J. (1996). Building a pedagogical content knowledge base for elementary science teacher education. *Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching*, St. Louis.
- Altet, M.(1996). Les compétences de l'enseignant-professionnel : entre savoirs, schèmes d'action et adaptation, le savoir-analyser, in Paquay, L., Altet, M., Charlier, E. et Perrenoud, Ph. (dir.), *Former des enseignants professionnels. Quelles stratégies ? Quelles compétences ?* Bruxelles, De Boeck, p. 27-40.
- Banerjee, A.C. (1991). "Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium". *International Journal of Science Education*, 13, 487-494.
- Budak, E. et Köseoglu, F. (2008). "what concept maps tell us about changes in pedagical content knowledge of perspective chemistry teachers participating in quiry based workshop?" *Conference on Concept Mapping*, A. J. Cañas, P. Reiska, M. Åhlberg & J. D. Novak, Eds. Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland 2008.
- Ducamp, Ch. (2003). "L'avancement chimique dans les nouveaux programmes de lycée", Communication orale avec actes aux 3^e rencontres scientifiques de l'ARDIST Toulouse, 8 au 11 Octobre 2003, pp. 141-148.
- Ducamp, Ch. et Rabier, A. (2005). Utilisation de l'outil avancement de réaction en classe de première scientifique, *actes de MIEC-JIREC* 01-03 Juin 2005 à Autrans.
- Ducamp, Ch. et RABIER, A. (2007). "Evaluation de la maîtrise de l'outil avancement de réaction pour les élèves de première scientifique", *BUP*, n°892, pp.319-332.
- Hacking, M. W. & Garnett, P.J. (1985). Misconceptions of chemical equilibrium. *Journal of Science Education*, 7, 205-214.
- Grossman, P.L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press.
- Laugier, A. et Dumont, B. (2004), Mise en place de situations problèmes pour l'apprentissage de la stœchiométrie en classe de seconde, *Didaskalia*, 25, 117-141
- Le Maréchal, J.-F., Perrey, S., Roux, M., & Jean-Marie, O. (2004). Tableau d'avancement : avantages et difficultés au long de la scolarité. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, vol. 98, n°867, 1399-1410.

Loughran, J.J., Mulhall, P, and Berry, A. (2004). In search of Pedagogical Content Knowledge in Science: developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (4), 370-391.

Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education*. Boston: Kluwer , 95-132.

Olneira, I., (2008) *Exploration de pratiques d'enseignement de la proportionnalité au secondaire en lien avec l'activité mathématique induite chez les élèves dans des problèmes de proportion*, th Doctorat, Université du Québec à Montréal, 2008.

Roletto, E. (1998). La science et les connaissances scientifiques, *Aster*, 26, 11-30.

Rollnick, M., Bennett, J. B., Rhemtula, M., Dharsey, N. and Ndlovu, T. (2008). The place of subject matter knowledge in PCK: A case study of South African teachers teaching the amount of substance and equilibrium. *International Journal of Science Education* 30 (10), 1365-1387.

Rouquerol F et Laffitte M. (1985), Plaidoyer pour l'utilisation chimique. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, n° 674, 1073-1085.

Rouquérol, F., Scacchi, G (1993), Présentation unifiée de la vitesse de réaction indépendamment du type de réacteur utilisé fermé/ouvert, *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, n° 752, 383-400

Shulman, L.S. (1986). Those who understand : knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.

Shulman, L.S. (1987). Knowledge and teaching : foundation for a new reform. *Harvard Educational Review*, 51(1), 1-22.

Smith, D. C (2000). Content and pedagogical content knowledge for elementary science teacher educators: Knowing our students. *Journal of Science Teacher Education*, 11,27-46.

Tochon, F.V. (1992). Trois épistémologies du bon enseignant. *Revue des Sciences de l'Education*, 18(2), p. 181-198.

Van Driel, J. H., Verloop, N., & De Vos,W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35 (6), 673–695.

Veal, W. R., & Makinster, J.G. (1999). Pedagogical content knowledge taxonomies. *Electronic Journal of Science Education*, 3(4).

Processus d'étayage d'un enseignant pour attaquer une conception erronée des élèves sur le concept de courant électrique dans un dispositif d'enseignement-apprentissage par problème au Bénin : Étude de cas en classe de seconde

Eugène Oké, Univ. d'Abomey-Calavi, Institut de Mathématique et Sciences Physiques (Bénin) ; eugene.oke@imsp-uac.org

&

Philippe Briaud, Univ. de Nantes, IUFM des Pays de la Loire, CREN, EA 2661 ;

Mots clés : Physique, étayage, problème, apprentissage scientifique, courant électrique

Résumé : L'article propose une étude sur l'enseignement de la physique en classe dans un contexte africain. Cette étude fait d'abord un état des conceptions d'élèves de seconde au Bénin, sur le concept de courant électrique avant et après apprentissage. Puis elle présente un travail en classe de seconde où l'enseignant tente de faire progresser les élèves pour les faire passer d'une conception erronée sur le courant électrique qui prédomine au sein des élèves, à une conception intermédiaire plus proche du savoir scientifique actuel. Les interactions ont été enregistrées (audio) puis analysées avec le cadre de la médiation où des étayages de l'enseignant peuvent favoriser l'apprentissage scientifique des élèves.

1. Problématique

Tiberghien et Delacôte (1976) ont analysé comment les enfants manipulent les piles et les ampoules et quelles sont les explications qu'ils donnent en relation avec leurs actions. Le résultat de cette étude est que les élèves utilisent des explications très générales pour le fonctionnement d'un circuit électrique simple. Ils pensent qu'il y a un lien causal entre la pile et l'ampoule et expliquent que quelque chose (un agent) se déplace de la pile à l'ampoule. Ce quelque chose, l'agent, peut être appelé électricité ou courant électrique stocké dans la pile et est consommée de la pile. Un test qui a été administré dans cinq pays européens à plus de mille élèves de 14 - 15 ans de l'école secondaire après enseignement (Shipstone et al, 1998) a montré qu'en dépit des différents systèmes scolaires et des différents langages, on retrouve dans ces pays, approximativement, le même type de difficulté d'apprentissage.

Dans une étude sur 145 sujets de classe de troisième (14-16 ans) après enseignement (partie de nos travaux de recherche, menée pendant l'année scolaire 2009-2010), nous avons constaté que la conception "le générateur fournit le courant électrique", est répandue chez des élèves de troisième au Bénin après un apprentissage sur le courant électrique, en classe ordinaire.

La même étude conduite avec 103 élèves de seconde D dans deux lycées de ville, montre que 75% de ces élèves ont toujours cette conception après enseignement sur le courant électrique, dans des conditions ordinaires de classe.

Notre problématique, d'ordre didactique, se résume à comment faire acquérir aux élèves le concept scientifique de courant électrique dans un contexte scolaire. Ce qui conduit à notre question de recherche : Comment s'attaquer à l'obstacle identifié pour faire progresser l'apprentissage ? Dans quelle mesure un processus d'étayage de l'enseignant dans un dispositif d'enseignement-apprentissage par problème permet le dépassement de cet obstacle ?

2. Références théoriques

Nous adoptons le point de vue qu'« une conception est une représentation remplissant trois conditions⁷⁹ :

- de la communauté : les erreurs ou les non-réponses qui permettent d'inférer une conception ne sont pas des fautes d'étourderies; elles sont produites dans des situations semblables, par un grand nombre d'élèves à un même niveau d'apprentissage.
- de l'efficacité : la conception permet de résoudre un certain nombre de problèmes dans une situation donnée, voire dans un domaine restreint.
- de la stabilité : ces conceptions sont relativement stables mais ne sont pas immuables (ce qui interdirait toute notion d'apprentissage). Apprendre, c'est remplacer une conception erronée, incomplète, localement exacte par une conception meilleure », (Boilevin, 2000).

Dans la lignée des travaux de Vygotski (1997), Jérôme Bruner (1983) pose que la pensée de l'enfant (l'apprenant) est d'origine sociale et que l'apprentissage précède le développement. Pour cet auteur, c'est par la médiation sociale de l'enseignant (interaction de tutelle) dans des dialogues entre les différents acteurs de la situation d'enseignement-apprentissage, que se construisent les connaissances. Deux concepts fondamentaux lui permettent de rendre compte des processus de régulation dans ces interactions de tutelle : le concept d'étayage et le concept de format, (Bruner, 1983). Dans l'étude que nous présentons, nous nous référons seulement au concept d'étayage pour rendre compte du phénomène didactique observé.

Nous entendons par interactions de tutelle, les actions que l'enseignant a avec l'apprenant, pour l'amener à résoudre un problème qu'il ne peut résoudre seul. En sciences physiques, l'étayage de l'enseignant conduit souvent l'apprenant à expliquer un phénomène empirique. Pour nous, le concept d'étayage et celui de zone proximale de développement (ZPD) proposé par Vygotski (1997) sont reliés. La ZPD recoupe « l'ensemble des interactions d'assistance de l'adulte [l'enseignant] permettant à l'enfant [l'apprenant] d'apprendre [d'adopter] des conduites [comportements] afin de pouvoir résoudre seul un problème qu'il ne savait pas résoudre au départ ». Pour ce faire, l'enseignant prend en charge les éléments de la tâche que l'apprenant ne peut réaliser seul.

Bruner repère six fonctions (rôles) de l'adulte (l'enseignant) pour décrire le processus d'étayage :

- le rôle d'enrôlement : ce sont les comportements du tuteur (l'enseignant) par lesquels il engage l'intérêt et l'adhésion de (ou des) l'apprenant(s) envers les exigences de la tâche (la nécessité de résoudre le problème) ;
- le rôle de réduction des degrés de liberté : il correspond aux procédures par lesquelles le tuteur (l'enseignant) simplifie la tâche par réduction des possibilités de cheminements cognitifs de l'apprenant afin de lui éviter une surcharge cognitive.

⁷⁹ Boilevin, J-M. (2000), Thèse Annexe p.15

- le rôle du maintien de l'orientation : l'enseignant a pour mission d'éviter que l'apprenant s'écarte du but assigné par la tâche. Le cas échéant il doit lui rappeler ce but et le motiver à nouveau pour garder le cap.
- le rôle de signalisation des caractéristiques déterminantes : il s'agit pour l'enseignant d'indiquer par divers moyens les caractéristiques de la tâche qui sont pertinentes pour son exécution.
- le rôle de contrôle de la frustration : il amène l'enseignant à éviter que les erreurs de l'apprenant se transforment en sentiment d'échec, et pire, en résignation.
- le rôle d'assurer la démonstration ou la présentation de modèle : il s'agit d'une « stylisation » des démarches ou de l'achèvement de la tâche ou encore l'explicitation des démarches.

3. Méthodologie et cueillette des données

Suite à une monstration, (Joshua & Dupin, 1989), en classe d'une expérience en électricité pour montrer que la solution d'acide chlorhydrique est conductrice contrairement à la solution de sucre, les 29 élèves (d'une moyenne d'âge de 16 ans) d'une classe de seconde C, devaient répondre à deux questions sur l'électricité. En 5 minutes ils devaient « expliquer l'allumage de la lampe par une phrase écrite », puis encore en 5 minutes, dire en une phrase « le rôle du générateur dans un circuit électrique ».

Ces questions ouvertes doivent nous permettre d'accéder à leurs connaissances sur le modèle du courant électrique après enseignement ordinaire. En effet, dans leurs réponses nous recherchons s'ils mobilisent des termes de mouvements de porteurs de charges ou de quelque chose qui est fournie et/ou consommée dans les composants électriques. Dans les questions posées, nous avons précisé de répondre en une phrase car nous sommes conscients que plusieurs modes de raisonnement peuvent cohabiter chez un même sujet⁸⁰ et nous voulons que l'élève exprime la réponse la plus pertinente pour lui.

A ce niveau scolaire et selon le programme officiel⁸¹, les élèves doivent avoir appris le concept intermédiaire du courant électrique. Dès lors, le but de cette enquête est de corroborer nos résultats obtenus auprès des élèves de troisième et que nous avons résumés plus haut. Nous voulons nous assurer de l'absence chez les élèves du concept scientifique de courant électrique après enseignement ordinaire.

Ces activités se sont déroulées en plénière sous la supervision de l'enseignant⁸² qui a utilisé leurs productions écrites pour orienter sa stratégie d'enseignement-apprentissage en s'appuyant sur un processus de guidage par reformulations de la demande d'explication sur l'allumage de la lampe.

Quatre semaines après cette séance les élèves doivent en 5 minutes dire par écrit en une phrase, ce qu'ils savent sur le courant électrique. Cet écrit, doit nous permettre d'évaluer si la séance et ce qui s'en est suivi, a produit un changement de leur conception sur le courant électrique.

⁸⁰ Nous faisons allusion au concept de schème dans la théorie des champs conceptuels de Vergnaud (1990, p.18) qui « repose sur un principe d'élaboration pragmatique des connaissances ». Le schème comprend des « invariants opératoires qui organisent la recherche de l'information pertinente en fonction du problème à résoudre ou du but à atteindre et pilotent les inférences ».

⁸¹ Le programme officiel stipule que le courant électrique est un mouvement d'ensemble de porteurs de charges

⁸² L'enseignant est Eugène Oké

Les données que nous avons recueillies sont :

- Deux productions écrites de tous les élèves de la seconde C au début de la séance ;
- La transcription écrite de la séance d'enseignement-apprentissage par problème après le questionnaire ;
- Une production écrite de tous les élèves de seconde C quatre semaines après la séance.

4. Résultats et analyses

4.1. Les productions écrites des élèves

Dans la classe de seconde C, en début de séance, nous avons demandé aux élèves de dire par écrit le rôle du générateur électrique. Nous reportons leurs réponses dans le tableau ci-dessous :

Catégorisation	Productions des élèves de seconde C	Effectifs	Pourcentages
G1	Le générateur fournit / produit le courant électrique ou le générateur alimente un circuit électrique	19	66%
G2	le générateur permet d'identifier / de reconnaître le sens du courant électrique	7	24%
G3	le générateur permet de savoir si une lampe est grillée ou le générateur permet de faire fonctionner les composants électriques dans un circuit électrique	1	3%
G4	le générateur permet le passage du courant électrique, ou le générateur permet l'entrée et la sortie du courant dans un circuit, ou le générateur laisse passer le courant dans un circuit	2	7%
	Total	29	100%

Ces résultats nous montrent qu'au sein de la classe, la conception G1 : « Le générateur fournit/produit le courant électrique ou le générateur alimente un circuit électrique », est dominante avec 66% des réponses des élèves. Un résultat similaire de 75 % a été obtenu avec 103 élèves de deux classes de seconde D après apprentissage ordinaire sur le courant électrique.

Les productions écrites d'élèves de seconde C, pour expliquer l'allumage de la lampe dans l'expérience de monstration, sont riches et variées. Les réponses ci-dessous, non lissées⁸³ (Boilevin, 2000), illustrent les types de réponses obtenues :

Ezéchiél : « la lampe s'est allumée parce que le courant fourni par le générateur a pu traverser la solution de l'électrolyse (H_3O^+ , Cl^-) et a contribué à l'allumage de la lampe »

Innocent : « la lampe s'est allumée parce que la solution d'acide chlorhydrique (H_3O^+ , Cl^-) contient des ions. C'est-à-dire une solution ionique. Le courant électrique a traversé la solution suite à un mouvement d'ensemble des électrons. »

Wilfried : « le passage du courant est dû au mouvement d'ensemble des porteurs de charge dans l'électrolyte. Or les ions H_3O^+ à le même sens que la cathode et l'anode, le sens contraire. Ce qui explique le passage du courant électrique dans les fils. »

Félix : « la lampe s'est allumée grâce aux mouvements des électrons libres. »

Bernardin : « la lampe s'est allumée parce que les porteurs de charges contenus dans la solution d'acide chlorhydrique sont en mouvement »

⁸³ Productions telles qu'é émises par les élèves.

Marcel : « l'allumage de la lampe s'explique par le courant fourni par le générateur et le déplacement des ions contenus dans l'acide chlorhydrique dans l'électrolyseur »

Alexis : « la lampe s'est allumée grâce au déplacement des ions. Donc le courant électrique est le déplacement ordonné des porteurs de charges (ions) »

Ces explications des élèves montrent qu'ils utilisent principalement une causalité efficiente pour rendre compte de l'éclairement de la lampe. Pour eux, les porteurs de charges transportent le courant électrique fourni par le générateur. On retrouve bien ici le schéma causal linéaire déjà observé chez les plus petits (Tiberghien & Delacote, 1976 et Closset, 1989). Le générateur (cause) est un contenant, il possède donc un contenu, le courant électrique, qui passe par le fil et la solution d'acide chlorhydrique pour rejoindre l'ampoule, et permet à celle-ci de s'allumer (effet). Dans cette explication, le concept de courant électrique est confondu avec celui d'énergie électrique, (Briaud, 2010).

4.2. Utilisation de la structure du concept d'étayage proposée par Bruner

Le corpus que nous étudions ici est la transcription de la séance avec la seconde C (29 élèves), qui comporte 145 tours de parole dont 82 (soit 56%) pour l'enseignant. Nous l'analysons dans le cadre du concept d'étayage défini par Bruner (1983). Le tableau que nous présentons met en relation les rôles joués par l'enseignant avec les composantes de la structure du concept d'étayage.

N° de tour de parole / enseign.	Actions et propos de l'enseignant	Composante / structure du concept d'étayage (Bruner)
- Entrée de séance ; - 052	-L'enseignant propose une monstration débouchant sur des observations empiriques (lampe qui brille pour une solution d'acide chlorhydrique et lampe qui ne brille pas pour une solution de sucre) suscitant l'intérêt des élèves ; -l'enseignant propose une tâche cognitive. Il demande d'expliquer l'allumage de la lampe.	L'enrôlement
- 069	Mais expliquer l'allumage de la lampe. La consigne dit quoi ? Expliquer l'allumage de la lampe en donnant la nature du courant électrique dans les fils conducteurs. Oui.	La réduction des degrés de liberté
- 114	Je parle en terme microscopique	
- 117	Le courant électrique là, c'est quoi dans les fils conducteurs.	
- 057	Donc, avec de l'eau sucrée la lampe ne brille pas tandis qu'avec une solution d'acide chlorhydrique la lampe brille. Quelle est la conclusion qu'on peut tirer de tout ça ? oui.	Le maintien de l'orientation
- 107	N'oublier pas notre question hein, notre question c'était quoi ?	La signalisation des caractéristiques déterminantes
- 075 & 077	Alors selon vous si la lampe s'est allumée, c'est qu'il y a eu du courant électrique qui l'a traversé. (...) Mais qu'est-ce qui est à l'origine de ce courant électrique ?	
- 089 & 090	(...) vous allez prendre un quart de feuille. Chacun m'écrit son explication de ce que la lampe s'est allumée. Vous ne mettez pas les noms hein !	Le contrôle de la frustration
- 124	Alors qui va nous formuler une phrase pour dire la même chose que tout ça ?	La présentation de modèle
- 127	Est-ce que quelqu'un veut améliorer la phrase ? [l'enseignant écrit au tableau]	
- 144	Nous allons retenir dans le cahier. Qui va nous formuler la réponse ?	

5. Discussion

Nous situons notre étude dans une complémentarité de celles déjà menées mais en portant notre attention pas seulement sur l'observation de comportements, mais aussi sur l'action de l'enseignant sur l'activité cognitive des élèves dans des interactions de tutelle. Notre étude se situe dans une didactique socioconstructiviste.

Nous rejoignons pleinement Tiberghien & Delacôte (1976), Closset (1983 & 1989), Dupin & Johsua (1986), Benseghir (1988), Tiberghien (1994), Shipstone & al (1998), pour affirmer que les élèves (ici, jusqu'en classe de seconde) considèrent le courant électrique comme quelque chose qui se déplace de la pile à l'ampoule et que ce quelque chose est consommée dans les composants électriques se trouvant dans le circuit. C'est ce que Dupin (1985) appelait « *la métaphore du fluide en mouvement* ».

Cette conception substantialiste du courant électrique est opératoire pour résoudre de nombreux problèmes coutumiers, (Dumas-Carré & Goffard, 1997) contrairement au savoir scientifique visé par l'apprentissage, qui est peu opératoire et donc difficile à acquérir par les élèves, (Duit & Von Rhöneck, 1998). Il revient donc à l'enseignant de trouver le moyen d'installer le savoir scientifique en tenant compte des conceptions des élèves. C'est l'intérêt du dispositif didactique d'enseignement-apprentissage par problème qui a été testé avec la classe de seconde C.

Sa mise en place nous a permis de constater que la structure du concept d'étayage, proposée par Bruner (1983) semble conduire les élèves à un changement conceptuel. En effet, quatre semaines après la séance d'apprentissage, nous leur avons demandé de répondre par écrit à : "Dis ce que tu sais du courant électrique". Nous avons constaté que 22 élèves (soit 76%) sur les 29, commencent leur explication par une phrase du genre « *le courant électrique est un mouvement d'ensemble de porteurs de charges* » qu'ils complètent en parlant de la nature des porteurs de charges. Mais ensuite ils disent toujours que ce courant est fourni par le générateur et qu'il est consommé dans les composants électriques. Ils précisent aussi que le courant est produit dans les barrages et les centrales et tentent de distinguer les courants continu et alternatif.

Leurs réponses montrent qu'ils ont élargi leur conception du courant électrique avec la nouvelle connaissance sans abandonner leur conception substantialiste du courant électrique.

Les fonctions de l'étayage au cours de la séance ne se succèdent pas de manière chronologique. Par exemple le maintien de l'orientation peut venir avant la réduction des degrés de liberté ou vis versa et sont souvent intercalées. Notre étude nous a montré que la frontière n'est pas nette entre la fonction de «réduction des degrés de liberté» et celle de «signalisation des caractéristiques déterminantes». D'autres études de cas nous permettraient d'approfondir ce qui les distingue. Elles nous permettraient aussi de voir l'effet de contrat didactique sur les réponses des élèves aux questions posées, (Chevalard, 1988).

6. Conclusion

Dans cette étude, nous avons pu analyser dans un cas précis comment la tutelle didactique s'exerce sur l'activité cognitive des apprenants en situation de classe. Des points sont à retenir :

- l'apprentissage scientifique impose d'identifier les obstacles à la compréhension des concepts ;
- l'élaboration de dispositif didactique doit être entreprise pour faire lever l'obstacle ;

- la gestion de l'avancée du temps didactique par le processus d'étayage ne doit pas être rigide dans sa chronologie temporelle; c'est grâce à la tâche (qui doit faire ressortir l'obstacle) présentée aux élèves que le jeu se joue.

L'enseignant joue le rôle de tuteur et de médiateur pour l'activité cognitive de l'élève et son apprentissage, (Dumas-Carré & Weil-Barais, 1998). Il incite à prendre position et à expliquer un point de vue. Ses interventions d'étayage peuvent être classées en catégories : reformulations et explications de la tâche ; invitations à l'explication ; rappels de l'objectif, encouragements.

Notre étude n'a pris en compte que l'action d'un seul enseignant dans une classe précise.

Nous sommes d'accord avec Weisser (2007) pour dire que le dispositif didactique relève du genre, et sa mise en œuvre du style, au sens de Bakhtine (1984) et Clot (1999). Les réponses des élèves seraient-elles analysées à l'identique par un autre enseignant ? Se traduirait-elle par le même déroulement de la situation vécue par les élèves, compte tenu de leurs différences cognitives, psychologiques, sociologiques... ? Des recherches complémentaires sont à mener à propos de cette variabilité des situations et des répercussions que cela entraîne en particulier sur la formation des enseignants.

Bibliographie

Bakhtine, M. (1984). *Esthétique de la création verbale*. Paris : Minuit.

Benseghir, A. (1988). Formation des concepts d'électrocinétique : un point de vue historique, Technologies, Idéologies, Pratiques. *Publication de l'Université de Provence, VII, 2*, pp. 7-21.

Boilevin, J-M. (2000). Conception et analyse du fonctionnement d'un dispositif de formation initiale d'enseignants de physique - chimie utilisant des savoirs issus de la recherche en didactique : un modèle d'activité et des cadres d'analyse des interactions en classe. Thèse de doctorat, Université de Provence.

Briaud, P. (2010), Influence des variables didactiques sur la problématisation des apprenants : Etude de cas en physique en électricité en 1^{ère} S et en formation des professeurs des écoles. *Congrès AREF : Actualité de la recherche en éducation et formation*. 13 au 16 septembre 2010. Genève, Suisse.

Bruner, J.S. (1983). *Le développement de l'enfant. Savoir-faire, savoir dire*. Paris : PUF.

Chevalard, Y. (1988). Sur l'analyse didactique. Deux études sur les notions de contrat et de situation. *Publications de l'IREM d'Aix Marseille*.

Closset J.-L. (1989). Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 931-950.

Closset J.L. (1983), D'où proviennent certaines «erreurs» rencontrées chez les élèves et les étudiants en électrocinétique ? Peut-on y remédier, *B.U.P.* no 657, p. 81.

Clot, Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. Paris : PUF.

Duit, R. & Von Rhöneck, C. (1998), Apprendre et comprendre les concepts clés de l'électricité, in Tiberghien, A., Jossem E. L., Barojas J., (Editeurs principaux) *Résultats de Recherche en Didactique de la Physique au service de la Formation des Maîtres*, éd. Française, Publiée par la Commission internationale sur l'enseignement de la physique (ICPE), 11p.

- Dumas-Carré, A. & Goffard, M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problèmes en physique. Concepts et démarches*. Paris : Armand Colin.
- Dumas-Carré, A. & Weil-Barais, A. (1998). *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*. Berne : Peter Lang.
- Dupin, J.-J. & Johsua, S. (1985). *L'évolution des représentations en électrocinétique*. Rapport MEN pour l'ATP "Les transitions dans le système éducatif".
- Dupin, J.-J. & Johsua, S. (1986). L'électrocinétique du Collège à l'Université : Evolution des représentations des élèves, et impact de l'enseignement sur ces représentations, *BUP* 683, p.779-800
- Johsua, S. & Dupin, J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : « le débat scientifique » dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne : Peter Lang.
- Shipstone, D. M., Rhoneck, C. Von, Jung, W., Karrqvist, C., Dupin, J. J., Joshua, S. & Licht, P. (1998). A study of secondary student's understanding of electricity in five European countries, *International Journal of Science Education*, 10, 303-316.
- Tiberghien A. & Delacôte G. (1976). Manipulations et représentations de circuits électriques simples par des enfants de 7 à 12 ans. *Revue Française de Pédagogie*, 34, 32-44.
- Tiberghien, A., (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and instruction*, vol.4, n°1, p. 71-87.
- Tiberghien, A., Jossem E. L., Barojas J., (1998). Livre de l'"I.C.P.E." © International Commission on Physics Education. Edition française.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels, *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol. 10, n°23, pp. 133-170
- Vygotski, L. (1997). *Pensée et langage*. Paris : La dispute. 1^{ère} édition, 1934.
- Weisser, M. (2007). Analyse des interactions verbales d'un groupe apprenant : entre dispositif didactique et étayage en situation. *Questions Vives*, n° 8.

Problématisation, argumentation et dynamique d'un débat en biologie à l'école : apport de deux analyses langagières complémentaires

Christian Orange, Univ. Nantes, IUFM des Pays de la Loire, CREN, EA 2661 ; christian.orange@univ-nantes.fr

Mots clés : problématisation, débat, biologie, école élémentaire, activités langagières

Résumé : dans l'étude des liens entre la problématisation et les apprentissages en sciences, les activités langagières jouent un rôle essentiel. Cette communication présente deux analyses langagières d'un débat pour en comprendre la dynamique et donc la façon dont il permet d'accéder à des savoirs problématisés : la première s'intéresse à la dynamique argumentative, à partir du trilogue argumentatif de Plantin ; la seconde étudie la dynamique du discours en s'appuyant sur le concept de secondarisation.

1. Introduction

Les travaux que nous menons depuis plusieurs années sur la problématisation en sciences nous ont d'abord fait étudier cette problématisation et ses liens avec les apprentissages d'un point de vue épistémologique et épistémique : à quoi correspond cette construction de problème en sciences, en quoi est-elle reliée aux savoirs scientifiques et, pour un domaine donné, comment peut-on décrire le travail des élèves qui conduit aux savoirs (Orange, 1999, 2003) ? Cependant, les relations entre problématisation et activités langagières nous sont apparues rapidement essentielles pour comprendre la dynamique de la construction des problèmes et des savoirs, ce qui a amené notre équipe à collaborer avec des chercheurs de sciences du langage.

Nous souhaitons ici faire plus particulièrement le point sur les apports de l'étude de l'activité argumentative aux questions didactiques analysées selon la problématisation. Cette communication fait ainsi suite à une première étude exploratoire (Orange, 2003) et à plusieurs autres investigations (Orange, 2005 ; Orange & al., 2008). Ces différents travaux nous ont amenés à explorer plusieurs aspects des relations entre problématisation et argumentation à partir de corpus de débats différents ; travaux que nous voulons reprendre ici, sur un même corpus, de façon à en discuter la complémentarité, les apports respectifs et les limites. Alors que nos recherches sont passées depuis quelques temps de l'étude des débats à l'analyse, sur des séquences entières, des pratiques et des mises en texte des savoirs, cette mise au point vise également à préparer la comparaison entre les argumentations sur des idées explicatives et les autres moments argumentatifs présents dans ces séquences.

2. Présentation du cas et rappel du cadre théorique de la problématisation

2.1. Description de la séquence où s'inscrit la séance étudiée

Le corpus qui sert de support à cette étude est un ensemble de six séances sur la nutrition dans une classe de CM1-CM2 dont nous allons résumer le déroulement et qui a donné lieu par ailleurs à une description plus poussée (par exemple Vérin et Schneeberger, 2009)

On peut décrire cette séquence en cinq phases :

Phase 1 : situation de départ (une séance de 73 minutes)

Lors de la première séance, le maître propose aux élèves de réfléchir à la question suivante : « *A quoi ça sert de manger?* »

Cette question donne lieu à une réflexion individuelle puis collective. Le maître propose de retenir une idée qui semble faire accord : manger sert à donner des forces à notre corps. Il formule alors la question suivante : « *Comment ce que j'ai mangé peut-il me donner des forces?* »

Les élèves y réfléchissent individuellement puis en groupes de 3 ou 4. Chaque groupe doit produire une affiche, avec texte et schéma (figure 1).

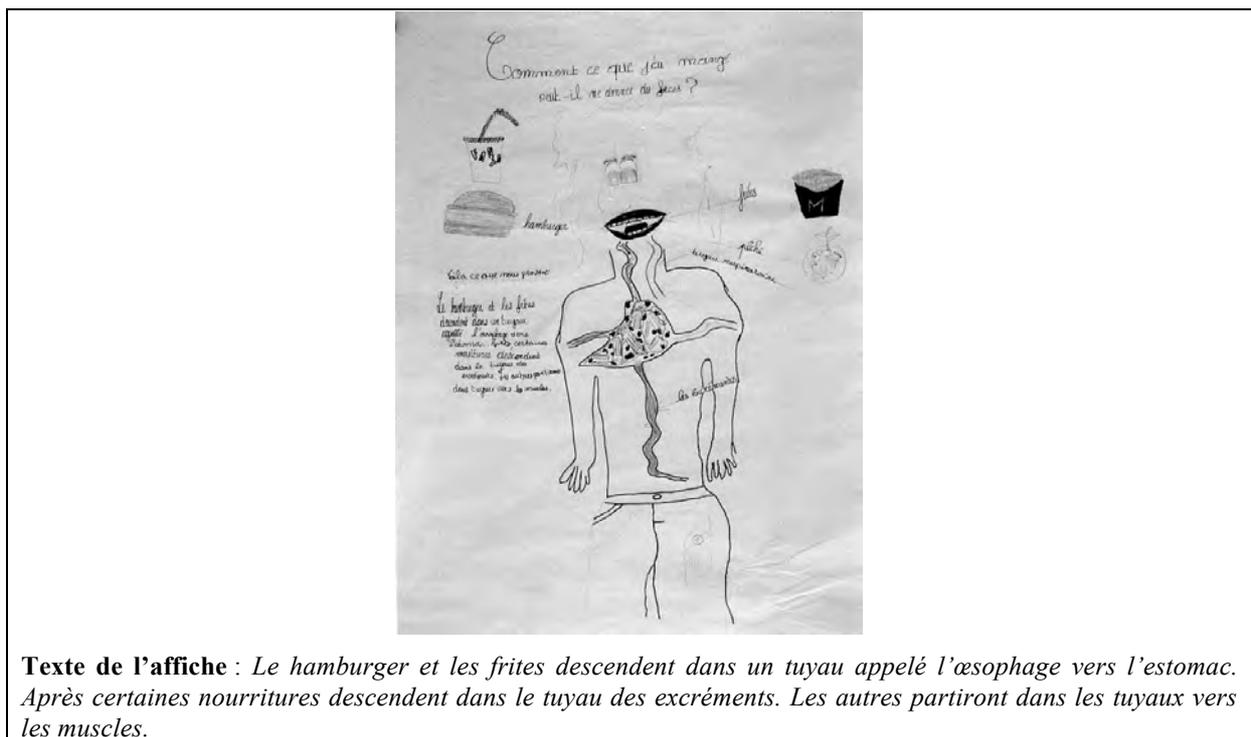


Figure 1. L'affiche produite par le groupe 3

Phase 2: débat collectif sur les affiches (une séance de 60 minutes)

Phase 3: des organes au fonctionnement (une séance de 65 minutes)

A partir de travaux individuels, des débats sont menés sur les organes qui servent dans la nutrition et sur le rôle de ces différents organes.

Phase 4 : réalisation des différentes fonctions (deux séances : 88 minutes au total)

Les élèves ont travaillé en groupes à l'aide de documents différents pour définir où et comment se réalise chacune des fonctions identifiées. Puis le résultat de ces recherches a été mis en commun et discuté.

Phase 5 : évaluation (45 minutes avec la discussion commune à la fin)

Elle a consisté à proposer aux élèves un schéma et un texte sur la nutrition censés être produits par des élèves d'une autre classe et à leur demander d'expliquer pourquoi cela peut ou ne peut pas fonctionner ainsi.

L'activité argumentative des élèves se développe dans ces différentes phases, avec des spécificités : lors des phases 1, 2 et 3, il s'agit essentiellement d'argumentations critiques sur des idées explicatives proposées par la classe ; lors de la phase 4, il s'agit d'argumenter sur des conflits d'interprétation de documents. Dans cette communication, nous en resterons au premier type d'argumentations en nous centrant essentiellement sur un épisode la phase 2, tout en organisant des repères qui, dans un autre travail, pourront servir de base pour l'étude d'autres types de situations argumentatives

2.2. Objectifs de cette séquence du point de vue la problématisation

Dans le cadre de la problématisation, l'objectif des apprentissages scientifiques ne peut se réduire à construire une solution au problème explicatif travaillé. Le but est avant tout de construire les raisons donnant au savoir scientifique un caractère apodictique, c'est-à-dire les conditions de possibilités des solutions. Le travail argumentatif ne sert donc pas seulement à réfuter certaines idées explicatives, ni même à en faire adopter d'autres (changement conceptuel), mais à produire un texte de savoir qui portera des éléments du débat. Comme l'indique Popper pour ce qu'il nomme le troisième monde, celui des contenus objectifs de la pensée : « *les habitants les plus importants de ce monde, ce sont les arguments critiques, et ce qu'on peut appeler [...] l'état d'une discussion ou l'état d'un échange d'arguments critiques* » (1991, p183).

L'analyse épistémique de la phase 2 nous a permis de repérer les raisons (contraintes empiriques et nécessités sur les modèles) au travail dans ce débat et de les présenter sous forme de l'espace de contraintes suivant (figure 2). Trois nécessités essentielles pour la problématisation de la nutrition y sont discutées : la nécessité d'une transformation, la nécessité d'un tri et la nécessité d'une distribution (Orange, 2003).

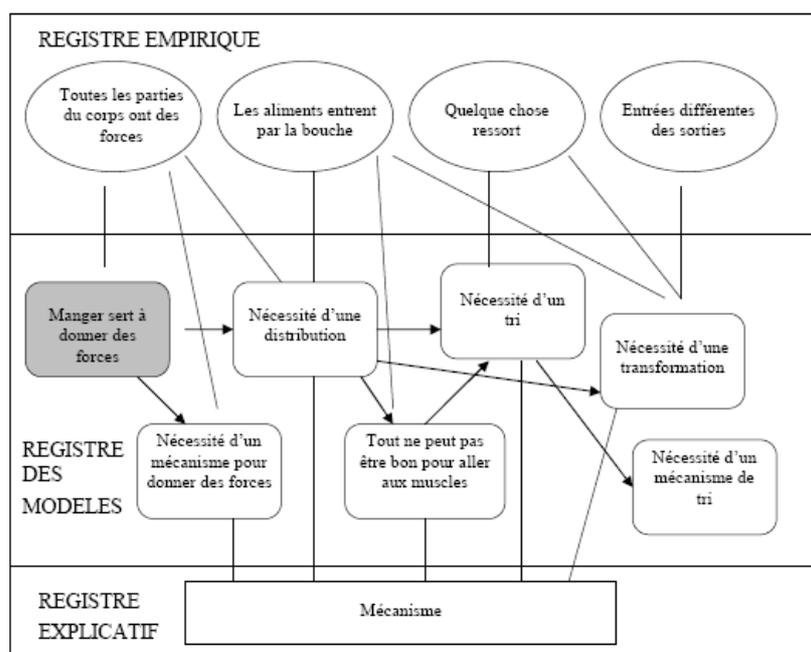


Figure 2. Espace des contraintes en jeu dans le débat de la phase 2

2.3. Conclusion

L'identification des contraintes empiriques et des nécessités travaillées dans un débat, par exemple sous forme d'espace de contraintes, nous permet de définir le travail de problématisation en jeu dans ce débat. Mais, si des enchaînements sont repérés entre les nécessités, la dynamique fine de la problématisation n'apparaît pas, non plus que les moments didactiques cruciaux. L'étude de l'activité langagière de la classe est une des façons de suivre au plus près cette dynamique. Dans la suite de cette communication nous allons l'étudier selon deux points de vue : la dynamique argumentative, en nous appuyant sur le cadre du trilogue de Plantin (1996) ; la dynamique du discours en mobilisant le concept de secondarisation (Jaubert & Rebière, 2005). Ces deux points de vue sont présentés sur le même cas, pour des raisons de concision, mais ils ont été utilisés sur plusieurs autres débats.

3. Première analyse langagière : dynamique argumentative, trilogue et problématisation

L'épisode de la phase 2 sur lequel nous allons centrer notre étude correspond à un moment du débat sur l'affiche du groupe n°3 (voir plus haut, figure 1). Cet épisode se définit par ce qui y est discuté : la question du tri et, secondairement, celle de la transformation. Il commence avec la présentation de l'affiche et se termine par l'intervention d'un élève qui résume l'état de la discussion sur la question du tri de la façon suivante : « Elles ont oublié de dire que ça trie parce que sinon il y a de la mauvaise nourriture qui va dans les muscles » (Quentin, 333).

De façon à rendre compte de la dynamique argumentative des échanges, nous nous appuyons sur le cadre du trilogue argumentatif de Plantin (1996). Celui-ci développe un modèle dialogal des épisodes fortement argumentatifs, c'est-à-dire des épisodes où le différend n'est pas réparé instantanément mais est thématiqué dans un débat normé. Ces situations mettent en jeu trois rôles discursifs : le proposant, l'opposant et le tiers. Le proposant porte une proposition (une

thèse) ; l'opposant tente de réfuter les arguments du proposant. Quant au tiers, il n'est ni du côté du proposant ni du côté de l'opposant, mais prend en charge le problème. Il s'agit bien de rôles et non de personnes, les individus pouvant, au cours du débat, passer d'un rôle à l'autre.

A partir de ce modèle et en reprenant une méthode développée pour un autre corpus (Orange & al, 2008), nous construisons la structure argumentative (figure 3) de l'épisode. La chronologie du débat y est représentée par l'axe vertical et les différentes interventions développant des idées proches (la même thèse) sont placées sur une même verticale.

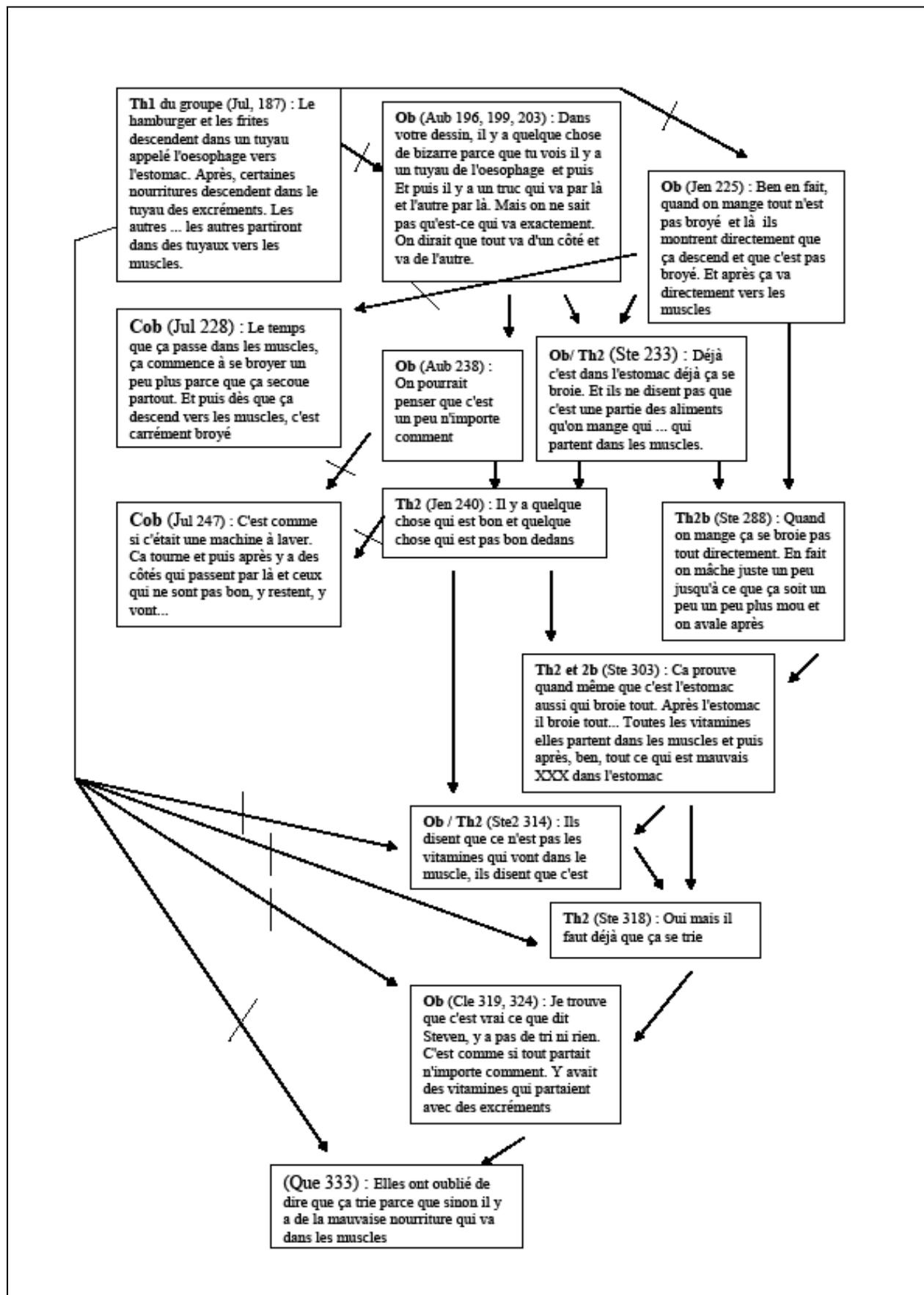


Figure 3. Structure argumentative d'un l'épisode de la phase 2

Flèche simple : relation directe ; flèche barrée : relation d'opposition

Th1 : thèse 1 ; Ob : objection ; Cob : tentative de dépassement ou de contre d'une objection

Cette structure montre comment la discussion sur le tri est articulée avec celle sur la transformation, comme le laissait voir déjà l'espace de contrainte (figure 2) : la transformation des aliments est une condition de possibilité du tri. On y voit une véritable dynamique argumentative avec thèses, objections, tentatives de dépasser les objections. Cette dynamique oblige les élèves à préciser à la fois le fonctionnement de ce modèle et ce qui fait qu'il n'est pas satisfaisant en l'état. Tout ce travail permet d'arriver à une formulation explicite de ce qui ne fonctionne pas et donc de ce qu'il faudrait pour que cela fonctionne : nous sommes bien sur le chemin de la thématization de la nécessité de tri.

Le cadre du trilogue nous permet de dégager d'autres caractéristiques de cette dynamique argumentative. Il apparaît que les élèves remplissent plusieurs rôles : celui de proposant (de la thèse 1 ou de la thèse 2) ; celui d'opposant de l'autre thèse ou de rejet d'une objection contre sa propre thèse.

Nous avons montré, sur d'autres débats, que les élèves prennent rarement le rôle de tiers (Orange & al., 2008) qui est souvent joué par l'enseignant. Ce constat a d'autant plus d'importance que le tiers est celui qui prend en charge le problème et, d'une certaine façon, thématise la problématisation. Cela semble *a priori* s'appliquer également à cet épisode.

Il nous faut cependant étudier plus précisément la dernière intervention de l'épisode, celle de Quentin (333). Elle a la forme d'une objection à la thèse des élèves du groupe 3 et semble donc jouer le rôle d'opposant. Elle est en fait constituée de deux parties. La première partie (« *elles ont oublié de dire que ça trie* ») est refusée par les membres du groupe 3 qui ne sont pas d'accord avec cette interprétation : selon eux, leur affiche ne dit pas qu'il n'y a pas de tri (« *... après certaines nourritures descendent dans le tuyau des excréments. Les autres partiront dans les tuyaux vers les muscles* »). La seconde partie fait certainement accord dans classe : [s'il n'y a pas de tri] « *il y a de la mauvaise nourriture qui va dans les muscles* ». On peut alors voir dans cette seconde partie non pas une simple opposition à la thèse 1 mais un état des lieux de la discussion, même si l'intervention dans son ensemble est dirigée contre l'affiche n°3. Elle n'est donc pas loin de faire fonction de tiers : reformulée, elle pourrait servir de point d'étape au débat⁸⁴.

Cette intervention qui, nous l'avons dit, thématise les causes de dysfonctionnement du modèle présenté, a donc une grande importance pour le travail de problématisation de la classe ; on voit comment elle s'inscrit dans la dynamique argumentative de l'épisode mais sa formulation ne peut pas être uniquement attribuée à Quentin. Elle est le fruit d'un travail de la classe dont nous venons de repérer la dynamique argumentative mais qu'il nous faut à présent étudier, avec d'autres outils, pour comprendre en détail son fonctionnement langagier.

4. Seconde analyse langagière : dynamique du discours et secondarisation

Comment le travail de classe a-t-il contribué, à travers les échanges argumentatifs que nous venons de décrire, à cette formulation proposée par Quentin en 333 : « *Elles ont oublié de dire que ça trie parce que sinon il y a de la mauvaise nourriture qui va dans les muscles* » ?

⁸⁴ Cette reformulation n'a pas été faite, ni l'inscription au tableau de cette intervention. Il s'agit là d'un problème didactique des débats : l'enseignant expert privilégie presque toujours la dynamique du débat à la construction d'une trace.

Cette dernière intervention a, en fait, un contenu proche des premières critiques sur cette affiche formulées par Auberi ; par exemple en 196 et 199.

196	Auberi : Dans votre dessin, il y a quelque chose de bizarre parce que tu vois il y a un tuyau de l'oesophage et puis xxx Et puis il y a un truc qui va par là et l'autre par là. Mais on ne sait pas qu'est-ce qui va xxx exactement. On dirait que tout va d'un côté et xxx va de l'autre. C'est comme ça, ça fait bizarre (Elle va au tableau près de l'affiche).
199	Auberi : (elle explique en montrant l'affiche) Vous avez tout dessiné mais c'est un peu bizarre parce qu'on croirait qu'ici ça va dans les muscles (montre le tuyau vers le bas) et là ... dans le muscle aussi (montre les tuyaux sur le côté).

Comme Quentin, Auberi critique l'affiche parce qu'elle ne semble pas montrer la possibilité d'un tri (« *tout ce qui va d'un côté va de l'autre* »). Pourtant, si ce que dit Quentin pourrait permettre de faire un bilan de cette portion de débat, ce n'est pas le cas de ce que dit Auberi dont l'intervention n'est compréhensible que dans le contexte du travail de la classe.

De façon à mieux comprendre comment, grâce au développement du débat, la classe passe de ce que dit Auberi à ce que dit Quentin, au contenu argumentatif *a priori* identique mais qui n'a pas la même fonction dans le débat, nous devons nous intéresser à une autre dynamique, celle du développement du discours.

On ne saurait attribuer ce qui semble être de l'imprécision dans les interventions initiales d'Auberi (196, 199) à une faiblesse de son expression orale⁸⁵. Pourtant il y a une différence importante entre ses propos et l'intervention de Quentin en fin d'épisode.

Ce que dit Auberi ne prend sens que dans le contexte du débat : ici et maintenant. Son argumentation s'appuie sur des gestes d'ostension sur l'affiche et les mots qu'elle emploie restent vagues (un truc, l'autre) ou sont des déictiques (ça). Ses interventions présentent toutes les caractéristiques du genre premier (Bakhtine, 1984), c'est-à-dire celui des « *échanges spontanés qui régulent la vie de tous les jours* » qui sont « *liés à l'action et tributaires des conditions de leurs usages* » (Jaubert & Rebière, 2002, p. 166). Par opposition, ce que dit Quentin en (333) correspond plus à un genre second qui permet « *de mettre à distance, d'objectiver, de reconfigurer l'activité dans laquelle le locuteur est engagé, c'est-à-dire de l'arracher de son contexte in media res* » (ibidem). On peut en effet comprendre ses propos en dehors de l'action où il les produit et on peut les exporter pour interroger une autre affiche ou une autre explication, par exemple.

Sur l'ensemble de cet épisode, nous sommes donc en présence d'un processus que Jaubert et Rebière appellent « *secondarisation* » (2005). Avant d'étudier en détail le travail de la classe qui conduit à cette secondarisation, nous voulons faire deux remarques liées à la problématisation scientifique en jeu ici.

- 1) Si le discours d'Auberi n'est pas à attribuer à un manque de compétences orales, à quoi correspond le genre premier qu'elle adopte, alors que la situation scolaire appelle un genre plus secondarisé ? Il semble que l'on peut y voir plusieurs raisons convergentes :
 - le fait qu'Auberi s'appuie sur une affiche qui reste vague sur les désignations (voir figure 1) ; pour la prendre pleinement en compte, elle doit faire avec ce flou, en entamant une négociation de schématisation (au sens de Grize, 1990) ;
 - le fait qu'Auberi est à la fois en train de construire son objection et qu'elle la laisse ouverte pour permettre aux autres de la prendre en charge. De tels phénomènes langagiers se rencontrent dans des échanges de personnes qui tentent de construire

⁸⁵ Il suffit de suivre ce que dit cette élève pendant toute la séquence pour s'en persuader.

ensemble une réflexion : le flou laissé est la marque que la pensée est en construction et permet aux autres de s'y impliquer.

Ainsi, la forme de l'intervention d'Auberi pourrait être une condition de possibilité de l'épisode de débat qui s'engage ici et, loin de révéler des difficultés à l'oral, serait la marque d'une capacité de penser ensemble, donc de problématiser à plusieurs.

2) Cela dit, si ce qu'énonce Auberi est favorable à la dynamique du débat, l'argumentation qu'elle développe ne peut en rester là pour participer pleinement à la problématisation de la classe : elle doit finalement être mise dans un texte qui s'émancipe des conditions les plus étroites de sa production ; c'est une condition du mouvement de généralisation et d'abstraction qui caractérise toute problématisation scientifique (Orange, 2007).

Comment alors se construit cette secondarisation ? Une première analyse (Orange, 2005) conduit à repérer que l'argument critiquant la production du groupe 3 sur la question du tri est repris plusieurs fois en s'enrichissant de désignations (voir la figure 4 où ces enrichissements sont surlignés en gras).

240	Jennifer : Il y a quelque chose qui est bon et quelque chose qui est pas bon dedans
314	Steven2 : (montre le schéma) Ils disent que ce n'est pas les vitamines qui vont dans le muscle, ils disent que c'est tout l' aliment .
315	Juliette : Peut-être que dans les aliments il y a des vitamines
318	Steven1 : Oui mais il faut déjà que ça se trie
319	Clément : Les excréments là (montre de loin le schéma) ça tombe n'importe comment. Il y a des vitamines qui tombent dedans... Non mais là, ça se mélange et puis ça xxx partout xxx excréments .
320	M : Qu'est-ce que vous pensez de cette idée de tri dont parle Steven? Marion?
324	Clément : Je trouve que c'est vrai ce que dit Steven, y a pas de tri ni rien. C'est comme si tout partait n'importe comment. Y avait des vitamines qui partaient avec des excréments xxx
332	M : Qu'est-ce que vous pensez de ce que dit Steven? Au sujet du tri . Qu'est-ce que vous en pensez?
333	Quentin : Elles ont oublié de dire que ça trie parce que sinon il y a de la mauvaise nourriture qui va dans les muscles

Figure 4. Extraits du débat illustrant le travail de secondarisation

Ce sont d'abord les « objets » qui sont désignés : ce qui est bon, ce qui ne l'est pas, les vitamines⁸⁶, les excréments. Puis c'est le processus sous forme de verbe (trier) ou de nom (tri).

Si on pousse un peu plus loin l'analyse en replaçant cet épisode dans l'ensemble du débat, il apparaît que ces désignations n'apparaissent pas ici à partir de rien :

- d'une part un certain nombre de termes ont déjà été employés dans les épisodes précédents de ce débat : bons aliments, mauvais aliments, vitamines, excréments ;
- d'autre part, d'autres termes n'ont pas encore été employés mais sont présents dans les affiches dont la présentation va suivre ; donc sont présents dans ce qu'ont écrit certains élèves. C'est notamment le cas du verbe trier présent dans l'affiche 4 et dont sont auteurs Clément, Baptiste et Quentin. Si ce n'est pas l'un deux qui introduit le terme dans l'épisode étudié, ce sont bien Clément et Quentin qui s'en emparent à la suite des sollicitations du maître.

⁸⁶ Il ne s'agit pas ici de discuter de la valeur scientifique de ces désignations

Le processus de secondarisation, si important pour la mise en texte de la problématisation scientifique, se fait donc par un travail de reprise et tissage de différents morceaux de discours présents d'une manière ou d'une autre dans la classe (hétéroglossie, Bakhtine, 1984).

5. Conclusion

La compréhension de la dynamique argumentative et de la dynamique du discours d'un débat est essentielle pour identifier les conditions de possibilité d'une problématisation lors d'un tel débat. Nous avons ici, sur un même corpus de taille limitée, mis en œuvre deux éclairages théoriques langagiers qui nous permettent d'avancer dans une telle compréhension. Le premier montre l'importance des différents rôles argumentatifs dans le développement du débat et interroge particulièrement les liens entre le rôle du tiers et la problématisation ; faut-il alors prévoir des situations pour apprendre aux élèves à endosser ce rôle de tiers ? Le second montre l'importance de la secondarisation du discours et les processus qui y conduisent. Il faudrait compléter ces approches par l'étude des schèmes argumentatifs (Plantin, 2005) que les élèves mobilisent pour développer leurs argumentations et les faire partager aux autres et qui dévoilent les lieux communs sur lesquels la classe fonde ses échanges argumentés ; la place nous manque ici (voir Orange & al., 2008, sur un autre cas).

Des analyses, menées par ailleurs sur d'autres corpus de débats portant sur des idées explicatives, permettent un début de généralisation et montrent que ces approches langagières fonctionnent bien sur ce type de débat, même si le processus de secondarisation n'est pas toujours aussi développé qu'ici. Nous voulons maintenant étudier en quoi ces mêmes approches peuvent s'appliquer à d'autres types de débats comme ceux qui portent sur l'interprétation de documents ou d'expérimentations.

Bibliographie

- Bakhtine, M. (1984). *Esthétique de la création verbale*. Paris : Gallimard.
- Grize, J.-B. (1990). *Logique et langage*. Paris : Ophrys.
- Jaubert, M. & Rebière, M. (2002). Parler et débattre pour apprendre : comment caractériser un « oral réflexif ». In J.-C. Chabanne & D. Bucheton. *Parler et écrire pour penser, apprendre et se construire : L'écrit et l'oral réflexif*. Paris : PUF.
- Jaubert, M. & Rebière, M. (2005). Émergence d'un concept en didactique du français : la secondarisation. *Actes du colloque épistémologie des didactiques des disciplines*. Bordeaux, mai 2005. Cédérom.
- Orange, C. (1999). Les fonctions didactiques du débat scientifique dans la classe : faire évoluer les représentations ou construire des raisons? *Actes des Premières journées scientifiques de l'ARDIST*, Cachan. (disponible sur <http://ardist.aix-mrs.iufm.fr/>)
- Orange, C. (2003). Débat scientifique dans la classe, problématisation et argumentation : le cas d'un débat sur la nutrition au cours moyen. *ASTER*, 37, 83-107
- Orange C. (2005). Problématisation conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n° 3, p. 69-93.

Orange, C. (2007). Apprentissages scientifiques : ce qui se construit et ce qui se transmet *Recherches en éducation*, 4, 85-92 (disponible sur www.cren-nantes.net)

Orange, C., Lhoste Y. & Orange-Ravachol, D. (2008). Argumentation, problématisation et construction de concepts en classe de sciences. In C. Buty & C. Plantin. *L'argumentation dans l'apprentissage des sciences*. Lyon : INRP, p. 75-116.

Plantin, C. (1996). Le trilogue argumentatif. Présentation de modèle, analyse de cas. *Langue française*, décembre 1996, Larousse.

Plantin, C. (2005). *L'argumentation*. Paris : PUF (coll. Que sais-je ?)

Popper, K. (1991). *La connaissance objective*. Paris : Aubier (éd. originale, 1972).

Schneeberger, P. & Vérin, A. (2009). *Développer des pratiques d'oral et d'écrit en sciences*. Lyon : INRP.

Orange C.

Le couple problématique phénomène/événement en sciences de la vie et de la Terre : points de vue épistémologique et didactique

Denise Orange-Ravachol, Univ. de Nantes, IUFM des Pays de la Loire, CREN, EA 2661 ; denise.orange@univ-nantes.fr

Mots clés : actualisme, événement, phénomène, sciences de la vie et de la Terre, élève de lycée

Résumé : Notre communication caractérise les sciences de la vie et de la Terre (SVT) par la tension entre phénomène et événement. Elle montre que les scientifiques donnent de l'importance à l'événement lorsque les problèmes biologiques et géologiques deviennent anthropocentrés : ils construisent alors des nécessités événementielles en articulant de manière complexe le présent et le passé d'une part, la descente et la remontée de l'histoire d'autre part. Nous nous intéressons aussi au fonctionnement de lycéens : comme les scientifiques, ils mobilisent des événements, mais avec un fort ancrage dans la pensée commune. Quant aux programmes d'enseignement de SVT récents, bien que prenant de plus en plus en compte des enjeux sociétaux (et donc la place de l'Homme), ils ne font pas de la construction de l'événement un enjeu d'apprentissage majeur.

1. Introduction

Les programmes d'enseignement des sciences de la vie et de la Terre du collège et du lycée associent désormais à leur composante scientifique une forte dimension éducative, en matière de développement durable notamment. Cela veut dire que les problèmes biologiques et géologiques travaillés en classe de sciences se centrent davantage sur l'Homme et sa préoccupation de maîtriser son devenir. Dans notre communication, nous étudions en quoi ces changements bousculent les reconstitutions de l'histoire de la vie et de la Terre habituellement faites et, plus précisément, quels renversements ils provoquent dans la prise en compte des phénomènes et des événements caractéristiques de ces reconstitutions : comment ce couple problématique événement/phénomène est-il classiquement convoqué dans les problèmes géologiques ? Quelle modification de l'approche de ce couple une centration plus marquée sur l'Homme provoque-t-elle ? Quels rapports les élèves de lycée entretiennent-ils avec ce couple problématique ? C'est dans le cadre théorique des problématisations fonctionnaliste et historique (Orange Ravachol, 2003) que nous réalisons cette étude, en nous dotant d'abord de repères épistémologiques avant d'en venir au fonctionnement des élèves.

2. Le principe de l'actualisme et la mise à l'écart de l'événement en sciences de la Terre

Parce qu'elles sont révolues, l'histoire de la Terre et l'histoire de la vie sont uniques. Leur chemin se caractérise par des événements et des régularités (Gould, 1994) dont la

reconstitution place le chercheur entre l'impossibilité de retrouver ce qui s'est réellement produit et la proposition de possibles historiques, contenus dans les limites d'un passé réel (un *actual past*). Cette nécessité de contrôle peut didactiquement se décliner à deux niveaux :

- Un contrôle de l'imagination pour se transporter avec une certaine confiance du présent jusque dans un passé exempt de témoignages humains (Hooykaas, 1970) ;
- Une attention portée au fonctionnement du profane dont la tendance est de fabriquer des histoires mêlant l'extraordinaire à l'ordinaire (Bruner, 1997).

A bien étudier ce que font les géologues depuis l'émergence de la géologie historique au début du 19^{ème} siècle et jusqu'à maintenant il ressort que les problèmes de reconstitution du passé terrestre sont scientifiquement pensés par la mise en jeu et la réaffirmation du principe méthodologique de l'actualisme. Ce principe stipule que « *le présent est la clé du passé, où que les causes qui ont agi au long de l'histoire de la Terre ne diffèrent point essentiellement des causes géologiques actuelles (érosion, transport, sédimentation, métamorphisme, volcanisme, plissement et soulèvement des montagnes)* » (Gohau, 1997, p. 140). Compris de la sorte, il est un véritable instrument de contrôle des reconstitutions historiques et d'accès à la matérialité et à la signification des archives de la Terre. Ainsi contribue-t-il à s'affranchir des cosmogonies et autres histoires imaginées de la Terre, et du catastrophisme immédiat qu'elles véhiculent. Comme l'écrit Hooykaas, il représente vraiment « *the bridge that enables our imagination to go from the present to the past, to visualize with some confidence that no human eye has seen* » (1963, p. XII ; 1970, p.11).

Mais recourir à l'actualisme ne va pas de soi. Il s'agit en effet de dépasser l'idée commune que le présent est la clé du passé et en conséquence de ne pas exporter n'importe quels objets ou processus actuels dans des temps anciens. Il faut voir aussi que, s'il est possible de transporter intégralement dans le passé des phénomènes encore à l'œuvre de nos jours (des phénomènes volcaniques par exemple) – nous parlerons alors d'actualisme de premier niveau ou d'actualisme analogie (figure 1) – , il est absolument nécessaire de construire des phénomènes anciens tels que la formation d'une chaîne de montagnes, parce que la nature actuelle n'en exhibe pas ; elle n'en offre que quelques bribes (pensons aux phénomènes compressifs intra-océaniques et intra-continentaux) qu'il s'agit d'intégrer sur une longue durée pour obtenir l'ensemble (actualisme à temps long constructeur de phénomènes ; figure 1 ; Orange Ravachol, 2003, 2010). Il faut voir enfin que l'actualisme peut être porté à ses limites. Parce qu'il paraît difficile d'admettre que le présent contienne toutes les causes géologiques, les géologues peuvent être contraints de mobiliser des causes d'une autre intensité ou d'une autre nature (catastrophisme de deuxième niveau), comme par exemple la chute de météorites de grande taille ; voir même, parce que le contexte terrestre a changé (du fait par exemple de la présence de la vie), de convoquer des événements, singuliers dans le temps et l'espace, comme ceux qui ont été impliqués dans l'origine de la vie. Mais ces causes d'une autre intensité ou d'une autre nature n'ont rien de *ad hoc*, elles sont complètement construites et raisonnées.

La construction de segments d'histoire de la planète, en mobilisant l'actualisme, produit et articule un monde de phénomènes (avec un certain degré de généralité dans le temps et l'espace) et un monde de traces de phénomènes actuels et passés. Ce faisant, elle tend à « tuer » l'histoire car exporter du présent dans le passé rend le passé de plus en plus semblable au présent ; mais il faut bien voir que ne pas tenir l'actualisme, ce serait risquer de tomber dans un catastrophisme naïf (la mobilisation de causes *ad hoc* de nature et d'intensité différentes de celles encore agissantes) et de recourir à des événements de circonstance.

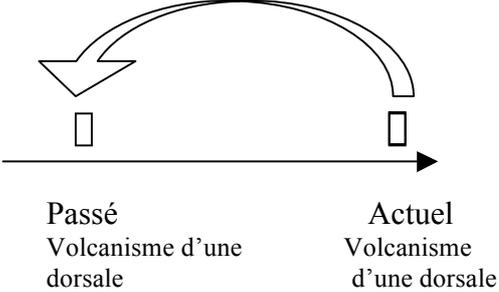
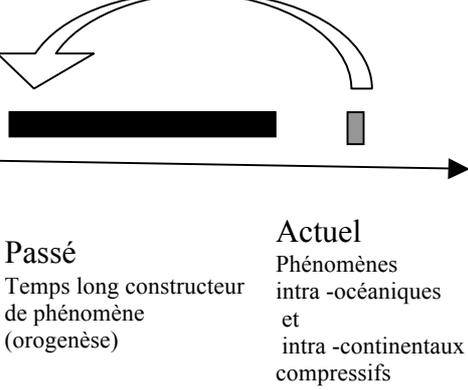
<p>Actualisme de premier niveau (actualisme d'analogie)</p> <p>Il est mis en fonctionnement sur l'exemple du volcanisme d'une dorsale</p>	<p>Actualisme de 2^e niveau (actualisme constructeur d'un temps long producteur de phénomènes)</p> <p>Il est mis en fonctionnement sur l'exemple de la formation d'une chaîne de montagnes</p>
 <p>Passé Volcanisme d'une dorsale</p> <p>Actuel Volcanisme d'une dorsale</p>	 <p>Passé Temps long constructeur de phénomène (orogénèse)</p> <p>Actuel Phénomènes intra-océaniques et intra-continentaux compressifs</p>

Figure 1. Les deux formes d'actualisme mobilisées par les géologues (Orange Ravachol, 2003, 2010)

3. Une centration sur l'Homme et le retour de l'événement dans les sciences de la Terre

Partons de quelques exemples de problèmes historiques : la formation d'une chaîne de montagnes telle que la chaîne Alpine, l'explication des extinctions de masse comme celle des dinosaures, l'origine de la vie sur la Terre. Alors que tous concernent la Terre à un moment donné de son histoire, autrement dit qu'ils ont un caractère événementiel, leur traitement par la communauté scientifique ne semble pas relever exactement des mêmes procédures (tableau 1). Tout se passe comme si certaines formes de contingence n'étaient pas prises en considération par les scientifiques ; que l'idée que la formation des Alpes aurait pu ne pas être ne les intéresse pas : au lieu d'en faire un événement, les scientifiques en font un phénomène. Les études récentes sur les chaînes de montagnes, qui renvoient systématiquement au modèle de la tectonique terrestre globale, en attestent.

En revanche que l'extinction des Dinosaures aurait pu ne pas être est questionnée, sans doute parce qu'elle conditionne ce qui se fait après, jusqu'à l'apparition de l'espèce humaine. Sur ce dernier problème, Stengers (1997, p. 89) montre combien l'approche des scientifiques est orientée par le succès des Mammifères, « *qui nous importe puisque nous en sommes* », et que leur explication tire vers le conte moral (les Dinosaures, lents et routiniers, sont une impasse de l'évolution et ont été supplantés par des Mammifères rapides et inventifs) ou vers l'histoire (les Dinosaures ont disparu à cause de la chute d'une météorite ou d'un changement climatique et ont ainsi conditionné le succès des Mammifères depuis 65 millions d'années).

Exemples de problèmes historiques	Leur traitement par les scientifiques actuels
La formation de la chaîne Alpine	Problème historique transformé en problème fonctionnaliste (mise en jeu d'un actualisme de 2 ^{ème} niveau)
La disparition des Dinosaures	- Problème historique transformé en problème fonctionnaliste s'il est vu comme un cas de phénomène de crise biologique (actualismes de 1 ^{er} et de 2 ^{ème} niveau, catastrophisme de 2 ^{ème} niveau) - Problème historique traité comme un événement s'il s'inscrit dans la compréhension de la prise d'importance des Mammifères à l'ère tertiaire.
L'origine de la vie	- Problème historique : l'apparition de la vie sur Terre est considérée comme une succession d'événements.

Tableau 1. Phénomène et événement dans quelques problèmes de la géologie historique

Dans la communauté des chercheurs, l'événement peut donc prendre le pas sur le phénomène.

- Lorsque le principe de l'actualisme est porté à ses limites, il sécrète des événements : c'est le cas dans l'explication de la diversification et de la décimation de la faune de Burgess (Gould, 1989/1991) ; ou encore pour les événements intervenant dans l'explication actuelle de l'apparition de la vie terrestre. Remarquons que ces événements tiendront jusqu'à ce que, inlassablement à l'œuvre, l'actualisme en aura fait des phénomènes. C'est dire que la géologie historique semble toujours vouloir se débarrasser de l'événement historique.

- Lorsque la reconstitution de l'histoire de la Terre est couplée à une prise en compte des vivants dont l'Homme est partie prenante, l'événement est de retour : « *quand le phénomène devient plus complexe, lorsque l'originalité des individus ne peut être négligée (cas du biologique, et encore plus des sciences de l'homme), la prévisibilité décroît rapidement et le rôle de l'événement s'affirme, avec toute la part de hasard qu'il implique* » (Tintant, 1986, p.189).

Alors que la géologie historique tend le plus souvent à phénoménaliser, par l'usage du principe méthodologique de l'actualisme, elle introduit parfois de l'événementiel lorsqu'elle devient anthropocentrée. Tout se passe comme si le principe de l'actualisme interférait avec le principe anthropique (Gale, 1982).

Après avoir caractérisé l'approche du couple phénomène/événement chez les scientifiques, venons-en à celle des lycéens (15-18 ans), en nous basant sur quelques cas.

4. Les lycéens et le couple problématique phénomène/événement en sciences de la Terre

4.1. Repères méthodologiques

Grâce aux approfondissements épistémologiques précédents (sections 1 et 2), nous sommes en mesure de caractériser les rapports qu'entretiennent les élèves avec le couple phénomène/événement. Deux repères forts nous servent.

4.1.1. La mobilisation des formes d'actualisme méthodologique

La reconstitution du passé de la Terre repose d'abord sur la mise en jeu d'un actualisme d'analogie et d'un actualisme à temps long constructeur de phénomène. C'est lorsque cette référence à des causes actuellement agissantes n'est plus possible qu'elle rend l'événement nécessaire (figure 2). Dans le cadre d'un problème géologique ou biologique historique, l'élève recourt-il à une telle procédure ?

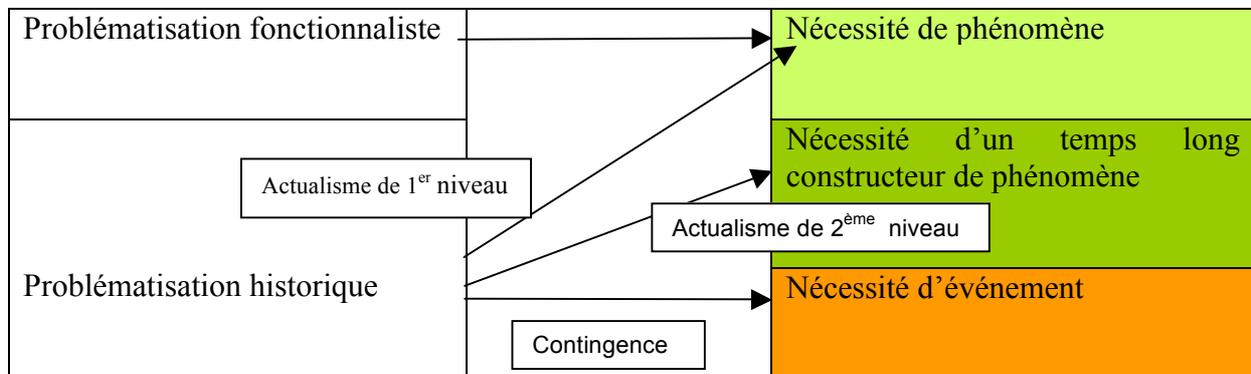


Figure 2. Problématisations fonctionnaliste et historique et construction de phénomène et d'événement

4.1.2. La prise en compte de la contingence dans la reconstitution de l'histoire

La construction des événements historiques passe par des expériences de pensée consistant à enrouler et à dérouler l'histoire (Gould, 1989/1991) :

- Une fois l'histoire accomplie et l'événement réalisé, il s'agit d'en rechercher les conditions de possibilité, ce qui n'est envisageable qu'en remontant l'histoire. Dit autrement, un événement identifié (E par exemple) n'a pu se réaliser que parce qu'un autre (D), antérieur, est survenu. Et ainsi de suite (figure 3).
- On doit aussi imaginer les événements dans le flot de l'histoire et, dans cette procédure, il faut intégrer la contingence. A cause d'elle, l'histoire expose à une infinité de parcours possibles : à la place de chaque événement construit, d'autres auraient pu se produire (figure 3).

Mais, dira-t-on, pourquoi s'embarasser de la descente de l'histoire, si ouverte en possibles, quand la remontée donne l'occasion d'une fermeture par la construction de nécessités ? Parce que, même si l'événement est contingent lorsqu'on descend l'histoire, même s'il ne peut pas être déduit d'une loi déterministe, nous ne pouvons pas admettre qu'il relève d'un hasard sans aucune règle (Devilleers et Tintant, 1996).

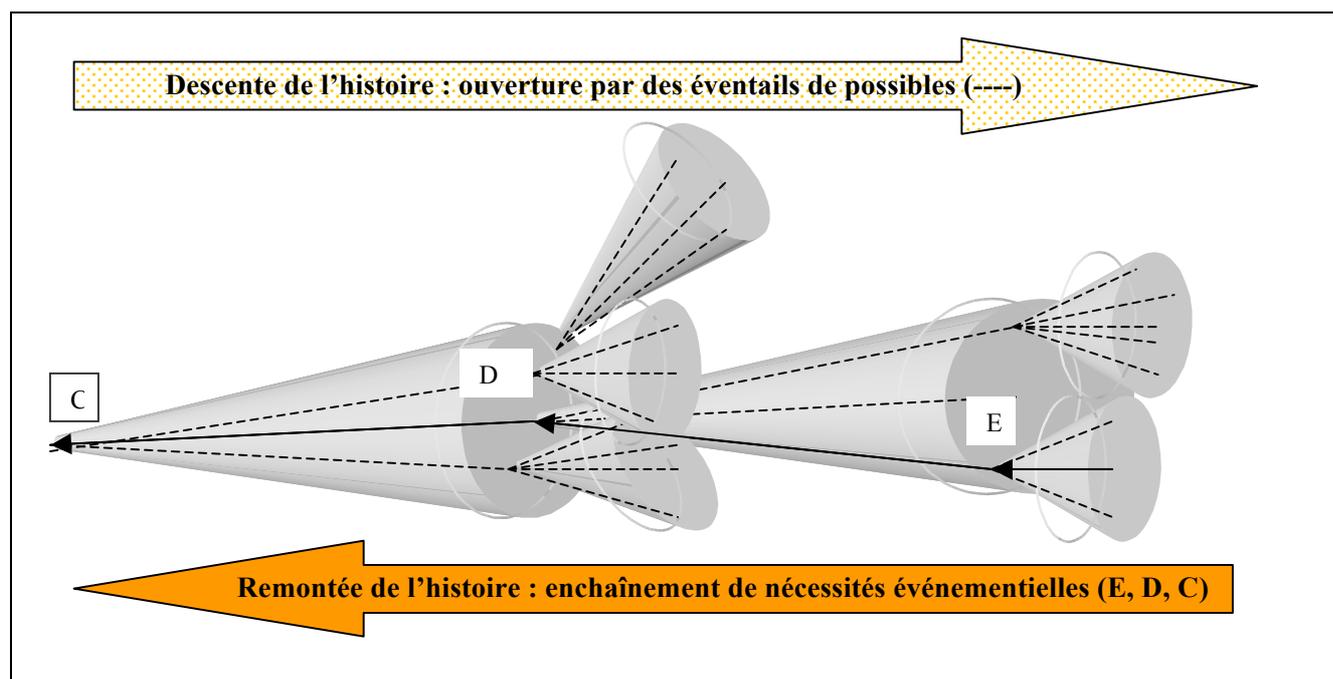


Figure 3. Contingence, possibles virtuels et nécessités événementielles de l'histoire

Après que l'actualisme est porté à ses limites, c'est donc dans une articulation subtile entre descente et remontée de l'histoire que se construit l'événement historique. Le fonctionnement des élèves peut être étudié à l'aide de ce deuxième repère.

4.2. Quelques exemples

4.2.1. La formation des ophiolites

Les ophiolites sont un assemblage de roches magmatiques (basaltes en *pillow lavas*, gabbros, péridotites), complété de sédiments siliceux appelés radiolarites, que l'on trouve au sein des chaînes de montagnes intracontinentales. Dans le cadre de la théorie de la tectonique des plaques, les scientifiques les considèrent comme des « *fragment(s) de lithosphère océanique (croûte et manteau) mis en place sur un continent et souvent pincé(s) dans une chaîne de montagnes* » (Nicolas, 1999, p. 189). Par la mobilisation d'une forme élaborée du principe méthodologique de l'actualisme, ils leur reconnaissent une origine océanique et admettent que leur mise en place sur les marges continentales (obduction) se fait dans un contexte de subduction au sens large (Orange Ravachol, 2003). Ils construisent donc la nécessité de deux phénomènes majeurs : 1) la formation conjointe d'un ensemble de roches magmatiques au niveau d'une dorsale océanique ; 2) le charriage d'un pan d'un tel fond océanique sur une marge continentale (obduction) couplé à des phénomènes tectoniques. La nature actuelle ne donne pas à voir un tel charriage. En revanche, elle en fournit quelques images éparses (des phénomènes compressifs intra-océaniques) que, par une expérience de pensée, les géologues intègrent sur un temps long de manière à obtenir l'explication du phénomène entier.

Confrontés au problème de la formation des ophiolites⁸⁷, les lycéens (première et terminale scientifiques, 16-17 ans) construisent aisément le phénomène magmatique par analogie avec le fonctionnement actuel d'une dorsale océanique. En revanche, ils sont nombreux à convoquer des compressions et des charriages au gré de leurs besoins, de manière *ad hoc*, et en faisant ainsi intervenir des événements du sens commun. La figure 4 en donne un exemple.

⁸⁷ Notre étude s'appuie sur un corpus de productions écrites obtenues auprès d'élèves de trois classes de première scientifique maîtrisant les aspects généraux de la tectonique des plaques.

<p>la composition du Mont Chenaillet est la composition de la croûte océanique. Elle est composée de péridolites, de gabbros et de basaltes en coarsité.</p> <p>Le gabbro et le gabbro sont issues de la fusion de la péridolite lors d'une divergence au niveau d'une dorsale.</p> <p>Cette croûte océanique a ensuite subi une convergence et est passée par dessus une partie du continent, ce qui l'a fait basculer.</p>	<p>Phénomène : la formation conjointe de roches magmatiques au niveau d'une dorsale océanique (actualisme d'analogie)</p> <p>Evénements <i>ad hoc</i> : - compression crustale ; - charriage sur le continent et bascule (catastrophisme immédiat)</p>
--	--

Figure 4. La formation des ophiolites par un élève de lycée (16-17 ans)

4.2.2. L'origine de la vie sur Terre

Les scientifiques contemporains s'accordent pour dire qu'il n'y a pas toujours eu des êtres vivants sur la Terre et que leur apparition s'est faite il y a près de 4 milliards d'années. Ils sont conduits à en faire un événement scientifiquement explicable pour plusieurs raisons :

1/ Il leur est impossible d'utiliser l'actualisme méthodologique :

- ce serait dire qu'il peut y avoir émergence de la vie aujourd'hui. Cela ne peut pas se concevoir tant le contexte terrestre a changé, notamment parce que la vie a assez rapidement produit de l'oxygène.
- La vie est à considérer comme une condition géologique nouvelle. Il y a la Terre d'avant la vie et la Terre d'après la vie. C'est une autre façon d'écarter l'actualisme.

2/ Des expériences de pensée leur permettent de construire cet événement. Dans le cadre évolutionniste où ils se placent, il est impossible qu'il n'y ait pas d'ancêtre commun à tous les êtres vivants. Comme la panspermie est en général écartée, la nécessité d'une émergence d'une première forme de vie ayant valeur d'ancêtre commun de toutes les formes actuelles et passées s'impose (une logique à contre-courant de l'histoire, figure 3). A partir d'une représentation de la Terre primitive, des scénarios possibles d'évolution moléculaires pouvant conduire aux premières formes vivantes sont élaborés (une logique de descente de l'histoire avec des bifurcations, figure 3).

C'est notamment par des entretiens que nous cernons l'approche qu'ont les lycéens de l'origine de la vie. En font-ils un phénomène ou un événement ? Beaucoup la banalisent, la reliant à de bonnes conditions environnementales, et en font ainsi un phénomène. D'autres entrent dans des raisonnements plus complexes. Dans l'espace de cette communication, nous retenons l'exemple de Céline (Cé, 15-16 ans), déjà étudié par ailleurs (Orange Ravachol, 2003 notamment), parce qu'elle dit ses difficultés à penser le début de la vie terrestre, alors qu'elle sait que les scientifiques l'envisagent. Comment raisonne-t-elle ?

Cé (20). *Ben j'essaie de ... C'est vrai que c'est assez compliqué. J'essaie de ve ... de nous et puis de remonter un peu en arrière*⁸⁸.

⁸⁸ Surligné par nous.

P(21). *Et tu trouves quoi, quand tu remontes? Comme ça.*

Cé. (22). *Ben j'ai vraiment du mal à trouver quelque chose, en fait.*

Cé. (26). *Ben y a des choses ... (...) Parce qu'il faut qu'il y ait une reproduction mais pour qu'il y ait une reproduction, faut déjà qu'il y ait ... qu'il y ait eu ... Faut toujours qu'il y ait quelque chose en fait! Donc c'est vrai que c'est assez ...*

P. *Faut toujours qu'il y ait quelque chose ...*

Cé (27). *Faut, faut ... C'est comme nous, pour qu'on ait, pour qu'on ait pu être là, c'est que derrière bon, y a eu nos parents, tout ça ... mais au début? Y a bien ... Pour qu'on arrive? C'est vrai que c'est assez ...*

Cé. (28) **Je trouve encore, tout le temps des personnes** mais à un moment où bon, ben, il doit y avoir quelque cho... A un moment, ça doit s'arrêter...

Céline remonte le temps, mais il s'agit d'une rétrodiction différente de celle des chercheurs (figure 3). Elle recourt à son expérience d'Homme, usant d'une sorte d'actualisme de 1^{er} niveau en faisant appel à la reproduction sexuée où il est impossible d'avoir des enfants sans parents. Mais ce recul itératif la place devant un choix impossible : accepter une série illimitée plongeant dans l'infini (figure 5) ou penser un commencement. Cela peut être l'un comme l'autre. Confrontée au contingent et à l'impossible, elle s'en remet à la permanence intemporelle de la vie.

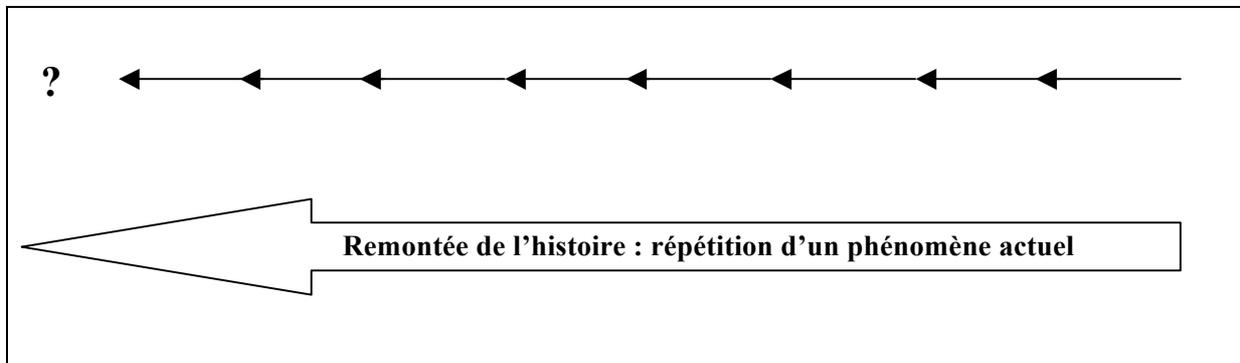


Figure 5. L'explication de l'origine de la vie par une élève de lycée (15-16 ans)

5. Conclusion

La prise en compte de la tension entre phénomène et événement renouvelle l'approche des problèmes pris en charge par les sciences de la vie et de la Terre ainsi que celle du fonctionnement des élèves qui s'en emparent.

Le principe de l'actualisme tend à phénoménaliser l'histoire. Les élèves, dont les lycéens (15-18 ans), en restent à la dimension analogique élémentaire de ce principe. Ne mobilisant pas un actualisme élaboré, ils ne construisent pas la nécessité d'un temps long constructeur de phénomènes mais des événements du sens commun.

L'événement et la catastrophe reviennent lorsqu'ils touchent l'Homme ou se rapportent à son origine ; d'une certaine façon, on pourrait alors imaginer que la pensée habituelle des élèves, qui s'appuie sur de petites histoires (Orange Ravachol, 2007), pourrait alors être proche de la pensée des scientifiques.

Mais, chez les scientifiques, c'est par une articulation complexe entre descente et remontée de l'histoire que l'événement prend un caractère de nécessité. La descente de l'histoire ouvre sur des bifurcations et un panel contrôlé de possibles, la remontée de l'histoire stabilise des nécessités événementielles et assoit l'unicité de l'histoire. Des élèves effectuent ce type de raisonnement mais en convoquant des références du sens commun, d'où des décalages avec ce que font les scientifiques.

Maintenant que les enjeux sociétaux (et donc de la place de l'Homme) sont de plus en plus pris en compte dans les programmes des sciences de la vie et de la Terre, le questionnement du couple problématique phénomène/ événement a toute sa pertinence (Orange Ravachol, 2010). En l'état, ces programmes ne font pas de la construction de l'événement un enjeu d'apprentissage majeur. La tendance commune est à la simplification des relations temporalité/causalité. Le risque est grand d'un cantonnement des élèves dans de petites histoires de la Terre ou des Hommes.

Bibliographie

- Bruner, J. (1997). ... *car la culture donne forme à l'esprit*. Paris : Eshel.
- Devillers, C. & Tintant, H. (1996). *Questions sur la théorie de l'évolution*. Paris: PUF.
- Gale, G. (1982). Le principe anthropique. *Pour la Science*, n°52, février 1982, pp.46-55.
- Gohau, G. (1997). Naissance de la méthode "actualiste" en géologie. In G. Gohau, dir., (1997). *De la géologie à son histoire*, CTHS, pp. 139-149.
- Gould, S.J. (1994). L'évolution de la vie sur la Terre. *Pour la Science*, n° 206, décembre 1994, pp.90-98.
- Gould, S.J. (1989/1991). *Wonderful Life, The Burgess Shale and the Nature of History*. New York : W.W. Norton & Company, Inc. (1991, *La vie est belle, Les surprises de l'évolution*. Paris: Seuil, pour l'édition française).
- Hooykaas, R. (1970). *Continuité et discontinuité en géologie et biologie*. Paris: Seuil
- Hooykaas, R. (1963). *The principle of uniformity in geology, biology and theology*. Leiden : E.J. Brill.
- Nicolas, A. (1999). *Les montagnes sous la mer*. Orléans: Editions BRGM.
- Orange Ravachol, D. (2010). *Problématisation fonctionnaliste et historique dans la construction de savoirs et les apprentissages en sciences de la Terre et de la vie : entre continuité phénoménale et discontinuité événementielle*. Mémoire de recherche pour l'H.D.R. Université de Nantes.
- Orange Ravachol, D. (2007). Des mises en histoire aux savoirs scientifiques : le cas de lycéens confrontés à quelques problèmes de tectonique des plaques. *ASTER*, 44, 41-68.
- Orange Ravachol, D. (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. (disponible sur : <http://tel.archives-ouvertes.fr/> , consulté le 10 septembre 2011)
- Stengers, I. (1997). *Sciences et pouvoirs. La démocratie face à la technoscience*. Paris : La Découverte.
- Tintant, H. (1986). La loi et l'événement. Deux aspects complémentaires des Sciences de la Terre. *Bulletin de la Société géologique de France*, 1986, (8), t.II, n°1, p.185-190.

Les enseignants de technologie face aux démarches d'investigation prescrites dans le secondaire

Martine Paindorge, IUFM de Lorraine ; UMR STEF, Ens Cachan, Ens de Lyon – Ifé ; martine.paindorge@iufm.uhp-nancy.fr

Michèle Prieur, Ens de Lyon- Ifé, S2HEP, EducTice ; michele.prieur@ens-lyon.fr
&

Réjane Monod-Ansaldi, Ens de Lyon- Ifé, S2HEP, EducTice ; rejane.monod-ansaldi@ens-lyon.fr

Mots clés : Démarche investigation, technologie collège, démarche technologique, professeurs technologie

Résumé : En France, pour l'enseignement secondaire, des prescriptions récentes privilégient un enseignement basé sur des démarches d'investigation (DI) en mathématiques, sciences physiques et chimiques, sciences de la vie et de la Terre, technologie. Cette communication examine comment les professeurs de technologie reçoivent ces DI qui constituent pour eux une nouveauté. L'analyse des programmes de technologie parus depuis 1985 montre qu'ils sont davantage familiers d'une démarche technologique. Une enquête en ligne réalisée auprès d'enseignants des différentes disciplines concernées par les DI révèle des spécificités des professeurs de technologie. Ils identifient moins de modalités d'apprentissage permises par les DI, présentent beaucoup d'avis divergents à la question sur le statut de l'hypothèse et expriment le plus de difficultés à mettre en œuvre des DI.

1. Introduction

En France, l'introduction commune des programmes de mathématiques, sciences physiques et chimiques (SPC), sciences de la vie et de la Terre (SVT), technologie⁸⁹, préconise au collège la mise en œuvre de démarches d'investigation (DI). Ces prescriptions de 2008 s'inscrivent dans la continuité de l'école primaire et tendent à favoriser une convergence des disciplines pour le développement d'une culture scientifique et technologique. Les professeurs de technologie étaient auparavant plus habitués à mettre en œuvre une démarche qualifiée de technologique.

Cette proposition de communication montre d'abord la nouveauté de DI explicitement nommées dans les programmes de technologie collège puis présente les résultats d'une enquête relative aux représentations des professeurs de technologie quant aux DI, comparativement à celles des professeurs des autres disciplines.

⁸⁹ L'ordre des disciplines proposé dans l'ensemble de l'article est un ordre alphabétique.

2. Démarche(s) d'investigation(s) versus démarche(s) technologique(s) ?

Même si la technologie existe depuis 1962, ce sont les travaux de la Commission Permanente de Réflexion sur l'Enseignement de la Technologie (COPRET) de 1983⁹⁰ qui ont défini ses finalités comme enseignement de culture générale, sur lesquelles reposent encore en partie les programmes actuels. Depuis 1985, date de mise en place des programmes issus des travaux de la COPRET, les contenus ont changé plusieurs fois. L'analyse de bulletins officiels montre que le terme de démarche est associé à technologique, à projet, à projet technique, puis à investigation et résolution de problèmes techniques.

Ainsi, les programmes de 1985⁹¹ indiquent que « *l'enseignement de la technologie permet la compréhension et l'appropriation des démarches suivantes : conception, étude, réalisation, essai et utilisation de produits techniques* ». Cette idée de démarches spécifiques à la discipline perdure en 1995⁹² puis jusque dans les programmes de 2005⁹³ mais aussi en 2008⁹⁴ où une des finalités de la technologie est de « *conduire une démarche technologique qui se caractérise par un mode de raisonnement fait de transpositions, de similitudes de problématiques et d'analogies tout en tenant compte des contraintes techniques et socioéconomiques* ». D'abord plurielles dans le texte de 1985, la démarche est notée ensuite au singulier, ce qui peut lui conférer un aspect encore plus spécifiquement lié à la discipline. Le texte de 2008 (p.10) précise « *au cycle d'orientation, l'accent est porté sur la formation méthodologique relative à la démarche technologique qui permet à l'élève de s'investir dans le développement de produits, de façon autonome, collaborative et créative, débouchant sur une production collective* ».

À cette acception de « démarche technologique » prise dans un registre épistémologique s'ajoute un registre pédagogique. Le texte de 1985 précise que « *pour permettre l'acquisition des démarches et méthodes propres à la technologie, il convient de privilégier au collège, les productions réalisées par les élèves selon la logique du projet technique* ». Ce double registre reste présent en 1995 : « *La mise en œuvre de la démarche de projet, qui donne du sens aux activités des élèves dans le cadre de projets techniques conduisant à des réalisations, reste un objectif important. Elle devra être acquise à la fin de la scolarité en collège* ».

La démarche elle-même devient alors objet d'apprentissage, ce que rappellent les documents d'accompagnement de 1996⁹⁵ (p.3) : « *la technologie privilégie la construction progressive d'un modèle général de la démarche de projet technique qui figure désormais comme un horizon à atteindre à la fin de la scolarité du collège* ». Cette période de l'enseignement d'une démarche de projet a fait l'objet de travaux de recherche (Ginestié, 1999 ; Crindal, 2001).

En 2005, les programmes créent une rupture en précisant que « *le professeur propose à l'élève des activités qui relèvent de deux démarches, une démarche d'investigation à privilégier dans les situations d'analyse et de compréhension, une démarche de résolution de problème technique qui permet d'aborder les phases de création, d'organisation, et de réalisation* ». Si l'expression « résolution de problèmes techniques » n'est pas inconnue en technologie, celle de « démarche d'investigation » est nouvelle. Pourtant la technologie n'est pas citée dans l'introduction commune aux programmes des disciplines scientifiques de 2007⁹⁶ qui définit

⁹⁰ Cf. Technologie, textes de référence. (1992). Sèvres : Centre International d'Etudes Pédagogiques.

⁹¹ Ministère de l'Education Nationale. (1985). Collèges : programmes et instructions. Paris : CNDP.

⁹² Ministère de l'Education Nationale. (1995). Vers le nouveau collège : programmes de la classe de 6e.

⁹³ Bulletin Officiel n°3 du 20 janvier 2005, pp.109-124.

⁹⁴ Bulletin Officiel n°6 du 28 août 2008, pp.1-27.

⁹⁵ Ministère de l'Education Nationale. (1996). Documents d'accompagnement sixième.

⁹⁶ Bulletin Officiel n°6 du 19 avril 2007, pp.4-10.

une séquence d'investigation assez normée pour toutes les disciplines. Elle l'est dans celle de 2008 qui reprend le même canevas indicatif. Puis le programme de technologie précise « *en technologie, la démarche d'investigation vise à observer le comportement, le fonctionnement, la constitution d'un objet technique ou d'un produit, à rechercher des informations et à identifier les solutions retenues ainsi que les principes qui le régissent* ». À nouveau DI et démarches de résolution de problèmes techniques sont associées à une démarche technologique qui, elle, relève plutôt d'un registre épistémologique : « *Cette première démarche d'investigation est complétée au cycle central, par une démarche de résolutions de problèmes techniques [...] enfin, en troisième, l'élève met en œuvre une démarche technologique pour conduire un projet, proposer des solutions techniques et finaliser sa démarche par une réalisation collective* ».

Cette analyse des prescriptions montre la nouveauté que constituent les DI dans la spécialité des enseignants de technologie du collège. Au lycée, la discipline dénommée Technologie n'existe plus en tant que telle mais parmi les enseignements d'exploration, ceux de « Création et innovation technologique (CIT)⁹⁷ » et de « Sciences de l'Ingénieur (SI) en seconde⁹⁸ » s'appuient sur « *les acquis des programmes de Technologie collège* ». Cependant, l'expression « démarche d'investigation » n'apparaît pas. Toutefois, avec des visées spécifiques, appropriation de démarches de créativité d'une part, de démarches de conception d'autre part, ces deux enseignements proposent des activités de questionnement, d'analyse, de recherche de solutions, de modélisation qui s'apparentent à des DI. Les instructions officielles relatives au cycle terminal de la section S-SI⁹⁹ renforcent également cette perception de démarches d'investigation mises en œuvre dans un contexte technologique, avec des visées spécifiques de la discipline.

Comment les enseignants de technologie reçoivent-ils cette prescription relative à la mise en œuvre de démarches qui relève d'une investigation ? Quelles sont leurs représentations quant aux démarches d'investigation ? Comment se situent-ils par rapport à leurs collègues de sciences expérimentales et de mathématiques ? Dans le cadre de l'observatoire OCEP (Observatoire, Curricula, Evaluations, Pratiques) de l'Institut français de l'éducation, une enquête sur les DI a été réalisée au printemps 2011 auprès d'enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie (Monod-Ansaldi & Prieur, 2011).

3. Une enquête sur les représentations associées aux DI

Si les DI sont explicitement prescrites au collège, des enseignements s'appuyant sur l'investigation sont repérés dans les programmes de lycée pour ces quatre disciplines. Aussi avons nous choisi d'interroger les enseignants de collège et ceux du lycée. Dans cet article, seules sont étudiées les réponses révélant des spécificités marquées de la technologie.

⁹⁷ Bulletin officiel spécial n° 4 du 29 avril 2010.

⁹⁸ Bulletin officiel spécial n° 4 du 29 avril 2010.

⁹⁹ Bulletin officiel spécial n° 9 du 30 septembre 2010.

3.1. Méthodologie d'enquête et d'analyse des résultats¹⁰⁰

3.1.1 Elaboration et diffusion du questionnaire

Afin de permettre une diffusion en grand nombre et des réponses préservant l'anonymat, la solution d'un questionnaire en ligne¹⁰¹ a été retenue. Il a été élaboré en se référant aux instructions officielles, à une bibliographie concernant les DI et les représentations des enseignants sur ces démarches (Boilevin & Brandt-Pomares, 2011 ; Coquidé, Fortin & Rumelhard, 2009 ; Leach, 2006 ; Matheron, 2010) et à des entretiens semi-dirigés réalisés auprès de six enseignants des disciplines concernées. Le questionnaire propose 33 questions fermées et deux questions ouvertes, l'ensemble de ces questions ayant pour objet de caractériser le répondant et de mieux connaître ses représentations sur les DI, sur la construction des savoirs de sa discipline et sur les modalités d'enseignement dans sa discipline.

Les professeurs ont été sollicités via différents réseaux professionnels et associatifs.

3.1.2 Caractéristiques de l'échantillon de répondants

Notre échantillon, constitué de 2606 professeurs, comprend 478 enseignants de mathématiques, 771 de SPC, 702 de SVT et 655 de technologie. Sa comparaison avec la population de référence¹⁰² montre une relative conformité des caractéristiques de notre échantillon à l'intérieur de chacune des disciplines. Cependant le niveau collège est un peu sur-représenté dans l'échantillon en SPC (+15%) et sous-représenté en technologie (-8%, la DEPP indique que 99% des professeurs de technologie sont en collège, ils sont 91% parmi les répondants).

3.1.3. Analyse des réponses

Pour les réponses aux questions fermées, des tris croisant la discipline et les modalités de réponse sont effectués afin de faire émerger des convergences et des spécificités disciplinaires.

Les convergences de réponses (fort pourcentage de choix d'une modalité par une discipline) ont été identifiées comme témoins de consensus à l'intérieur d'une discipline. Afin d'évaluer la significativité des liens entre la discipline et les réponses, les tests du khi2 d'indépendance ont été observés.

L'analyse des réponses aux questions ouvertes a été réalisée à l'aide du logiciel Alceste d'analyse statistique de corpus de texte. Pour chaque discipline, ce logiciel met en évidence différentes classes de segments de textes caractérisant chacune un registre lexical.

3.2. Des représentations spécifiques des enseignants de technologie

Les résultats présentés ci-après mettent l'accent sur des spécificités des réponses des professeurs de technologie.

¹⁰⁰ Pour plus de précision, consulter la présentation de la méthodologie dans le rapport de l'enquête p 9 à 19 : <http://ife.ens-lyon.fr/ife/ressources-et-services/ocep/dispositifs/DI/rapport-enquete-representationsdes-enseignants-du-secondaire-de-mathematiques-spc-svt-et-technologie>.

¹⁰¹ Lien vers le formulaire de l'enquête en ligne: <http://www.inrp.fr/enquetes/index.php?sid=87982>.

¹⁰² La population de référence, pour l'année 2009-2010, fournies par la Direction de l'Évaluation, de la Prospective et du Pilotage (DEPP) du Ministère de l'Éducation nationale.

3.2.1. Les difficultés à mettre en oeuvre des DI dans la classe

Les répondants déclarent à plus de 80% avoir déjà mis en oeuvre des DI, les professeurs de technologie (91 %) se situent entre leurs collègues de sciences expérimentales (plus de 96%) et ceux de mathématiques (84%). Pourtant cette pratique semble ne pas être facile à installer.

Une question sondait l'accord des enseignants sur les difficultés liées aux DI à partir de la question suivante « *Selon vous, les difficultés à proposer des démarches d'investigation dans l'enseignement sont...* ». Les enseignants de toutes les disciplines expriment des difficultés, mais ceux de technologie sont toujours plus nombreux à être « *tout à fait d'accord* » avec les difficultés citées dans le formulaire, que ces difficultés soient liées au matériel disponible (58% contre 20 à 30% dans les autres disciplines), au temps de préparation (44% contre 22 à 24%), à la rigidité de la démarche (17% contre 8 à 11%), au manque de formation (43% contre 9 à 23%) ou encore de connaissances sur les sujets étudiés (22% contre 3 à 10%).

Ce premier constat est confirmé par l'analyse des réponses à la question ouverte *Pour vous, que recouvre l'expression « démarche d'investigation » dans le cadre de la classe ?* Chez les répondants de technologie, une des cinq classes de segments de texte identifiée est caractérisée par des termes marqueurs d'intensité (*très, plus, beaucoup, trop*). Par ailleurs, le terme *démarche*, est associée aux adjectifs *grand, difficile*, aux noms *moyen, outils, effectif, formation, manque, limites*. Le registre lexical de cette classe exprime donc des difficultés ressenties à la mise en œuvre de DI. L'analyse des réponses à cette question dans les autres disciplines, ne montre pas de classe équivalente en mathématiques. Si elle existe en SPC et SVT, elle ne représente que 8% des segments de texte analysés et classés contre 27% en technologie.

3.2.2. Une description spécifique des DI

Dans les différentes disciplines, l'analyse des réponses à la question ouverte sur la définition d'une DI donne des classes dont les registres lexicaux permettent de caractériser *la DI* telle qu'elle est décrite dans les programmes, soit une méthode scientifique normée. Cette analyse montre également des classes plus spécifiques aux disciplines. En technologie, on obtient une classe, représentée par 12% des segments de texte analysés et classés, caractérisée par des termes plus spécifiques à cette discipline. Le registre lexical de cette classe est centré sur le terme *comprendre*, il mobilise également les termes *pratiquer, appliquer, application, justifier, fabriquer, améliorer* qui appartiennent de façon exclusive ou presque exclusivement à cette classe. Les termes suivants sont souvent reliés : *observation/maquette, système/maquette, comprendre/expliquer, analyser/justifier, objet/technique*. Ce registre lexical montre des spécificités d'une DI en technologie dont l'objectif serait de comprendre les solutions techniques mobilisées pour réaliser un objet technique.

3.2.3. Les modalités d'apprentissages permises par les DI

Les réponses à la question sur les modalités d'apprentissage présentent le plus fort taux de réponse *ne sais pas* chez les enseignants de technologie (1% à 8% selon les modalités de réponse contre 1% à 5% chez les enseignants de mathématiques et 1% à 4% chez les enseignants de SVT et SPC). Par ailleurs, si une très forte majorité des enseignants des différentes disciplines choisit des propositions qui sont en cohérence avec des modalités d'apprentissage de type constructiviste, il y a significativement plus d'enseignants de technologie qui ne sont pas d'accord avec ces propositions : *déconstruire des connaissances erronées* (30% de désaccord contre 15 à 21% dans les autres disciplines), *avoir la possibilité de se tromper* (8% contre 2 à 5%) et *mettre à l'épreuve leurs connaissances initiales* (13% contre 6 à 10%). Ces réponses montrent que les enseignants de technologie expriment une

moins bonne maîtrise du rôle des DI dans les apprentissages des élèves que les enseignants des autres disciplines et qu'ils la relient moins à des démarches de type constructivistes.

3.2.4. L'hypothèse, un objet mal délimité

Une question visait à identifier le statut donné par les enseignants à l'hypothèse. C'est chez les enseignants de technologie que l'on observe la plus grande dispersion dans les réponses.

La moitié des répondants choisissent une proposition définissant l'hypothèse d'une démarche scientifique hypothético-déductive (*une proposition provisoire destinée à être éprouvée*), 24% choisissent une proposition définissant l'hypothèse en mathématiques (*une supposition non démontrée sur laquelle on s'appuie pour résoudre un problème*). Les autres répondants choisissent encore deux autres propositions qui s'éloignent du statut épistémologique de l'hypothèse : pour 15 %, il s'agit de *n'importe quelle idée au sujet d'un problème donné*, autrement dit l'hypothèse n'est contrainte ni par le problème, ni par les acquis préalables, et pour 11%, l'hypothèse est *une proposition vérifiable correspondant à une connaissance à acquérir*, autrement dit l'hypothèse devient un objectif d'apprentissage.

A l'issue de cette enquête, les réponses des professeurs de technologie aux questions sur les DI conduisent à penser qu'ils en ont une perception différente de celles des professeurs des autres disciplines. Ce sont ceux qui identifient le plus mal les modalités d'apprentissage permises par les DI, qui ont le plus d'avis divergents et de difficultés à répondre à la question sur le statut de l'hypothèse et expriment le plus de difficultés à mettre en œuvre des DI.

4. Perspectives

Le travail présenté ici montre combien l'épistémologie de la technologie d'une part, l'histoire des pratiques d'enseignement de cette discipline d'autre part, influencent la perception et la mise en œuvre des DI prescrites. Une réflexion sur les relations existant entre l'investigation et les démarches en technologie permettrait d'accompagner les enseignants dans ces nouvelles prescriptions. Par ailleurs, dans une perspective co-disciplinaire qui respecte et articule les positions épistémologiques de chacune des disciplines (Chevallard 2004 ; Prieur, Sanchez & Aldon, 2011), un travail commun d'explicitation des spécificités et de sensibilisation aux modes de pensées des quatre disciplines paraît nécessaire pour favoriser leur mise en convergence.

Bibliographie

Chevallard, Y. (2004). Vers une didactique de la codisciplinarité - Notes sur une nouvelle épistémologie scolaire. Communication aux Journées de didactique comparée 2004 (Lyon, 3-4 mai 2004). Version retouchée du 19 mai 2004.

Coquidé, M. (2008). Les disciplines scolaires et leurs enseignements spécialisés : distinguer pour pouvoir articuler et travailler ensemble. In A. Hasni & J. Lebeaume (Eds). *Interdisciplinarité et enseignement scientifique et technologique* (pp. 51-74). Sherbrooke : Éditions du CRP et Lyon : INRP.

Crindal, A. (2001). Les figures de la démarche de projet en technologie chez les enseignants, les formateurs et les élèves. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation. Cachan, ENS.

Ginestié, J. (1999). La démarche de projet industriel et l'enseignement de la technologie. *Education technologique*, 4, pp. 4-13. Paris : Delagrave.

Robine, F. (2009). Un renouveau de l'enseignement des sciences (coord). RIES, n° 51, septembre 2009.

Boilevin, J.-M., & Brandt-Pomares, P. (2011). Démarches d'investigation en sciences et en technologie au collège : les conditions d'évolution des pratiques In M. Grangeat (Ed.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (pp. 51-62.). Lyon: Ecole Normale Supérieure.

Coquidé, M., Fortin, C., & Rumelhard, G. (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites. *Aster*, 79, 49-76.

Leach, J. (2006). *Epistemological perspectives in research on teaching and learning science. Communication. Research on epistemology: bridging disciplinary boundaries and theoretical perspectives*. Paper presented at the American Educational Research Association, San Francisco.

Monod-Ansaldi, R., Prieur, M. (2011), *Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie*. Rapport d'enquête IFÉ – ENS de Lyon. Décembre 2011.

Matheron, Y. (2010). *Démarche d'investigation et Parcours d'Etude et de Recherche en mathématiques : entre injonctions institutionnelles et étude raisonnée des conditions et contraintes de viabilité au sein du système*. Paper presented at the XVIIème colloque de la CORFEM, Caen.

Prieur, M., Sanchez, E., & Aldon, G. (2011). Enseignement scientifique co-disciplinaire en classe de seconde : éléments à prendre en compte pour sa mise en oeuvre. In M. Grangeat (Ed.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (pp. 151-182). Lyon: Ecole Normale Supérieure.

L'apport de Vygotski à l'analyse de débats sur une Question Socialement Vive (QSV) relative aux nanotechnologies

Nathalie Panissal, Univ. Toulouse II, IUFM Midi-Pyrénées ; UMR EFTS, Univ. de Toulouse, ENFA, GRIDIFE ; nathalie.panissal@univ-tlse2.fr

&

Emmanuelle Brossais, Univ. Toulouse II, IUFM Midi-Pyrénées ; UMR EFTS, Univ. de Toulouse, ENFA, GRIDIFE ; emmanuelle.brossais@univ-tlse2.fr

Mots clés : nanotechnologies, questions socio-éthiques, question socialement vive, débat, enseignement secondaire

Résumé : Dans le cadre de la didactique des Questions Socialement Vives, nous examinons les savoirs appris par des lycéens (terminale S) concernant les controverses liées aux nanotechnologies. Les élèves abordent les thèmes du bénéfice pour tous et du contrôle des nanotechnologies au moyen de discours cumulatifs. Dans une perspective vygotkienne, nous montrons la mobilisation dans un débat d'instruments psychologiques (analogies, reformulations) qui permettent de co-construire des savoirs liés aux questions socio-éthiques : augmentation du corps humain et toxicité. L'existence de discours exploratoires et la combinaison des discours cumulatifs et exploratoires fonde cette co-construction dans les échanges dialogiques. Nous concluons sur l'intérêt du débat, en tant que construction sociale du savoir, pour enseigner les risques et promesses des nanotechnologies au sein d'une éducation citoyenne aux nanotechnologies. Nous montrons la pertinence du cadre théorique vygotkien pour l'analyse de débats sur des QSV.

1. Introduction

Le recours aux débats est un outil de formation pour l'enseignement des SSI (socio-scientific issues). En France, une variante des SSI (Sadler, 2009) est abordée sous les termes de Questions Socialement Vives (QSV) qui font à la fois l'objet de débats relatifs aux savoirs savants de référence dans la sphère scientifique, sociale et médiatique, et dans la sphère scolaire lors de leur enseignement (Legardez et Simmoneaux, 2006 ; Simmoneaux et Legardez, 2011). Les QSV interrogent les pratiques sociales et sont le reflet des représentations sociales et de systèmes de valeurs dont il est important de débattre : elles présentent ainsi un potentiel de débat dans la classe. Les QSV ont en commun avec les SSI d'être des questions ouvertes mettant en jeu des problèmes mal structurés, elles sont complexes et soulèvent des incertitudes et englobent des savoirs issus des humanités et des sciences. Enseigner les QSV contribue à l'alphabétisation scientifique incluant une analyse des risques, une analyse des discours politiques et de la gouvernance économique. Les nanotechnologies s'étendent à des champs d'application nombreux et variés : automobile, bâtiment, textile, cosmétique, agroalimentaire, médical. Dans le cadre de leur développement, des enjeux économiques, sanitaires et environnementaux, éthiques et sociaux émergent (Lewenstein, 2005 ; Bensaude-Vincent, 2009 ; Benoit Browayes, Detcheverry, Leuret, 2010). Les nanotechnologies sont porteuses de nombreuses QSV pour lesquelles il n'y a pas une

seule solution valide et rationnelle. Elles touchent notamment la question de la condition humaine, de la dignité et de la liberté de l'homme, le sens du progrès scientifique dans le champ médical. Nous présentons une innovation pédagogique d'éducation citoyenne aux nanotechnologies au lycée. L'objectif de cette innovation (Panissal, Brossais, Vieu, 2010) est de permettre aux élèves d'être alphabétisés sur le plan techno-scientifique et de contribuer à l'éducation à la citoyenneté. Dans cette communication, nous nous situons dans le cadre de la didactique des SSI portant sur l'analyse de l'argumentation socio-scientifique des élèves, c'est-à-dire la façon dont ils construisent, justifient leurs opinions et conclusions relatives à une question socio-scientifique. Nous considérons que les interactions sociales entre pairs jouent un rôle important dans la construction de la pensée (Vygotski, 1985) : elles permettent le développement du raisonnement individuel. La dimension dialogique de l'activité verbale des thèses vygostkiennes nous invitent à discuter du débat entre élèves considéré comme propice à la mise en œuvre d'instruments psychologiques (o.c.) favorisant la construction de questions sociales et éthiques (SEI : Social Ethical Issues) des nanotechnologies dans le monde contemporain et plus largement l'élaboration des rapports que science et société entretiennent.

2. Analyse a priori des savoirs à enseigner : les controverses associées aux nanotechnologies

Dans ce contexte d'enthousiasme provoqué par les nanotechnologies, des questions socio-éthiques (SEI) ont émergé dans la société civile (Benoit Browayes, Colin Detcheverry et Lebret, 2010) et dans le champ de la philosophie des sciences (Lewenstein, 2005, Sandler, 2009, Bensaude-Vincent, 2009).

Lewenstein (2005) recense de nombreux rapports sur les questions socio-éthiques liées aux nanotechnologies et en produit une catégorisation. Il recense ainsi les questions environnementales (toxicité, ressources, pollution) ; les questions de marchés de travail, les questions d'éducation (introduction de l'interdisciplinarité dans les curricula, formation des étudiants...), les questions de vie privée (bases de données d'individus, contrôle d'accès aux données privées) ; les questions de politique nationale et internationale (pays développés et pays émergents) ; les questions de propriété intellectuelle et enfin la question de l'augmentation de l'homme (naturel/artificiel, définition de l'homme "normal"). En France, les enjeux éthiques et sociaux sont structurés autour de quatre préoccupations : (1) "comment assumer les nanomatériaux produits ?" renvoie aux questions de toxicité et de contrôle ; (2) "le nanomonde et son électronique ubiquitaire sont-ils souhaitables ?" touche aux potentielles atteintes aux libertés individuelles ; (3) "quelles sont les finalités des nanotechnologies ?" témoignent des dérives possibles en termes d'artificialisation de la nature et de l'augmentation de l'être humain ; et (4) "qui aura accès aux bénéfices ou sera exposé aux risques des nanotechnologies ?" portent sur les enjeux d'équilibre entre Nord et Sud, entre population économiquement favorisée ou non (Benoit Browayes, Colin Detcheverry et Lebret, 2010, p. 17). Bensaude-Vincent (2011) reprend l'inventaire des approches ELSI (Ethical, Legal and Societal Impacts) : (1) Contrôle du risque, coût/bénéfice (2) Vie privée, liberté individuelle, (3) sécurité, (4) Augmentation humaine and (5) Justice sociale. Selon elle, parmi les avantages de cette approche on trouve les alertes sur la santé et la sécurité et la sensibilisation des scientifiques et des politiques. En revanche, elle leur reproche de donner l'illusion de la maîtrise et du contrôle par sa présentation sous forme d'inventaire standard encourageant une attitude managériale. Dans le contexte des recherches ELSI, de nombreux comités d'éthique

ont vu le jour (COMETS¹⁰³, CCNE¹⁰⁴, UNESCO). Des initiatives publiques d'engagement se sont développées : conférences de citoyens, débats, débats publics du CNDP en France en 2009, de nombreuses publications et des sites d'informations tels Vivagora¹⁰⁵, AVICENN¹⁰⁶, ACEN¹⁰⁷, Nanotechnology Citizen Engagement Organization¹⁰⁸.

Les modes d'exploration des controverses pour les citoyens sont d'une part les sites d'informations dédiées aux nanotechnologies (cf. ci-dessus) ou la Direction Générale de la Santé et des Consommateurs de la Commission européenne¹⁰⁹ et d'autre part la participation à des ateliers citoyens comme ceux organisés dans le projet XENOP¹¹⁰.

Dans cette communication, nous souhaitons rendre compte d'une manière dont les controverses liées aux nanotechnologies selon un mode collectif de construction sont transposées au lycée pour un enseignement comprenant les nouvelles interactions sciences-société dans une société post-moderne du risque (Beck, 2001).

3. Le rôle des interactions sociales dans l'exploration des controverses liées aux nanotechnologies

Nous nous inscrivons dans une perspective vygotkienne de co-construction des savoirs entre personnes, soit une construction sociale de la pensée. Si Vygotski reconnaît l'importance de l'aide d'autrui, l'accent est mis concomitamment sur l'activité du sujet qui s'approprie ces connaissances et les fait devenir siennes (Vygotski, 1985). Le développement artificiel ou culturel vient relayer un premier développement considéré comme plus naturel au sens où celui-ci n'est pas encore instrumenté par les outils de la culture. Sous l'acception culturelle, le développement consiste en l'appropriation des outils initialement excentrés dans leurs usages. Le développement est alors considéré comme acculturation ou construction progressive d'un système complexe de fonctions psychiques qui ne se réalisent que dans des pratiques de communication et de coopération sociale. Parmi les instruments psychologiques, notons « le langage, les diverses formes de comptage et de calcul, les moyens mnémotechniques, les symboles algébriques, les œuvres d'art, l'écriture, les schémas, les diagrammes, les cartes, les plans, tous les signes possibles, etc. » (Vygotski, 1985, 38). Nous nous interrogeons sur la pertinence du cadre théorique vygotkien pour l'analyse de débats sur des QSV au travers des questions de recherche : Quels savoirs relevant des controverses associées aux nanotechnologies les élèves mettent-ils en jeu dans les échanges dialogiques ? Les élèves co-construisent-ils ces savoirs ?

¹⁰³ Comité d'Ethique du Centre National de la Recherche Scientifique en France.

¹⁰⁴ CCNE : Comité consultatif National d'Ethique.

¹⁰⁵ Association produisant de l'information et des procédures de concertation sur les développements scientifiques et techniques <http://www.vivagora.fr/>

¹⁰⁶ Association de Veille et d'Information Civique sur les Enjeux des Nanosciences et des Nanotechnologies <http://avicenn.fr/wakka.php?wiki=PagePrincipale>.

¹⁰⁷ Alliance citoyenne sur les enjeux des nanotechnologies. <http://nano.acen-cacen.org/Accueil>

¹⁰⁸ <http://www.nanoceo.net/>

¹⁰⁹ <http://ec.europa.eu/health/opinions2/en/nanotechnologies/index.htm> et en français

<http://copublications.greenfacts.org/fr/nanotechnologies/liens/index.htm>.

¹¹⁰ Le Projet XENOP est une recherche-action menée par VivAgora en partenariat avec le cabinet Mutadis. Soutenu par la Direction Générale de la Santé, il vise à approfondir l'expérimentation, amorcée par le Nanoforum, de nouvelles formes d'interactions entre les parties prenantes qui soutiennent la société civile dans sa recherche d'informations et de montée en compétence.

4. Méthode

4.1. Contexte : déroulement de l'expérimentation

L'ingénierie d'enseignement vise le développement d'une culture scientifique à des fins citoyennes soit une mise en perspective critique des avancées scientifico-technologiques en nanotechnologies. Cette innovation didactique comprend des cours sur des savoirs liés aux nanotechnologies, une pratique expérimentale en laboratoire et une formation aux débats entre élèves sur une question socialement vive. Ces trois temps s'articulent pour concourir à la visée principale de cette expérimentation : la compréhension des interactions sciences-sociétés par les élèves spécifiquement dans le domaine des nanotechnologies.

Le fil conducteur retenu pour cet enseignement se rapporte au domaine d'étude des chercheurs du laboratoire partenaire soit l'étude d'un nano-système pour le diagnostic médical. La manipulation concerne le nanodispositif de biodétection, en cours d'étude au sein du LAAS-CNRS et ayant fait l'objet d'un brevet récent ; elle met en pratique les savoirs sélectionnés pour les cours. Les cours au lycée portent sur les concepts du programme de la terminale scientifique qui sont nécessaires à la conception, fabrication et mesure de ce nanosystème de biodétection. Ce dispositif fonctionne sur une détection optique mettant en jeu la diffraction de la lumière (cours de physique), la fabrication du dispositif est effectuée par nanolithographie douce pour laquelle il faut fabriquer un moule en polymère et fonctionnaliser chimiquement les surfaces du substrat (cours de chimie), la biodétection concerne l'interaction entre un anticorps et un antigène (cours de Sciences de la Vie et de la Terre), la sensibilité de la détection est modélisable (courbe en $\sin x / x$) par l'analyse du signal de diffraction (cours de mathématiques). Les lycéens peuvent décider d'expérimenter particulièrement tel ou tel élément de cette chaîne (nanofabrication, diffraction optique, modélisation ou protocole biologique), la durée d'une journée ne permettant pas de réaliser l'intégralité du procédé. Les lycéens réalisent cette pratique expérimentale au sein du laboratoire de recherche, au contact des chercheurs.

L'objectif du débat est de mobiliser et de confronter des idées, des faits, des informations, en privilégiant l'expression de points de vue différents. Le débat est précédé d'une préparation.

La première phase concerne l'usage par les lycéens d'un dossier documentaire composé d'un assortiment d'extraits choisis d'articles scientifiques, de documents philosophiques, de rapports éthiques contemporains français et internationaux, d'articles de presse, d'articles d'associations s'opposant aux nanotechnologies. Ce dossier permet d'initier la dévolution de la question afin d'engager les élèves à l'approfondir à partir de recherches personnelles. La deuxième phase concerne un temps de problématisation encadré par des enseignants. En vue de la rencontre avec des spécialistes, les élèves définissent collectivement en demi-classe la question socialement vive, support du débat, qui semble légitime pour l'ensemble des participants relativement aux thèmes du dossier documentaire. Puis chaque groupe de discussion formule des questions pour les spécialistes. Au cours de la troisième phase, chaque demi-classe rencontre deux spécialistes (un philosophe et un généticien) successivement et leur adresse durant une heure les interrogations soulevées grâce au dispositif didactique mis en place (recherche documentaire, stage expérimental). Les spécialistes sont des chercheurs dont les thématiques de recherche portent respectivement sur la génétique et l'éthique des sciences pour l'un et l'éthique des nanotechnologies, pour l'autre.

15 étudiants (âges de 17 à 18 ans) ont pris part au débat durant une séance de cours ordinaire d'ECJS d'une durée d'une heure. La QSV débattue est la suivante : Avons-nous assez de contrôle sur les nanotechnologies pour modifier le corps humain et en a-t-on le droit ? Le

professeur d'Histoire-Géographie a animé le débat. Le débat a été enregistré en vidéo et intégralement retranscrit.

4.2. Méthode d'analyse de la co-construction des savoirs par les élèves

Nous utilisons la méthodologie de catégorisation des interactions développée par Mercer (1995) pour l'analyse des interactions linguistiques entre les élèves. Compte tenu des limites identifiées (Golder, 1996) pour le modèle de Toulmin (1958) particulièrement utilisé par les didacticiens des sciences, nous privilégions une approche qui met l'accent sur la dynamique et la dimension dialogique du débat (Brossais, Panissal, 2011).

Les tours de parole sont d'abord classés en fonction des thèmes développés par les élèves (par exemple la toxicité) puis ils sont caractérisés dans la dynamique interactionnelle selon les trois types de discours distingués par Mercer : oppositif, cumulatif et exploratoire.

- Le discours oppositif (DT) est caractérisé par de courts échanges, des affirmations ou des propos opposés. Les relations sont plutôt du registre compétitif, les différentes opinions sont plutôt mises en évidence que résolues, l'orientation générale du discours est défensive.
- Le discours cumulatif (CT) est caractérisé par des répétitions, confirmations et élaborations. Les idées et informations sont partagées, des décisions communes peuvent être élaborées, mais il y a peu de conflit constructif, processus nécessaires à la construction du savoir.
- Les discours exploratoires (ET) sont ceux pendant lesquels des interlocuteurs s'engagent dans une discussion constructive, échangeant leurs idées. Il existe des juxtapositions et différentes alternatives sont envisagées. Par comparaison aux autres types de discours, le savoir construit et le raisonnement sont plus visibles dans ce type de discours. Les élèves s'opposent mais justifient leurs propos.

5. Résultats : catégories de discours et co-construction des controverses relatives aux nanotechnologies

Contrairement à certains travaux analysant le langage des élèves en débat de classe, nous n'observons pas dans nos données de discours oppositifs au sens de Mercer (2000). Nous relevons majoritairement des discours cumulatifs et dans une moindre mesure des discours exploratoires (Voir tableau 1).

5.1. Les thèmes émergent dans le débat et les discours cumulatifs et exploratoires

Les élèves explorent le champ des controverses en juxtaposant les discours. Deux thèmes comportent exclusivement des discours cumulatifs : bénéfiques pour tous et loi-contrôle.

Thème	Nb de tours de parole	Type de discours		
		DT	CT	ET
Augmentation humaine	25	2	16	7
Toxicité	19	2	9	8
Bénéfices pour tous	8	0	8	0
Loi-contrôle	6	0	6	0

Tableau 1 : type de discours en fonction des catégories de Mercer 1995

Deux thèmes comportent des discours exploratoires : augmentation humaine et toxicité.

5.2. Les discours exploratoires : co-construction du concept d'augmentation humaine

Les discours exploratoires permettent la mise en réseau de ces différentes facettes de la nature humaine dont les fondements mêmes peuvent être remis en question par l'avènement des nanotechnologies : la vectorisation des médicaments, l'artificialisation du vivant, la modification des fonctions. Ils distinguent ce qui relève de la réparation d'une fonction défaillante et ce qui relève de l'ajout de capacité à un être humain : *"le guérir je ne vois pas pourquoi on devrait être contre parce que c'est quand même un but de guérir une personne qui est atteinte de maladie par contre pour la modification du corps humain donc il faut avoir un but pour les nanotechnologies"* (Thierry, 75).

La question de l'introduction dans le corps humain de nanomédicaments et de leur hypothétique effet secondaire à long terme divise les élèves. Certains envisagent exclusivement les avantages des réparations et témoignent de leur confiance dans la faisabilité technologique : *"je pense que guérir les êtres humains grâce aux nanotechnologies la maîtrise on l'a on a les scientifiques et des médecins agiront pour cela"* (Bruno, 56). Des analogies en médecine et chirurgie esthétique étayent l'argumentation : *"le corps humain on le modifie déjà par exemple avec une pile au cœur"* (Nicolas, 85). D'autres font preuve de défiance en montrant les risques de modifications des fonctions : *"les implants (mammaires) qu'on lui met ça n'a pas d'interactions avec son corps ça modifie juste les apparences alors que là avec les nanotechnologies on peut modifier les fonctions"* (Clémentine, 93). Les interactions sur les implants amènent à des interrogations sur l'artificialisation de l'humain et la nature de l'homme entre un cyborg-soldat et un corps privé de psychisme :

- *"certes on peut modifier des choses pour les handicaps mais on peut faire des soldats qui ont peur de rien"* (José, 26),
- *"on parle de modifier le corps humain y a un truc qui va pas c'est le mot être être humain modifier l'être humain c'est à dire que dans le mot être il y a aussi le psychisme"* (José, 88).

Pour étayer leur argumentation les élèves ont recours à des savoirs assimilés lors des rencontres avec les scientifiques : *"comme disait le chercheur l'autre jour quand on saura créer une cellule de toute part ..."* (Serge, 28).

La mise en réseau des propriétés de la nature humaine à travers les discours exploratoires permet la co-construction de la possible remise en question de la nature humaine par les nanotechnologies. Cependant, cette construction commune laisse les élèves aux portes des dérives transhumanistes qu'ils ne franchissent pas.

5.3. Articulation des discours cumulatifs et exploratoires : co-construction du concept de toxicité

Les discours cumulatifs mettent en exergue différentes facettes de la toxicité liée aux nanotechnologies comme les effets néfastes encore inconnus, en particulier sur la santé, le besoin de protéger l'être humain, la pollution, la nocivité : *"je suis d'accord avec ce que dit Pénélope on n'a pas d'études à long terme sur les nanos les nanotubes on sait tous que c'est un peu comme l'amiante on sait pas ce que ça va faire sur le corps humain"* (Tom, 43).

Les discours exploratoires permettent la mise en réseau de ces différentes facettes de la toxicité des nanotechnologies : *"les produits qui utilisent des nanoparticules on a remarqué des effets néfastes notamment sur les poumons sur le cerveau et que si l'on met directement les nanoparticules dans le corps quel effet ça va avoir quoi"* (Caroline, 71). Cette co-construction du concept de toxicité permet ainsi aux élèves de pointer la faiblesse des recherches dans le domaine de la toxicité : *"il faut que l'on fasse de la recherche pour éviter les effets néfastes dont tu parles"* (Serge, 73). Alors que la question du franchissement des barrières hémato-encéphaliques par les nanoparticules est explorée, deux groupes d'élèves entrent en opposition, l'un pointe les dangers des nanotechnologies et l'autre les relativise. Cette mise en tension permet de voir se dessiner une dialectique :

- *"ce que je veux dire c'est que l'on n'est pas capable de protéger l'être humain"* (Bruno, 65)
- *"moi je pense qu'il ne faut pas être parano par rapport aux nanotechnologies c'est quand même des molécules que l'on respire tout les jours, des molécules, des bactéries et tout ça qui ne sont pas qui ne sont pas forcément très néfastes, ce n'est pas parce que l'on va modifier le corps humain qu'il va y avoir de suite des trucs qui vont aller partout qui vont nous tuer quoi"* (Pénélope, 108).

Cette relativisation des dangers est alimentée dans le groupe par divers arguments. Les nanoparticules existent à l'état naturel ; la capacité d'autoréplication des nanorobots et leur émancipation du contrôle humain dans le roman de Drexler¹¹¹ sont moquées : *"il n'est pas question pour l'instant de faire des particules autorépliquantes"* (Olivier, 111). En réponse à cette relativisation se développent des arguments relatifs à une mise en garde face aux dangers que peuvent représenter les implants nanométriques compte tenu de l'adaptabilité du vivant : *"en biologie on a vu que la vie elle s'adapte toujours est-ce que la nanotechnologie ne pourrait pas s'adapter et créer des trucs encore plus dangereux"* (José, 113). L'argumentation se poursuit par l'analogie avec le virus du sida : *"regarde le virus du sida par exemple il s'adapte à n'importe quelle situation si l'on développe encore la nanotechnologie dans 300 ans qu'est ce qu'ils vont faire ?"* (José, 125).

Nous voyons que la mise en réseau des caractéristiques liées au concept de toxicité permet aux élèves de constituer un système autour de ce réseau, nourries par le recours à des analogies. Cette co-construction du concept les amène à mettre en évidence la faiblesse des recherches toxicologiques et les effets sanitaires des nanoparticules du fait de leur petite taille et de leur capacité à interagir avec le vivant.

Nous entendons par construction d'un concept le fait de catégoriser des objets, opération pour laquelle l'élève doit construire les propriétés essentielles du concept en question (ses attributs), pour le spécifier et établir les relations entre elles (Britt-Mari Barth, 1993). Les concepts sont des représentations qui s'agencent peu à peu en système. La co-construction entre élèves porte sur les concepts de toxicité et d'augmentation humaine. En revanche, le contrôle des nanotechnologies et leur bénéfice pour tous ne relève pas de la construction de

¹¹¹ K. E Drexler, (1986) Engines of creation, The Coming Era of nanotechnologies. Anchor Books.

concepts du fait d'une simple juxtaposition des énoncés sans mise en réseau. Cependant, pour ces quatre thématiques, nous pouvons affirmer que les élèves identifient et explorent des controverses associées aux nanotechnologies.

Comme Mercer (1995), nous montrons que les discours cumulatifs soutiennent l'apport d'information sur les controverses mais contribue également à la communauté discursive grâce aux reformulations, et aux confirmations. En revanche, les discours exploratoires constitués de d'oppositions, de points de vues alternatifs, d'analogies, de recherche d'accords sont au service de la co-construction de concepts.

Les élèves mobilisent dans ce débat des instruments psychologiques (analogies, reformulations) qui leur permettent de co-construire les concepts de toxicité et d'augmentation humaine qui relèvent de questions socio-éthiques. Les discours exploratoires et l'association de discours cumulatifs et exploratoires fonde cette co-construction dans les échanges dialogiques. Si pour Vygostki (1985), une des fonctions du langage est de permettre aux apprenants d'organiser leur propre pensée et de donner du sens aux mots, pour Mercer (1995), le langage peut faciliter l'apprentissage lorsqu'il prend la forme de discours exploratoires. Les auxiliaires extérieurs créés par la culture (outils, appareils, technologies) soutiennent le développement des processus psychologiques. Langage et pensée interagissent et donnent jour à des fonctions nouvelles. Mettre à disposition des élèves des outils créés par la culture comme le débat permet de proposer des espaces de restructuration des fonctions mentales. En assimilant l'outil culturel, ils se forment en tant que citoyens à la pratique du débat dans la vie démocratique, et ils acquièrent de nouveaux savoirs sur les controverses. En effet, au-delà du pour ou contre les nanotechnologies, les élèves explorent des espaces de discussion et font ainsi l'exercice de la démocratie, dans la logique de la convention d'Aarhus (1998), qui a pour objet de garantir "les droits d'accès à l'information sur l'environnement, de participation du public au processus décisionnel et d'accès à la justice en matière d'environnement".

6. Conclusion

Dans une perspective vygotskienne de co-construction sociale de la pensée, nos résultats font apparaître que les élèves élaborent des savoirs relatifs aux interactions science-société plus particulièrement les interactions nanotechnologies-société. Le débat entre pairs dans ce dispositif d'enseignement, en tant que construction sociale du savoir, joue ainsi son rôle heuristique et exploratoire. Ainsi, nos résultats confirment que le débat sur une question socialement vive (QSV) est un outil pertinent pour sensibiliser les étudiants aux questions éthiques et sociales liées aux nanotechnologies. Il permet également de les préparer à leur rôle de citoyen et de s'interroger sur un développement raisonnable et responsable des nanotechnologies (Sandler, 2009). Une des missions de l'école est d'offrir des espaces de débats, outils culturels, dont l'appropriation est un enjeu pour le développement de la pensée de l'élève et pour la compréhension du monde contemporain marqué par les technosciences et les interrogations qu'elles soulèvent.

Bibliographie

Barth, B-M. (1993). La détermination et l'apprentissage des concepts. In J. Houssaye (Dir.), *La pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui* (pp.275-288). Paris : ESF.

Beck, U. (2001). *La société du risque, sur la voie d'une autre modernité*. Paris : Flammarion.

Benoit Browayes, D., Colin Detcheverry, M., Leuret, M-C. (2010). *Etat des lieux du secteur des nanotechnologies*. Agence Française de Développement, rapport http://www.vivagora.org/IMG/pdf/EtatLieux_etudenano_AFD_1_.pdf consulté le 8 juillet 2011.

Bensaude-Vincent, B. (2009). *Les vertiges de la technoscience*. Paris, France : Editions La Découverte.

Bensaude-Vincent, B. (2011). Nanotechnologies, innovation-responsable et performance : oxymore ou réalité. Conférence ESSEC 20 janvier. Accessible à l'adresse <<http://www.essec.fr/essec-tv/detail-dune-actualite-essec-tv/article/janvier-2011-les-matins-de-linnovation-linnovation-societale-au-service-des-populations-pauv-1.html>>, consulté novembre 2011.

Brossais, E. Panissal, N. (2011). Le débat argumenté au lycée : échanges dialogiques sur des controverses socioscientifiques. 5^{ème} Séminaire International "Vygotski et l'école". Bordeaux, 19-21 octobre 2011.

Golder, C. (1996). *Le développement des discours argumentatifs*. Paris : Delachaux et Niestlé.

Legardez, A. & Simonneaux, L. (2006). *L'école à l'épreuve de l'actualité*. Issy-les-Moulineaux, France : ESF

Lewenstein, B. V. (2005). What counts as a 'social and ethical issue' in nanotechnology ? *Hyle: International Journal for Philosophy of Chemistry*, 11, 5-18.

Mercer, N. (1995). *The Guided Construction of Knowledge. Talk amongst teachers and Learners*. Philadelphia, PA, USA: Multilingual Matters LTD.

Panissal, N., Brossais, E., Vieu, C. (2010). Les nanotechnologies au lycée, une ingénierie d'éducation citoyenne des sciences : compte-rendu d'innovation. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 1, 319-338.

Sadler, T. D. (2009). Socioscientific issues in science education: labels, reasoning, and transfert. *Cultural Studies of Science Education*. 4, 697-703.

Sandler, R. (2009). *Nanotechnology: The Social and Ethical Issues*. Washington, D.C: Woodrow Wilson International Center for Scholars. Retrieved from <http://pdfcast.org/pdf/nanotechnology-the-social-and-ethical-issues>

Simonneaux, L. & Legardez, A. (2011). *Développement durable et autres questions d'actualité. Questions socialement vives dans l'enseignement et la formation*. Dijon : Educagri Éditions.

Toulmin, S. (1958). *The uses of arguments*. Cambridge : Cambridge University Press

Vygotski, L.S. (1985). *Pensée et Langage*. Paris : Éditions Sociales.

Les déterminants de l'action conjointe d'enseigner et d'apprendre la circulation du sang au CM2. Une analyse de cas en RAR¹¹².

Éliane Pautal, IUFM du Limousin ; UMR EFTS, Univ. de Toulouse II, ENFA ; eliane.pautal@unilim.fr

Patrice Venturini, UMR EFTS, Univ. de Toulouse, ENFA ; patrice.venturini@univ-tlse2.fr

&

Patricia Schneeberger, Univ. Bordeaux IV, IUFM d'Aquitaine ; Univ. Bordeaux, LACES, EA 4140 ; patricia.schneeberger@iufm.u-bordeaux4.fr

Mots clés : action conjointe, rapport aux savoirs, épistémologie pratique, analyse ascendante, circulation du sang

Résumé : un travail de thèse, en cours, tente de raffiner les connaissances sur les pratiques d'enseignement et d'apprentissage autour de savoirs de la circulation du sang. Les analyses de pratiques se font dans le cadre de la théorie de l'action conjointe en didactique et sollicitent la notion de rapport aux savoirs, du professeur et des élèves, comme un déterminant possible, parmi d'autres, des pratiques. L'option méthodologique choisie est celle d'une analyse ascendante des pratiques, associée à un corpus d'entretiens menés avec le professeur et les élèves. Les résultats présentés dans cette communication sont relatifs à une classe de CM2, située en RAR et dont le professeur polyvalent est maître-formateur. Les résultats indiquent que les élèves sont peu mis en puissance d'agir avec des savoirs qui n'ont pas le statut de savoirs scientifiques. Malgré une topogénèse équilibrée, le professeur installe les élèves dans un rôle d'exécutants de tâches à faible valence épistémique. Au-delà des déterminants professoraux, proposés dans la théorie, le rapport aux savoirs et le rapport à l'apprendre des élèves peuvent être des éléments explicatifs de certaines des pratiques conjointes.

1. Introduction

Cette communication présente une partie d'un travail de thèse qui envisage d'apporter de l'intelligibilité aux pratiques conjointes, d'enseignement et d'apprentissage, autour de savoirs liés à la circulation du sang, au cycle 3 de l'école primaire française. L'analyse des pratiques se fait dans le cadre théorique de la TACD qui prévoit des déterminants de l'action conjointe, dans les développements actuels de la théorie, uniquement pour le professeur (Sensevy & Mercier, 2007). Une partie du travail théorique de la thèse consiste à postuler l'existence d'autres déterminants, liés aux élèves, notamment leurs rapports aux savoirs, non initialement prévus par la théorie. Il s'agit alors de chercher à comprendre si les rapports aux savoirs des élèves ont une action sur l'agir conjoint et, si oui, de quelle manière. Dans le même temps, un autre aspect de cette thèse, et qui fait l'objet de cette communication, consiste à produire des

¹¹² Réseau ambition réussite

analyses des pratiques conjointes et ainsi à raffiner les connaissances sur les situations d'enseignement et d'apprentissage quand des savoirs biologiques sont en jeu ; ici, ceux de la circulation du sang.

Nous présenterons dans un premier temps les éléments théoriques utilisés pour mener les analyses didactiques et nous formulerons, à sa suite, problématique et questions de recherche. Après une présentation rapide d'éléments méthodologiques, nous livrerons les résultats obtenus dans une classe de cycle 3, située en RAR et qui a pris comme thème d'étude la circulation du sang.

2. Matrice théorique, problématique et questions de recherche

2.1. Proposition d'extension à la théorie de l'action conjointe en didactique

L'appareil théorique que nous utilisons pour mener les analyses des pratiques est celui fourni par la TACD qui postule que l'action didactique est nécessairement conjointe. Cette théorie considère les pratiques d'enseignement et d'apprentissage comme des jeux, qui, spécifiés à un enjeu de savoir, sont des jeux d'apprentissage qui se succèdent au fil d'une relation didactique. Ces jeux, et ainsi une partie des pratiques conjointes professeur/élèves, peuvent être décrits au sein d'une analyse *in situ*, à l'aide d'un certain nombre de descripteurs, dont le doublet milieu-contrat et le triplet des genèses (la chronogenèse décrit l'avancée des savoirs dans la classe, la topogenèse décrit les responsabilités prises par professeur et élèves quant à l'avancée des savoirs en jeu et la mésogenèse décrit l'évolution des milieux dans la classe). Le rapport aux objets de savoir du professeur, son activité adressée et son épistémologie pratique sont, dans la TACD, des éléments susceptibles d'expliquer les pratiques *in situ*, et sont ainsi désignés comme des déterminants de l'action conjointe. En revanche, concernant les élèves, la TACD ne prévoit pas explicitement de déterminants que ceux-ci pourraient importer dans l'action conjointe. Or, des travaux recensés par Venturini, ont examiné l'influence des rapports aux savoirs d'élèves sur leur apprentissage (Venturini, 2007) et nos propres travaux ont examiné les rapports aux savoirs du professeur et des élèves ensemble (Pautal, Venturini, Dugal, 2008) pour comprendre les pratiques conjointes. En s'appuyant sur ces travaux, il nous a semblé pertinent d'introduire, de façon un peu symétrique par rapport aux déterminants professoraux, des déterminants importés par les élèves aussi, et notamment leur rapport aux savoirs.

2.2. Le rapport aux savoirs

Au-delà des relations immédiatement entretenues par les élèves avec les savoirs en jeu *in situ*, c'est-à-dire leur rapport personnel aux objets de savoir (Chevallard, 1991) qu'il s'agit de mettre en conformité avec le rapport institutionnel, il nous a paru intéressant d'examiner aussi le rapport qu'ils peuvent entretenir avec les savoirs, plus éloignés de l'action, certes, que sont le sens et la valeur accordés aux savoirs, en faisant référence aux travaux de Charlot (1997) qui théorise un rapport à *l'apprendre* des élèves. En liant ces deux approches, il nous semble que l'on prend en compte, dans des analyses didactiques, un sujet saisi dans plusieurs de ses dimensions en relation avec des contenus disciplinaires spécifiques, ceux de la circulation du sang. D'une part, selon Venturini, (2007, p. 215), le rapport à cet objet, considéré comme « manière de [le] connaître » (Chevallard, 1991) n'est pas sans lien avec « le sens et donc la valeur » que le sujet attribue à cet objet de savoir (Charlot, 1997, p. 93), et vice-versa. Par ailleurs, dans le rapport à l'apprendre proposé par Charlot, on trouve une dimension

identitaire absente de la théorisation de Chevallard. Nous pensons, à partir de ces points de vue qui nous paraissent pouvoir se compléter, pouvoir ainsi enrichir les analyses didactiques.

2.3. TACD et rapport aux savoirs : une fécondité théorique pour notre problématique

La TACD permet, à partir de la description de l'action, d'inférer certains déterminants dont elle postule l'existence, côté professeur. De notre côté, nous postulons que le rapport aux objets de savoir (entendus comme manière de connaître des objets de savoir, c'est-à-dire de les utiliser et de les penser) et le rapport à *l'apprendre* (sens et valeur accordés aux savoirs) des élèves déterminent les pratiques en train de se faire. La question est donc d'examiner l'existence d'un lien qui conduirait à penser que l'on peut comprendre, et ainsi rendre plus intelligible, une partie des pratiques, dont on recherchera les caractéristiques, à la lumière de déterminants tant du côté du professeur (rapport aux objets de savoir, épistémologie pratique et activité adressée) que du côté des élèves (rapport aux objets de savoir et rapport à *l'apprendre*). C'est armés de ce renforcement théorique que nous pouvons formuler une première question de recherche : quelle intelligibilité nouvelle sur les pratiques ce postulat nous fournit-il ?

Pour répondre à une telle question, nous avons choisi comme support d'investigation la circulation du sang dans une classe de CM2. En effet, la circulation du sang est une thématique qui nous a semblé particulièrement appropriée quand il s'est agi de rechercher des déterminants relatifs au sens et à la valeur des savoirs ; la circulation du sang pouvant mettre en jeu des fantasmes, des peurs, des idées relatives à la parenté, le don de soi, etc. En outre, la circulation du sang n'est pas un concept simple à enseigner ; il peut être enseigné dans différentes centrations épistémiques (éducation à la santé, fonction de nutrition, approche biophysique). Il n'est pas non plus facile à apprendre ; des obstacles épistémologiques sont connus de longue date en didactique des SVT (circulation fermée à sens unique, obstacle des surfaces d'échanges perméables, en référence aux travaux de Ducros, 1989 et Clément, 1991, par exemple). Enfin, les programmes de l'école préconisent un enseignement de ces savoirs, mettant en œuvre une démarche d'investigation, autour de laquelle des pratiques particulières peuvent être exprimées. Pour cette triple raison, il nous a semblé pertinent de documenter des pratiques d'enseignement et d'apprentissage autour de ces savoirs de la circulation du sang. Enfin, le cas que nous rapportons ici est celui d'une classe, que nous avons choisie en RAR, parce que nous savons que ce contexte précis peut faire un « effet loupe » qui rend plus évidentes certaines caractéristiques (Amade-Escot et Venturini, 2009). Les recherches en RAR et en ZEP qui s'intéressent aux pratiques effectives d'enseignement et d'apprentissage ont pointé des aspects remarquables, comme par exemple, l'éclatement et la réduction des contenus enseignés sous forme de tâches et sans vraie institutionnalisation des savoirs (Bautier, 2002). Dans de telles conditions d'exercice, l'enseignante participant à la recherche est polyvalente et confirmée, depuis sa position de maître-formateur. Sans prétendre apporter un regard totalement nouveau sur la question des pratiques en contexte « difficile », nous souhaitons examiner ces pratiques sous l'angle des déterminants de l'action conjointe et notamment les rapports, développés par le professeur et les élèves, aux objets de savoir et aussi sous l'angle du rapport à *l'apprendre* des élèves. Au final, notre question de recherche est la suivante : quelles sont les caractéristiques des pratiques d'une classe de CM2, située en RAR, dont le professeur, polyvalent et expert sur titre, enseigne la circulation du sang, et quelle intelligibilité peut-on en donner à la lumière des déterminants de l'action conjointe ?

3. Méthodologie

L'option méthodologique générale est celle d'une analyse ascendante des pratiques inspirée des travaux de l'école genevoise (Schubauer-Leoni, Leutenegger, 2002). Cette méthode propose un système de protocoles mettant en correspondance différentes pièces de corpus. Nous utilisons un corpus principal (comprenant les vidéos de la totalité des séances, entièrement retranscrites, et tous les documents utilisés pendant le travail de classe) auquel on adjoint un corpus associé (comprenant les préparations du professeur, les entretiens avec le professeur, ante et post séance, et les entretiens avec les élèves). Il s'agit alors de rechercher des indices dans les corpus et de mettre à jour des inférences pour procéder à des interprétations de faits didactiques. Pour répondre à nos questions de recherche, nous procédons ainsi à une reconstruction des faits didactiques de la séquence, c'est l'analyse *in situ*. Pour mener cette analyse à bien, nous procédons au préalable à une analyse *a priori* des savoirs en jeu dans la séquence de travail. Cette analyse *a priori* est elle-même assise sur une analyse épistémologique des savoirs de la circulation du sang, permettant de repérer ce qui peut faire difficulté, tant pour le professeur qui enseigne, que pour l'élève qui apprend (Cf. tableau synthétique de l'analyse épistémologique des difficultés posées par l'enseignement et l'apprentissage du concept de circulation du sang. Annexe 1).

Pour produire l'analyse *in situ*, nous procédons d'abord à une analyse macroscopique qui permet de fournir une vision synoptique de la séquence, à l'intérieur de laquelle il s'agit de dégager les principaux jeux auxquels jouent professeur et élèves. Une analyse alors plus fine ou microdidactique des jeux permet, en les décrivant, de repérer des éléments particuliers permettant de caractériser l'avancée du savoir, et de quel savoir, sous l'action de qui, avec quel partage de responsabilité et en fonction de quel milieu d'apprentissage. De cette analyse fine, il se dégage un certain nombre de caractéristiques des pratiques propres à la classe sous observation. Il nous reste alors à retourner à des éléments externes, ceux du corpus associé, par l'intermédiaire des entretiens –professeur et élèves–, et de croiser ces éléments avec ce qui émerge de l'analyse *in situ*, pour tenter de mettre en avant les rôles de déterminants, tant professoraux qu'étudiants, dans ce que nous avons lu des pratiques conjointes.

Les résultats que nous rapportons sont relatifs à une séquence de 6 séances (soit un peu plus de 7 heures de vidéo analysées), s'étalant sur 7 semaines de classe. La plupart des élèves de cette classe de CM2 sont en difficulté scolaire. L'enseignante, nommée ici P2, maître formateur, a 16 années d'ancienneté dans le métier et exerce depuis 3 ans dans cette école.

4. Résultats

Nous présentons dans un premier temps les caractéristiques des pratiques conjointes (les savoirs en jeu dans la classe, les spécificités mésogénétiques et topogénétiques, ainsi que la progression du savoir) avant d'avancer quelques déterminants de ces pratiques.

4.1. Des caractéristiques des pratiques conjointes

La mise en scène des savoirs dans la classe indique qu'ils n'ont pas le statut de savoirs scientifiques. Les savoirs mis en jeu sont en effet des savoirs qu'il s'agit d'exhumer de documents divers (vidéo, radiographie, dissection, etc.) avec en filigrane une conception réaliste de la science et des savoirs scientifiques comme on peut l'appréhender sur cet extrait où nous soulignons des éléments de savoir produits par des élèves.

Au TBI :

Le nombre de pulsations et la fréquence respiratoire dépendent de l'activité physique. Plus on fournit d'effort, plus le cœur bat vite et plus nous respirons vite. Pourquoi ?

27. P : alors maintenant, pourquoi ? Vous allez l'écrire tout seuls.

Les élèves écrivent sur leur cahier

28. P : LM on t'écoute

29. LM : la respiration accélère, le cœur aussi. Exemple, quand on marche il est normal et quand on court il donne plus d'énergie ce qui accélère les battements

30. P : donc le cœur servirait à donner plus d'énergie. Yassin à toi

31. Yassin : parce que nos muscles se fatiguent plus

32. P : et quel est le lien avec la respiration et les battements du cœur alors ?

33. Yassin : que dans le cœur y'a des muscles et là le diaphragme c'est là où ça se fatigue

34. Isaac : inaudible...et ça envoie plus de pulsations

35. Liana : c'est dur pour notre corps, le cœur nous envoie de l'oxygène

36. P : le cœur servirait comme les poumons alors à envoyer de l'oxygène donc ?

37. E : il donne la force

38. P : mais qu'est-ce qu'il faut pour qu'il donne plus de force alors ? Pour qu'on ait plus d'oxygène ? Qu'est-ce qu'il fait ? Drucila ? Rhadia ?

39. Radhia : *inaudible*

40. P : donc tu dis comme Radhia, le cœur enverrait de l'oxygène

...

48. Adda : quand on bouge plus vite, on a besoin de plus d'oxygène

49. P : donc on a besoin de plus d'oxygène

50. Benoit : quand on a fini de courir on n'arrive pas à respirer bien

51. P : bon vous allez observer une vidéo vous allez la regarder deux fois, oui, « C'est pas sorcier », vous allez écouter, regarder et vous n'oubliez pas la question pourquoi est-ce que finalement

Extrait 1. Extrait du jeu S3j2. Minute 11 à 18. Tours de parole 27 à 51. Les élèves répondent individuellement et par écrit à la question notée au TBI ; une partie de la discussion orale collective basée sur les écrits individuels est rapportée dans cet extrait.

Par ailleurs, les éléments de savoir que les élèves apportent ne sont pas discutés ni entre eux, ni par le professeur. En outre, la plupart des savoirs de cette classe sont des savoirs non problématisés ; ils sont le plus souvent des réponses à des questions très fermées posées par l'enseignante qui installe les élèves dans un apprentissage qualifié par P2 de « stimulus-réponse ». Les savoirs sont considérés comme un « déjà-là » qui ne se construit pas.

Co-construction d'une mésogenèse faiblement didactique en lien avec une chronogenèse peu dense épistémiquement. En installant les élèves dans un apprentissage par stimulus-réponse, la place qui leur ait accordée pour être en puissance d'agir avec les savoirs est faible. Les régulations pratiquées par le professeur n'engagent pas à la construction d'une référence commune dans la classe et ainsi, le projet de P2 est plus axé vers un projet d'enseignement, faisant parfois peu de place aux élèves, que celui d'une co-construction effective des savoirs, avec les élèves. Des espaces de co-construction existent mais ils sont globalement peu nombreux. En effet, le plus souvent, les régulations professorales mènent à une mésogenèse qui confine presque les élèves dans un rôle d'exécutants où les possibilités, pour eux, d'identifier des savoirs sont minces ; ainsi sur chaque séance, on peut repérer un fonctionnement du type une question → une activité → une réponse.

Une topogenèse partagée mais peu productive du point de vue des savoirs. Les élèves s'emparent activement des espaces qui sont à leur disposition (comme dans l'extrait 1), lors de travaux de groupes par exemple. Ils sont sollicités pour manipuler, agir avec des éléments plus matériels que symboliques d'ailleurs : activités de dessin, ateliers avec stéthoscopes et chronomètre, etc. Ils sont donc « actifs », mais P2 les installe de manière générale dans l'exécution de tâches ; ils ont à « faire », mais dans des situations à faible valence épistémique.

4.2. Des déterminants de l'action conjointe

Nous examinerons d'abord les déterminants prévus par la théorie : le rapport aux objets de savoir, l'activité adressée et l'épistémologie du professeur. Nous envisagerons, à la suite, de possibles déterminants élèves, pour tenter d'expliquer les pratiques conjointes.

Les pratiques conjointes mettent en avant des éléments du rapport aux objets de savoir de P2, explicatif des pratiques. Les données issues de l'analyse des pratiques indiquent que la manière qu'a P2 de connaître la circulation du sang est située sur un versant « fonction de nutrition ». En croisant ces analyses avec les données issues des entretiens, on peut montrer, que pour P2, ces savoirs ont un haut niveau de complexité et qu'ils fonctionnent en réseau ; mais aussi que les savoirs, ceux particulièrement mis en jeu ici, bien sûr, ont le statut de savoirs-solutions. Enfin on peut dire que l'enseignante développe à leur égard, une forme d'empirisme naïf. Les entretiens permettent de dire que la manière qu'elle a eue d'apprendre la circulation du sang est, d'une certaine façon, transposée dans la classe. Ainsi, c'est le rapport épistémologique de P2 aux objets de savoirs qui nourrit un modèle implicite sur lequel s'appuie l'action enseignante, modèle fondé sur une similitude entre l'apprentissage pour soi-adulte et l'apprentissage pour l'élève de cycle 3.

L'activité adressée semble être un puissant organisateur des pratiques. La « mise en activités » dans une démarche prétendument d'investigation, d'élèves dont on « prend » les représentations, peut prendre sens en estimant que P2 procède à une lecture particulière des préconisations en vigueur concernant la démarche d'investigation, les conceptions enfantines et l'activité de l'élève. Nous estimons que cette volonté de tenter de respecter les discours officiels, est renforcée par la fonction de maître-formateur qui se doit de présenter une action, actualisée par sa pratique de classe, la plus représentative, précisément, de ces institutions. Enfin, nous rapportons certaines des caractéristiques des pratiques (mise en place d'un milieu plutôt fermé, régulations professorales guidant beaucoup le travail des élèves) au contexte d'exercice (RAR), même si P2 dit, ne pas être consciente de ce lien que, en revanche, nous faisons depuis notre position de chercheur.

Au final, on peut estimer que la démarche mise en œuvre renvoie à des éléments d'**épistémologie pratique** qui font appel à des aspects spécifiques : la nature du savoir à enseigner, complexe et en réseau, selon P2. Les techniques professorales, produisant une mésogénèse, glissant vers une fermeture du milieu d'apprentissage, peuvent être mises en relation avec les propres liens, de nature épistémologique, entretenus par P2 avec ces savoirs (des savoirs-solutions à exhumers des documents). Des aspects plus génériques sont également dégagés : ce serait une pratique forgée dans certaines conditions (RAR) qui créeraient un noyau dur de croyances sur la pratique, même si P2 se défend d'ailleurs d'une prise de conscience d'un tel phénomène.

4.3. Quelle place pour des déterminants élèves ?

L'ensemble des caractéristiques des pratiques conjointes amène à conclure que le rapport aux objets de savoir des élèves s'exprime dans la classe (Cf. extrait 1) mais qu'il est très peu pris en compte dans l'action conjointe, l'enseignante l'ignorant la plupart du temps pour engager la classe vers des pratiques qui valorisent son propre rapport aux objets de savoir. En ce sens, les rapports aux objets de savoir des élèves ont du mal à être caractérisés individuellement, parce que les élèves ne peuvent pas les exprimer complètement et dans la durée.

C'est cela qui nous fait dire qu'il est pertinent d'aller rechercher autre chose qu'un rapport aux objets de savoir pour expliquer plus avant certaines des pratiques conjointes. Examinons le cas de l'élève LM. Celle-ci est à même de formuler, lors d'entretiens, que la circulation du sang se fait à sens unique :

« Ça part de l'artère, ça passe dans les capillaires, après ça repart de la veine... et il y a un seul sens »
(entretien post élèves)

Ce savoir a été l'enjeu d'un jeu d'apprentissage repéré au cours de notre analyse. LM est aussi capable de formuler que le sang circule dans un circuit fermé ; en revanche, nous n'avons pas relevé de jeu dans la séquence qui serait du type « construire la notion de circuit fermé ». Ce savoir a pu être construit par cette élève, à l'aide d'une opération intellectuelle de transfert, de la compréhension d'un schéma à l'échelle d'un doigt, à l'échelle de l'organisme lorsque ce modèle de la circulation sanguine a été proposé aux élèves : elle est capable d'« imaginer » l'emplacement des capillaires sur un modèle synthétique, alors que cette explicitation n'a jamais été rendue publique dans l'espace de la classe :

« Comme on a vu que c'était sur un doigt qu'il y avait les capillaires, comme ils sont tous petits, on ne les voit peut être pas [sur le modèle synthétique] » (ibid.)

Selon nous, en convoquant le sens et la valeur accordés aux savoirs, on peut mieux comprendre ce qui se joue chez LM. En effet, celle-ci développe un **rapport à l'apprendre** qui lui permet de faire une distinction entre les savoirs de l'école, et les savoirs quotidiens qui prennent naissance hors l'école, dans le milieu familial par exemple,

« Apprendre des choses que l'on n'apprend pas forcément dans la vie quotidienne »

et dont elle tire des informations utiles pour l'étude des savoirs spécifiques en jeu dans cette séquence:

« Ma mère, elle fait don de sang... j'avais déjà fait une prise de sang parce que j'avais été malade, ..., il parlait des globules blancs, des globules rouges, ..., c'était dans une émission, on voyait mais c'était pas pour de vrai, c'était une image qui était à l'intérieur d'une veine, c'était en 3D et on voyait les globules blancs, les globules rouges » (ibid.)

Les dimensions du rapport à l'apprendre, qu'elle nous donne à voir,

« Faire des sciences, c'est comme un jeu » (ibid.),

ou lorsque LM apporte en classe des documentaires relatifs au sujet, nous invite à croire que cette élève est capable, à la différence d'autres dans la classe, de mettre en lien cognitivement et « toute seule » pourrions-nous dire, les informations des deux documents importés et en faire la synthèse pour parvenir à la notion de circuit fermé.

5. Discussion et conclusion

A la lumière du cas traité ici¹¹³, il semble que le renforcement théorique, à la TACD, proposé –solliciter le rapport aux savoirs des élèves, pour expliquer des pratiques- a une certaine pertinence. Ainsi dans le cas rapporté, les conditions d'enseignement et d'apprentissage ne laissant pas un grand espace d'expression aux rapports aux objets de savoir des élèves, il nous a fallu convoquer un rapport à l'apprendre pour approcher la compréhension d'une partie des pratiques observées. Ce rapport à l'apprendre n'est pas directement mis en jeu dans l'action conjointe ; il constitue une disposition propice (ou non) à pouvoir jouir (ou pas) d'éléments puisés dans l'action conjointe. Il est, de fait, un peu en dehors de l'action et désigne des manières de concevoir l'apprendre ou des dispositifs qui rendent disponibles (ou non) intellectuellement pour l'apprentissage *in situ*. Il nous semble que, sur ce cas particulier, qui n'a bien sûr pas valeur de généralité, nous pouvons faire l'interprétation suivante. L'élève, ne trouvant pas d'espace d'expression de son rapport aux objets de savoir, mobilise son rapport à l'apprendre et arrive à construire une partie de son savoir, dans des interstices privés, qui ne relèvent pas directement de l'action conjointe, en utilisant des ressources publiques puisées

¹¹³ Et en lien avec les deux autres études de cas que comprend la recherche

dans les situations d'enseignement et d'étude, installées dans l'action conjointe, cette fois-ci volontairement par l'enseignant. D'autres élèves ne présentant pas des dispositions similaires pour apprendre n'auront, peut être pas, l'occasion de faire les liens que LM a été capable de tisser. En cela, les pratiques observées peuvent être productrices d'inégalités en ne favorisant pas un travail évolutif du rapport aux objets de savoir et favorisant en revanche un rapport à *l'apprendre*, construit pour partie, hors l'école. Cela peut être rapproché de travaux qui mettent en lien inégalités d'apprentissage et pratiques enseignantes (Bautier, Rayou, 2009).

En outre, ce que nous avons pu lire des pratiques, relatives à l'enseignement et l'apprentissage de la circulation du sang, dans ce contexte, peut être rapproché des caractéristiques des pratiques en RAR : un milieu d'apprentissage fermé, à faible densité épistémique, des élèves installés dans une position d'exécutants de tâches d'où sont absents les savoirs. Enfin, cette étude portant sur un enseignement dispensé par un maître-formateur, on peut faire l'hypothèse, à partir de ces résultats, que le contexte RAR exerce une contrainte telle que P2 ne peut s'affranchir de celui-ci et l'amène à produire un type de pratique dont les caractéristiques sont tout à fait semblables à celles de maîtres non experts, dans un contexte équivalent.

Bibliographie

- Amade-Escot, C., Venturini, P. (2009). Le milieu didactique : d'une étude empirique en contexte difficile à une réflexion sur le concept. *Education et Didactique*, vol 3 (1), p.7-43.
- Bautier E., Rayou P. (2009). *Les inégalités d'apprentissage*. Paris : PUF.
- Bautier E. (2002). L'enseignement en ZEP et les recherches en didactiques du français. *Revue française de pédagogie*, n°140, p. 53-64.
- Charlot B. (1997). *Du rapport au savoir, éléments pour une théorie*. Paris : Anthropos.
- Chevallard Y. (1991). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La pensée sauvage.
- Clément P. (1991). Sur la persistance d'une conception la tuyauterie continue digestion-excrétion. *Aster* n° 13, p. 133-156.
- Ducros B. (1989). Le concept de circulation du sang : productions d'outils didactiques. Thèse non publiée, 2 tomes, Université Paris VII.
- Pautal E., Venturini P., Dugal J.P. (2008). Prise en compte du rapport aux savoirs pour mieux comprendre un système didactique. Un exemple en SVT à l'école élémentaire. *Didaskalia*, n°33, p. 63-88.
- Schubauer-Leoni M.L., Leutenegger F. (2002). Expliquer et comprendre dans une approche clinique/expérimentale du didactique ordinaire. In F. Leutenegger & M. Saada-Robert, (2002) (Eds), *Expliquer et comprendre en sciences de l'éducation*, p. 227-251. Bruxelles : De Boeck.
- Sensevy G., Mercier A. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In G. Sensevy & A. Mercier, (2007) (Dir.), *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*, p. 13-49. Rennes : Presses universitaires de Rennes.
- Venturini P. (2007). *L'envie d'apprendre les sciences. Motivation, attitudes, rapport aux savoirs scientifiques*. Paris : Editions Fabert.

Annexe 1. Tableau synthétique de l'analyse épistémologique des « difficultés » posées par l'enseignement et l'apprentissage du concept de circulation du sang

Rapports possible des élèves à certains objets de savoir de la circulation du sang	Concept à atteindre	Origine possible des difficultés rencontrées par les élèves	Enjeu pour l'enseignant
Le sang n'est pas canalisé	Le sang est endigué dans tout le corps	Le primat de la perception : le sang « coule » quel que soit l'endroit où on se blesse	Faire passer les élèves de l'idée d'un corps réservoir de sang à un système de conduction du sang
Le sang est partiellement canalisé	Le sang n'est pas canalisé à l'intérieur de vaisseaux sanguins	Le primat de la perception : on voit des « veines » par transparence sous la peau	
Le sang va dans les organes et s'y perd : le système est ouvert	Le sang est endigué dans un système clos	En référence à des éléments quotidiens (une route, une rivière), le sang circule dans un conduit d'un endroit à un autre et s'y arrête	Bâtir l'idée d'un système fermé en évitant de faire des analogies non pertinentes avec des éléments du quotidien (type tuyau d'arrosage)
Le sang va aux organes et revient des organes par les mêmes tuyaux par va-et-vient	Le sang circule à sens unique, par un système d'aller et retour	Un même conduit (ou chemin) peut aussi bien servir pour l'aller et le retour dans un mouvement de flux et reflux	Construire la nécessité d'un trajet retour du sang par des « tuyaux » différents et en continuité
Les vaisseaux conducteurs du sang sont tous imperméables	Des tuyaux de gros calibres sont étanches et assurent le transport tandis que les capillaires qui ferment le système sont perméables au niveau des zones d'échanges	Analogie avec les propriétés connues des tuyaux, d'usage courant, à tous les conduits biologiques	Construire la nécessité d'échanges (en O ₂ , nutriments, CO ₂) au niveau des organes en général et des poumons en particulier
Pas de lien entre sang et cœur ou le sang stagne	Le cœur, sur le trajet du sang, met en mouvement le sang. Son anatomie impose un sens de circulation au sang	Attribuer au cœur un rôle moteur dans le système circulatoire	Construire la nécessité d'une organisation particulière du cœur (valvules, cloison interventriculaire)
Tous les vaisseaux sanguins sont des « veines »	Le sang se rendant aux organes, par les artères, est riche en O ₂ , le sang se rendant aux poumons, par les artères pulmonaires, est riche en CO ₂	Dans son acception courante, le terme de « veines » désigne tous les vaisseaux sanguins	Parvenir à l'idée que les artères transportent le sang qui part du cœur et les veines conduisent le sang qui revient au cœur
	Le sang revenant des poumons, par les veines pulmonaires est riche en O ₂ et le sang revenant des organes par les veines caves est riche en CO ₂		

Argumenter et mobiliser des connaissances scientifiques, par des lycéens libanais dans le cadre de débats sur des controverses socioscientifiques : c'est possible !

Elie N. Rached, UMR STEF, Ens Cachan, Ens de Lyon - Ifé ; Univ. Saint Joseph, Beyrouth, Faculté des sciences de l'éducation ; elienrached@yahoo.com

Pascale Hannoun, UMR STEF, Ens Cachan, Ens de Lyon – Ifé ; hannoun@stef.ens-cachan.fr

Carla Khater-Saouma, Faculté des sciences de l'éducation, Univ. Saint Joseph, Beyrouth

&

Virginie Albe, UMR STEF, Ens Cachan, Ens de Lyon – Ifé ; virginie.albe@stef.ens-cachan.fr

Mots clés : argumentation, connaissances, controverses, climat, chauffage

Résumé : Cette étude examine l'évolution de la qualité de l'argumentation et de l'abstraction des connaissances scientifiques de 21 élèves (a^1) de 1ère scientifique lors de prises de décisions sur le choix d'un système de chauffage dans le cadre de la controverse socioscientifique de(s) changement(s) climatique(s). L'évolution est mesurée à l'aide de questions ouvertes avant et après une intervention en classe. L'analyse des données est faite à l'aide de deux cadres analytiques l'un dans le champ de l'argumentation (Toulmin) et l'autre en didactique des sciences (Von Aufschnaiter et al.). Les résultats montrent une amélioration de la qualité de l'argumentation et du niveau d'abstraction des connaissances scientifiques et qu'une argumentation de qualité peut être atteinte avec des niveaux d'abstraction de connaissances scientifiques relativement moyens.

1. Introduction

Le(s) changement(s) climatique(s) comme d'autres questions ou dilemmes sociaux ayant des dimensions scientifiques (ex : le clonage, les cellules souches, les aliments génétiquement modifiés, les centrales nucléaires...) sont des objets de préoccupation nationale (ex : Grenelle pour l'environnement, 2007, 2010) et internationale (ex : Copenhague, 2009; Cancun 2010), qui font débats. Le citoyen est amené à prendre au quotidien des décisions dans un contexte de controverses socioscientifiques (CSS).

Différents éducateurs et chercheurs se sont intéressés à introduire les CSS dans l'enseignement des sciences dans une vision où sciences et société sont en inter-relations (Sadler, 2004). Différents buts résident derrière ces efforts, dont celui de donner le pouvoir aux apprenants (« empowerment ») pour qu'ils s'emparent les questions qui façonnent leur monde et détermineront leur futur (Sadler, 2004; Kolstø, 2001; Driver, Newton & Osborne, 2000).

Pour prendre des décisions « argumentées » ou de « qualité » sur des CSS, deux éléments, parmi d'autres, semblent fondamentaux en éducation aux sciences : d'une part, l'habilité à argumenter

ses décisions (Driver et al. 2000) et d'autre part, la mobilisation des connaissances scientifiques conceptuelles sur la question (Kolstø, 2001; Jimenez et Munoz, 2002; Sadler, 2004). Or, actuellement des débats existent dans la littérature, pour savoir si l'argumentation dépend des connaissances scientifiques ou des compétences plus générales (Sadler, 2004; Von Aufschnaiter, Erduran, Osborne, Simon, 2008). En outre, les relations détaillées entre l'argumentation et l'apprentissage de connaissances scientifiques sont peu explorées dans un cadre scolaire naturel (Von Aufschnaiter *et al.*, 2008) et en particulier lors de l'étude des CSS.

De même des débats sont en cours pour cerner si un enseignement à l'argumentation permet une amélioration de l'argumentation (Osborne et al. 2004 ; Sadler, 2004). Des chercheurs indiquent qu'une amélioration de l'argumentation est un processus long qui nécessite une bonne organisation des séances et un encouragement des apprenants à pratiquer l'argumentation et à tenir compte des positions opposées (Osborne *et al.* 2004). D'autres chercheurs indiquent qu'un engagement des apprenants dans l'argumentation dépend du contexte, de la familiarisation des apprenants avec la question et des connaissances scientifiques des élèves sur la question (Von Aufschnaiter *et al.* 2008, Lewis et Leach 2006). Un apprentissage d'une courte durée de connaissances scientifiques relatives à la question est faisable et peut aboutir à un meilleur engagement des élèves dans l'argumentation (Lewis et Leach, 2006).

Notre recherche s'inscrit dans ces débats-là, en étudiant l'argumentation et la mobilisation des connaissances scientifiques des élèves du secondaire (des lycéens de 15-16 ans), lors des débats et des décisions sur le choix d'un système de chauffage dans le cadre d'une CSS sur le(s) changement(s) climatique(s) dans un cadre scolaire naturel. Cette étude fait partie d'une thèse actuellement en cours.

2. Questions de recherche et cadre théorique

Nous cherchons à déterminer :

- a) Comment évolue la qualité des arguments des élèves suite à un débat sur une CSS?
- b) Comment évolue la mobilisation des connaissances scientifiques des élèves?
- c) Est-ce qu'il y a un lien entre la qualité des arguments et la mobilisation des connaissances scientifiques des élèves sur les questions ?

Nous avons dans notre recherche des visées de conception, d'intervention, d'analyse et d'évaluation de séances d'enseignement dans le cadre de CSS. Ainsi nous avons opté pour un modèle analytique et propositionnel (Albe, 2007) dédié à la mise en place et à l'analyse de séances d'enseignement centrée sur les CSS. Le modèle proposé a la particularité d'être suffisamment souple pour intégrer les différentes dimensions (épistémologique, de communication et de l'activité du groupe classe) et de prendre en compte les relations aux savoirs auquel les CSS font appel (savoirs disciplinaires et d'autres types de savoirs). Ce modèle s'inscrit aussi dans le cadre du « Design Experiment » de Cobb et al. (2003) qui vise par son caractère « humble » à relier dans un processus itératif, la théorie, la conception d'enseignements et le caractère contextuel de la recherche.

3. La méthodologie de recherche

En cohérence avec une entrée par une étude socio-épistémologique, spécifique du modèle de conception de séances d'enseignement (Albe, 2007), nous avons étudié les positions des

scientifiques sur les questions du changement climatique (GIEC, 2007; Courtillot, Gallet, Le Mouél, Fluteau et Genevey, 2007; Robinson, Robinson et Soon, 2007) ainsi que les caractéristiques relatives au choix de systèmes de chauffage. Ensuite, afin d'élaborer nos questionnaires, nos séances et une partie de notre cadre d'analyse, nous avons mené une étude de la littérature sur les conceptions des élèves sur les questions du climat (Pilar Punter *et al.* 2011 ; Hansen, Pål J. Kirkeby, 2010) et de l'énergie (Trumper, 1997, IJSE), et nous avons complété notre travail par une étude du curriculum libanais en cours (1998).

Nous avons mené notre étude avec des élèves de première scientifique. Après avoir reçu, un enseignement restreint de connaissances scientifiques sur le climat, les gaz à effet de serre et la notion du rendement énergétique, les élèves sont invités à débattre et à prendre des décisions sur le choix d'un système de chauffage, une question locale, dans le cadre de débats sur une CSS le(s) changement(s) climatique(s), une question globale au niveau de la planète. L'échantillon d'étude comporte 21 filles de première scientifique d'élèves libanais de 15 à 16 ans, en cycle secondaire. On présente dans cet article le résultat de 19 élèves, présents à toutes les séances.

L'intervention comporte les neuf séances suivantes, de durée totale de 6h étalées sur 3 jours réalisée pendant une semaine vers la fin de l'année scolaire alors que les élèves ont presque fini leur programme scolaire annuel. La séance 1 (50 mn) consiste à soumettre les élèves à un questionnaire de recherche écrit (pré-test) ; la séance 2 (55 mn) comporte un enseignement de connaissances scientifiques sur la météo, le climat, l'effet de serre, le rendement, la puissance. Les séances 3 et 4 (40 mn) consistent en l'étude en équipes de 3 à 4 élèves de la position d'un groupe de scientifiques, parmi trois positions proposées à l'ensemble de la classe, sur la question du(des) changement(s) climatique(s) puis un exposé par équipe à l'ensemble de la classe ; les séances 5, 6 et 7 comportent une étude en équipes de 4 à 5 élèves du choix d'un système de chauffage parmi cinq proposés, un exposé et des débats avec l'ensemble de la classe, Les élèves disposent pour cela d'un document¹¹⁴ écrit décrivant ces systèmes. Finalement, la séance 8 consiste à faire passer aux élèves le questionnaire de recherche (post-test) et dans la séance 9 les élèves donnent oralement leur opinion sur le déroulement et le contenu des séances.

3.1. Recueil de données

Le recueil de données comporte les réponses écrites individuelles des élèves au questionnaire de la séance 1 (pré-test), au questionnaire de la séance 8 (post-test), les fiches de synthèse des débats en équipes de 3 et 5 élèves (séances 3 et 5), l'enregistrement audio des débats en équipes (séances 3 et 5), en classe entière et des exposés (séance 4 et 5), les résultats scolaires des élèves en sciences physiques et les notes prises par le chercheur. Le questionnaire de recherche comprend douze questions : dix questions sur les connaissances scientifiques des élèves sur la météo, le climat, l'effet de serre, le rendement, la puissance, la conversion et le transfert énergétique, la combustion, le principe de fonctionnement d'une centrale électrique, une question concernant les débats sur le(s) changement(s) climatique(s) et une question sur le choix d'un système de chauffage.

Dans cet article nous présentons les résultats d'analyse des réponses individuelles des élèves (les séances 1 et 8) à deux questions (parmi 12) du pré-test et du post-test :

- 1) *Y a-t-il des débats actuels sur le climat ? Si oui, quelles sont les idées débattues dont vous avez entendu parler ?*

¹¹⁴ Tous les documents sont écrits en langue française, la langue d'enseignement des sciences dans le lycée. Par contre l'arabe (libanais) est la langue maternelle des élèves libanais ainsi, leurs réponses comprenaient des mots en arabe.

- 2) *Vous venez d’emménager dans une nouvelle habitation qui ne possède pas de chauffage. Vous décidez d’en installer un. Quel type de chauffage choisissez-vous ? Donner 5 raisons de ce choix. Expliquer vos raisons en utilisant vos connaissances scientifiques.*

A travers ces deux questions nous étudions l’évolution individuelle de l’argumentation écrite et de la mobilisation des connaissances scientifiques des élèves, suite à une séquence comprenant un enseignement de connaissances scientifiques, l’étude de la position de différents groupes de scientifiques sur la question du climat et des débats sur le choix du système de chauffage.

3.2. Analyse des données

Pour analyser les réponses des élèves nous nous sommes basés sur deux outils l’un pour l’analyse des arguments (voir exemple 1) des élèves et un autre pour l’analyse des connaissances scientifiques (voir exemple 2) des élèves.

1/ Dans le cadre analytique de Toulmin (1958) décrit par Osborne *et al.* (2004) qui analyse la qualité et la quantité d’arguments lors de discours oraux des élèves. Les éléments d’un argument comprennent au minimum une déclaration (claim), suivis de données (data), de justifications (warrants) et de soutiens (backing), et peuvent comporter aussi des « qualifications » et des réfutations (rebuttals). Les « données » sont reliées à la « déclaration » par une « justification ». Les « soutiens » sont les hypothèses théoriques qui sous-tendent les déclarations. Les « qualifications » indiquent la limite de validité des déclarations. Les « réfutations » sont des propositions qui remettent en cause les données, les justifications ou les soutiens.

Etant donnée la difficulté à distinguer dans les arguments des élèves entre les « données », les « justificateurs » et les « soutiens », Osborne *et al.* (2004) proposent de les regrouper en un ensemble qu’ils appellent « bases ». Ils considèrent qu’un argument est de qualité s’il contient une réfutation. Ils regroupent ainsi les arguments en deux catégories. La première est constituée par des arguments sans réfutation et contenant une « déclaration » seule (niveau 1) ou une « déclaration » avec des « bases » (niveau 2). La deuxième catégorie d’arguments contient en plus des « déclarations » et des « bases », des « réfutations » (niveau 3, 4 et 5) (voir tableau suivant).

Niveau 1	L’argument est constitué d’une déclaration simple face à une autre déclaration ou une déclaration simple face à une contre-déclaration.
Niveau 2	Les arguments sont constitués de déclarations avec soit des données, des soutiens ou des justifications mais pas des réfutations.
Niveau 3	Les arguments sont constitués de séries de déclarations ou des contre-déclarations avec soit des données, des justifications ou des supports avec des réfutations faibles.
Niveau 4	Les arguments sont constitués de déclarations avec des réfutations clairement identifiables. Tels arguments peuvent contenir plusieurs déclarations et des contre-déclarations, sans que ça soit nécessaire.
Niveau 5	Les arguments sont constitués de plusieurs réfutations

Figure 1. Niveaux d’argumentation suivant Osborne *et al.*, 2004.

Exemple 1. Transcription de l’élève N° 15, Question 12, post-test : « *Je choisis un chauffage solaire mixte, parce que je pense qu’il faut choisir un chauffage moins polluant, par suite n’affecte pas le climat, et malgré qu’on ne sait pas exactement et c’est incertain que le CO₂ affecte le climat, mais il faut prendre ce qui est ami avec la nature et l’environnement, ce chauffage utilise comme source le soleil qui est renouvelable ...* »

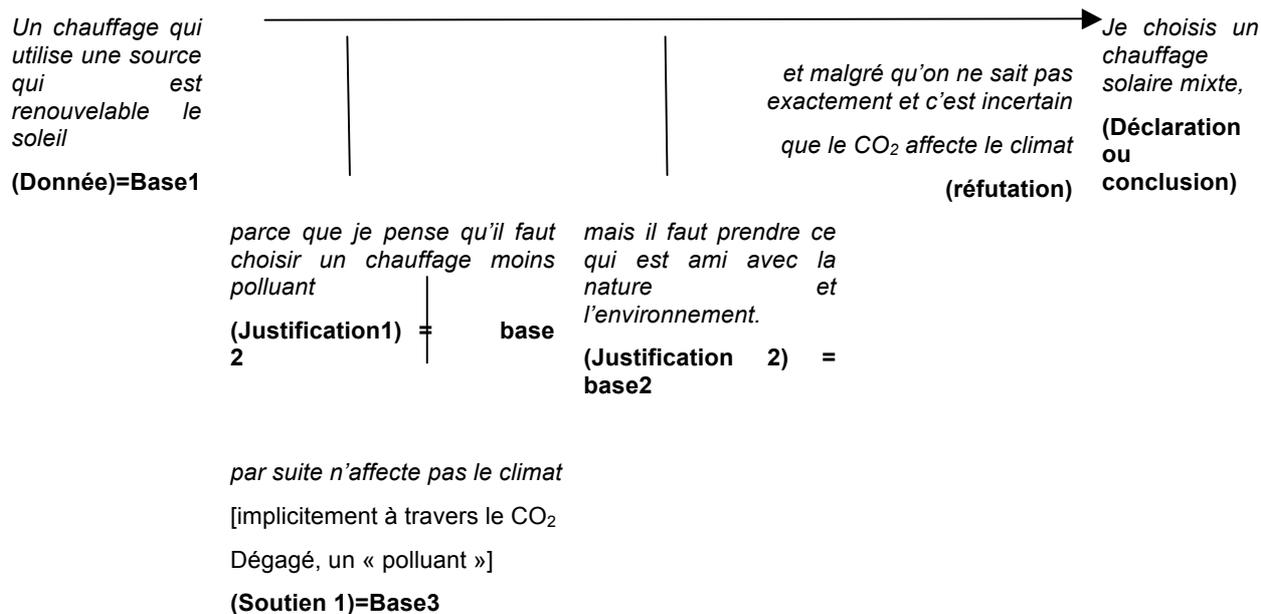


Figure 2. Exemple de notre catégorisation de l'argumentation des élèves suivant Toulmin (1958) et Osborne *et al.* (2004)

2/ Pour l'analyse des connaissances scientifiques, nous avons utilisé un outil (Von Aufschnaiter *et al.* 2008) développé pour l'analyse des productions orales des élèves suivant trois dimensions¹¹⁵: le contenu, l'abstraction et le temps. Les chercheurs visent à repérer si les élèves intègrent des éléments du contenu et gardent une concentration thématique appropriée, s'ils se basent sur des règles et des lois générales au lieu de se centrer sur des objets et des phénomènes isolés et quel est le temps mis par l'élève pour résoudre les tâches ou les problèmes.

Ainsi le degré d'abstraction des connaissances scientifiques est hiérarchisé en 4 domaines :

Domaine I : (Objets, aspects et opérations) : les apprenants traitent mentalement des situations concrètes et des objets ; ils considèrent un seul phénomène, décrivent des observations et des expériences, et lient des expressions physiques à des objets/phénomènes, mais pas à des concepts physiques ou théoriques.

Domaine II : (propriétés et événements) : les élèves développent une compréhension générale des phénomènes et des objets (établir une compréhension conceptuelle). Les élèves combinent des propriétés générales différentes en une loi-basique de compréhension. La relation entre les propriétés est considérée statique ; les élèves n'arrivent pas à établir mentalement une variation fonctionnelle à part relier des valeurs (ex : petit x/petit y contre grand x/grand y).

Domaine III : (programmes et principes) : les élèves établissent une relation fonctionnelle où au moins une variable est considérée comme variable dynamique. Typiquement ce sont les lois physiques (ex : davantage x/davantage y).

Domaine IV : (niveau des connections, réseaux et systèmes) : une compréhension plus large des relations dynamiques entre différentes connections de deux ou plusieurs variables est développée. Ce niveau est rarement observé parmi les apprenants.

¹¹⁵ Nous avons retenu pour notre analyse des connaissances scientifiques les dimensions du contenu et d'abstraction.

Exemple 2.

Le lycée, l'élève, la question	La transcription de la réponse de l'élève	Le contenu	Niveaux d'abstraction	Domaine d'abstraction supérieur atteint
FD, N°15, Q 2	<p><i>Je choisis un chauffage solaire mixte, parce que je pense qu'il faut choisir un chauffage moins polluant, par suite n'affecte pas le climat, et malgré qu'on ne sait pas exactement et c'est incertain que le CO₂ affecte le climat, mais il faut prendre ce qui est ami avec la nature et l'environnement, ce chauffage utilise comme source le soleil qui est renouvelable ...</i></p>	<p>Choix d'un chauffage fonctionnant sur une source d'énergie solaire combinant un autre système</p> <p>Un chauffage moins [antonyme de davantage] polluant</p> <p>Un chauffage qui n'affecte pas le climat [en général]</p> <p>Incertitude sur l'impact du CO₂ sur le climat [implicitement si ce système de chauffage est moins polluant que d'autres chauffages émetteurs du CO₂]</p> <p>Choix d'un chauffage ami avec la nature et l'environnement</p> <p>Le soleil une source renouvelable utilisée par le chauffage.</p>	<p>Opération [choix du système de chauffage]</p> <p>Propriété générale variable [un chauffage moins polluant en général]</p> <p>+ Propriété [n'affecte pas le climat en général] = Programme</p> <p>Propriété générale [impact du CO₂ en général] + Propriété générale [sur le climat en général] = Evénement</p> <p>Propriété générale (choix d'un chauffage en général)</p> <p>+Propriété générale (ami de la nature et de l'environnement en général)</p> <p>Opération [ce chauffage utilise le soleil comme source énergétique]</p> <p>Propriété générale [du soleil qui est une source renouvelable en général]</p>	<p>Programme Domaine III</p>

Figure 3. Catégorisation des contenus et des domaines d'abstraction suivant Von Aufschnaiter et al. (2008)

4. Les résultats

Nous procédons à l'analyse de l'évolution de la qualité de l'argumentation et des niveaux d'abstractions des connaissances scientifiques des élèves dans les réponses écrites des élèves au pré-test et au post-test.

4.1. Le contenu

En comparant les résultats du pré-test et du post-test, concernant le contenu des connaissances scientifiques mobilisées par les élèves sur la question 1 (concernant le climat) on remarque que onze élèves mobilisent au post-test des connaissances scientifiques nouvelles par rapport au pré-

test. Ces connaissances concordent avec les contenus des documents distribués aux élèves. Trois élèves n'ont pas mobilisé de nouvelles connaissances mais celles-ci sont plus structurées. Nous avons regroupé les réponses des élèves au pré-test et au post-test en fonction des éléments de contenu propres à la CSS du climat (fig. 4). On constate après le post-test une augmentation du nombre d'élèves qui mentionnent des causes au(x) changement(s) climatique(s) et qui donnent des exemples de conséquences de ce changement.

Pour la question 2 (concernant le choix de chauffage), seize élèves évoquent de nouvelles connaissances scientifiques par rapport au pré-test, et déjà présentes dans les documents distribués, réparties de la façon suivante (fig. 5). Cinq élèves mobilisent des connaissances relatives au gaz à effet de serre après la séquence et ne le font pas avant. Une seule élève évoque explicitement au post-test une influence possible sur le climat des émissions du CO₂ du système de chauffage, ce qu'elle ne faisait pas au pré-test. Pour une autre élève, le lien fait au pré-test entre le système de chauffage et l'augmentation de la température de la terre n'est plus fait au post-test. Onze élèves changent de système de chauffage au post-test.

Contenu	Nombre d'élèves	Pré-test	Post-test
Pas de réponses		4	2
Il y a des débats sur le climat sans aucune indication sur des débats sur le(s) changement(s) climatique(s) ou l'augmentation de la température de la terre		4	4
Il y a des débats sur le climat avec une indication sur des débats sur le(s) changement(s) climatique(s) et/ou l'augmentation de la température de la terre		9	12
Les élèves indiquent les idées débattues ou les conséquences		5	7
Les élèves indiquent les causes de ce(s) changement(s) climatique(s)		5	9
Les élèves mentionnent des causes en liens avec l'effet de serre ou le CO ₂		4	5

Figure 4. Le contenu relatif à la question 1

Contenu	Nombre d'élèves	Pré-test	Post-test
Mentionnent le CO ₂ dans leurs réponses		5	15
Mentionnent l'effet de serre		0	5
Choisissent un système de chauffage solaire (et/ou) mixte solaire		4	16
Choisissent un système de chauffage électrique		11	1
Choisissent un système au bois		1	2

Figure 5. Le contenu relatif à la question 2

4.2. Niveaux d'argumentation pré-test/post-test

Les réponses des élèves ont été codées en fonction de la qualité de leurs arguments (figure 6 pour la question 1 et figure 7 pour la question 2). On remarque pour la question 1, une amélioration de la qualité de l'argumentation des élèves. Dix élèves passent à un niveau supérieur dont cinq atteignent au post-test au moins le niveau 3. Pour la question 2, huit élèves améliorent la qualité de leur argumentation.

Nombre d'élèves	Pré- test	Post- test
Niveaux d'arguments		
Sans réponses	3	2
Niveau 1	5	2
Niveau 2	11	10
Niveau 3	x	1
Niveau 4	x	2
Niveau 5	x	2

Figure 6. Niveaux d'argumentation question 1

Nombre d'élèves	Pré- test	Post- test
Niveaux d'arguments		
Sans réponses	2	1
Niveau 1	1	
Niveau 2	14	10
Niveau 3	2	6
Niveau 4	X	2
Niveau 5	X	

Figure 7. Niveaux d'argumentation question 2

4.3. Niveaux d'abstraction des connaissances scientifiques mobilisées pré-test/post-test

Pour le codage des niveaux d'abstraction des connaissances scientifiques mobilisées nous avons considéré le niveau le plus élevé atteint par l'élève pour l'ensemble de la réponse fournie à une question donnée. On remarque pour la question 1, que neuf élèves améliorent le niveau d'abstraction (figure 8). Tandis que pour la question 2, ils sont dix élèves à le faire (figure 9).

Ces résultats suggèrent que si les domaines d'abstraction IV et V sont difficilement atteint par les élèves de première S le domaine III a pu être atteint après la séquence pour une majorité d'élèves.

Nombre d'élèves	Pré- test	Post- test
Domaines des C. Sc.		
Sans réponses ou sans C Sc.	3	2
Domaine I	5	2
Domaine II	6	3
Domaine III	5	12
Domaine IV	X	X
Domaine V	X	X

Figure 8. Domaines des C. Sc. Question 1

Nombre d'élèves	Pré- test	Post- test
Domaines des C. Sc.		
Sans réponses ou sans C Sc.	1	1
Domaine I	1	X
Domaine II	13	5
Domaine III	4	13
Domaine IV	X	X
Domaine V	X	X

Figure 9. Domaines des C. Sc. Question 2

4.4. Liens éventuels entre la qualité des arguments et les domaines d'abstraction des connaissances scientifiques des élèves sur les questions

En croisant pour chaque élève les niveaux d'arguments atteints et les domaines d'abstractions (pour la question 1, figure 10 et pour la question 2 figure 11), nous remarquons le même phénomène pour les deux questions c'est-à-dire une argumentation de qualité supérieure (3, 4 ou 5) ne peut être faite qu'avec des connaissances scientifiques d'un niveau d'abstraction relativement élevé (II, III). Les niveaux d'argumentation du niveau 2 et 3 peuvent

être atteints avec deux domaines d'abstraction différents II et III mais jamais avec des niveaux d'abstraction du niveau I.

Domaines d'abstraction de C Sc	Sans C. Sc.		Domaine I		Domaine II		Domaine III		Domaine IV	
	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test
Niveau 1	5	X	1	1	X	X			X	
Niveau 2					5	3	5	7	X	
Niveau 3								1	X	
Niveau 4								2	X	
Niveau 5								2	X	

Figure 10. La distribution pour la question 1 des niveaux d'arguments par rapport aux niveaux d'abstractions (Non réponses au pré-test =3 et Non réponses au post-test =2)

Domaines d'abstraction de C. Sc	Sans C. Sc.		Domaine I		Domaine II		Domaine III		Domaine IV	
	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test
Niveau 1			1						X	
Niveau 2					12	3	3	7	X	
Niveau 3					1	2	1	4	X	
Niveau 4								2	X	
Niveau 5									X	

Figure 11. La distribution pour la question 2 des niveaux d'arguments par rapport aux niveaux d'abstractions (Non réponses au pré-test= 3 et non réponse au post-test = 1.)

À l'inverse l'augmentation du niveau d'abstraction ne s'accompagne pas systématiquement de l'augmentation du niveau d'argumentation. En effet, une majorité d'élève dont le niveau d'abstraction relève du domaine III, ne dépassent pas le niveau 2 en qualité d'argumentation et ceci est vrai aussi bien pour les questions 1 et 2 que nous avons analysées.

5. Conclusion

Finalement, nous avons montré que les élèves interrogés réussissent, après les séances, à mobiliser des nouvelles connaissances scientifiques, avec des niveaux d'abstractions plus élevés et cela en corrélation avec Chang et Chiu, (2008). Contrairement aux résultats de Pilar Punter *et al.* (2011) qui indiquent que les élèves ne font pas le lien entre le ménage et la question du climat, il nous semble que certains élèves (ceux qui évoquent les gaz à effet de serre) ont fait implicitement le lien entre le choix du chauffage et la question du changement climatique. Les résultats obtenus sur la qualité de l'argumentation sont en corrélation avec d'autres recherches notamment l'étude de Wu & Tsai (2007) où 40% des apprenants arrivent à construire des réfutations face aux arguments opposés suite à un enseignement limité de connaissances scientifiques. Enfin, concernant le lien entre la qualité de l'argumentation et le niveau d'abstraction des connaissances scientifiques, nous retrouvons qu'une argumentation de qualité

supérieure ne peut être faite qu'avec des connaissances scientifiques d'un niveau d'abstraction relativement moyen. Nous ne retrouvons pas exactement les résultats de l'étude de Von Aufschnaiter *et al.* (2008), qui établissent que des niveaux élevés d'argumentation sont atteints aussi avec des domaines de connaissances scientifiques relativement bas. Nous remarquons dans notre étude, qu'il est difficile de s'engager même dans une argumentation sans un minimum de connaissances sur la question débattue en corrélation avec l'étude de Lewis et Leach (2006).

Bibliographie

Albe, V. (2007). *Des controverses scientifiques socialement vives en éducation aux sciences; Etat des recherches et Perspectives* ; Mémoire de synthèse pour l'Habilitation à diriger des Recherches, Université Lyon 2.

Chang, S. & Chiu M-H (2008). Lakatos' Scientific Research Programmes as a Framework for Analyzing Informal Argumentation about Socio-scientific Issues. *International Journal of Science Education* 2008, 1–21.

Cobb, P., Confrey, J., DiSessa, A., Lehrer R., Schauble, L. (2003). Design Experiments in Educational Research; *Educational Researcher*, Vol. 32, No. 1, pp. 9–13.

Courtillot V., Gallet Y., Le Mouël, J-L., Fluteau F., Genevey A. (2007). Are there connections between the Earth's magnetic field and climate?, *Earth and Planetary Science Letters*, 253: 328–339

Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287–312.

GIEC (2007). *Quatrième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), Changements climatiques 2007 : rapport de synthèse.*

Hansen, P. J. K. (2010). Knowledge about the Greenhouse Effect and the Effects of the Ozone Layer among Norwegian Pupils Finishing Compulsory Education in 1989, 1993, and 2005—What Now?, *Int. Journal of Science Education*, 32: 3, 397 — 419.

Jimenez-Aleixandre, M. P. Rodriguez, A. B., & Duschl, R.A. (2000). “Doing the lesson” or “doing science:”, Argument in high school genetics. *Science Education*, 84, 757–792.

Jimenez-Aleixandre, M.P., & Pereiro-Munhoz, C. (2002). Knowledge producers or knowledge consumers? Argumentation and decision making about environmental management, *IJSE*, 24, 1171–1190.

KolstØ, S. (2001). Scientific Literacy for Citizenship: Tools for Dealing with the Science Dimension of Controversial Socioscientific Issues, *Sci Ed* 85:291–310.

Lewis, Jenny and Leach, John (2006). Discussion of Socio-scientific Issues: The role of science knowledge, *International Journal of Science Education*, 28:11, 1267 — 1287

Le curriculum des sciences, contenu de la deuxième année du cycle secondaire en sciences, 1998, Liban Ministère de l'Education et de l'Enseignement supérieur, Le Centre de Recherche et de Développement Pédagogiques (CRDP),.

Osborne, J., Erduran S., Simon S. (2004). Enhancing the Quality of Argumentation in School Science; *Journal of research in science teaching*, Vol. 41, No.10, PP. 994–1020.

- Pilar P., Montserrat O-P., Javier G. (2011). Spanish Secondary School Students' Notions on the Causes and Consequences of Climate Change, *Int. Journal of Science Education*, Vol. 33, No. 3., pp. 447-464
- Robinson, A. B., Robinson, N. E., Soon A.(2007). Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide, *Journal of American Physicians and Surgeons* 12: 79-90.
- Sadler, T. D. (2004). Informal Reasoning Regarding Socioscientific Issues: A Critical Review of Research, *Journal of research in science*; Vol. 41, No. 5, PP. 513–536.
- Schuster D. A., Filippelli G. M., Thomas C. W., (2008). Secondary Students' Subject Matter Representations of Climate Change, *Journal of Geoscience Education*, v. 56, n. 4: 307-316.
- Trumper, R. (1997). A survey of conceptions of energy of Israeli pre-service high school biology teachers, *International Journal of Science Education*, 19: 1, 31 — 46
- Von Aufschnaiter ,C., Erduran S., Osborne J., Simon S. (2008). Arguing to Learn and Learning to Argue: Case Studies of How Students' Argumentation Relates to Their Scientific Knowledge; *Journal of research in Science teaching*; VOL. 45, NO. 1, PP. 101–131.
- Wu, Y-T. and Tsai, C-C. (2007). High School Students' Informal Reasoning on a Socio-scientific Issue: Qualitative and quantitative analyses, *Int. Journal of Science Education*, 29: 9, 1163 — 1187.

Modèles implicites dans les reformulations multimodales des enseignants

Karine Bécu-Robinault, Ens de Lyon – Ifé ; Karine.Robinault@ens-lyon.fr

&

Kristine Lund, UMR ICAR, CNRS, Univ. Lyon 2, Ens de Lyon – Ifé ; kristine.lund@ens-lyon.fr

Mots Clés : Reformulation, multimodalité, faisceau sémiotique, modèles, physique

Résumé : Cette contribution vise à étudier les objectifs potentiels des reformulations multimodales par un enseignant en classe. Notre cadre s'appuie sur le rôle des modèles dans l'apprentissage et sur le concept de faisceau sémiotique, qui permet d'analyser le rôle des reformulations orales et gestuelles dans l'interaction. Nous avons procédé à une étude de cas réalisée à partir de l'analyse vidéo d'un extrait de séance dédiée à l'étude des lumières colorées en quatrième. Les résultats de ce travail montrent que les reformulations multimodales de l'enseignant s'appuient sur un modèle non encore présenté aux élèves. Ce modèle, objectif d'apprentissage à court terme, permet la cohérence forte du faisceau sémiotique enseignant. Même si la relation au modèle est différente pour l'enseignant et les élèves (connu vs inconnu), il permet de justifier l'introduction de nouvelles connaissances lors des reformulations multimodales et donne aux élèves des éléments leur permettant de construire leur réflexion.

1. Introduction

La recherche que nous présentons prend sa source dans le suivi de séquences d'enseignement élaborées dans le cadre d'une recherche-développement. Nous avons principalement étudié la manière dont les enseignants mettent en œuvre ces séquences, et les interactions entre élèves en lien avec les objectifs d'apprentissage. Dans une précédente recherche (Bécu-Robinault & Lund, 2009), nous avons montré que, au regard des difficultés des élèves, les reformulations enseignantes pouvaient être soit une aide à la compréhension, soit une complexification trop importante des éléments d'apprentissage en jeu. Dans cette présentation, nous avons souhaité investiguer les raisons possibles à cette complexification des éléments de savoirs lors des reformulations multimodales. Pour cela, nous avons choisi de nous focaliser sur une séance d'optique en quatrième. L'objectif d'enseignement est la synthèse additive : les élèves, après avoir étudié la décomposition de la lumière blanche, se voient confier une activité lors de laquelle ils doivent prévoir la lumière colorée obtenue lors de la superposition de lumières colorées rouge, verte et bleue. Ce choix de séance repose sur la richesse des registres de représentation de l'information, mais aussi sur la diversité des modèles invoqués par l'enseignant et les élèves.

2. Cadre théorique

Ce travail s'inscrit dans un cadre classique de la didactique visant à étudier le rôle de la modélisation (Tiberghien, 1994) dans l'apprentissage, et dans un cadre interactionniste rendant compte de la pluralité des modes de communications disponibles lors des échanges entre enseignant et élèves.

Les recherches sur l'enseignement et l'apprentissage en physique ont révélé un ensemble de conceptions des élèves dans l'ensemble des domaines d'enseignement. Concernant les lumières colorées, il a été noté par exemple que les élèves pensent que la couleur est une propriété immuable des objets (Anderson & Smith, 1986). En parallèle, la lumière colorée transporte de la couleur (foncée), et ces couleurs peuvent être mélangées à celles de l'objet. Compte tenu des activités des élèves pendant la séance analysée, il est également important de prendre en compte les conceptions des élèves concernant les filtres colorés. Les recherches ont montré que les élèves traitent les filtres colorés comme des sources de lumière (Chauvet, 1996). Ils considèrent également que la lumière devient colorée avec les filtres, et en conséquence, la couleur de la lumière à la sortie du filtre est identique à la couleur du filtre (Bravo, 2005).

En lien avec la séance analysée, deux modèles de la physique peuvent être mis en compétition pour l'interprétation et la prévision des phénomènes (Bécu-Robinault & Gobara, 2010), celui de l'optique géométrique n'ayant pas encore été enseigné. Il s'agit des modèles de la synthèse additive, ci-après désigné par « couleur-lumière », et de la synthèse soustractive, que nous nommerons « couleur-matière ». Une analyse des programmes d'arts plastiques indique que les élèves de quatrième ont déjà mis en œuvre les propriétés du modèle de la synthèse soustractive lors de pratiques graphiques et picturales liées à la peinture. Ce modèle peut donc être plus prégnant pour les élèves. Les représentations graphiques de ces deux modèles reposent sur des objets communs, à savoir des cercles de couleur (cyan, magenta, jaune pour les couleurs-matières primaires et rouge, vert, bleu pour les couleurs-lumières primaires) se superposant partiellement. Les couleurs et leur disposition sont fonction du modèle en jeu.

Concernant les interactions, nous postulons que toute situation d'enseignement suppose une dissymétrie des interlocuteurs en termes de savoirs. La construction d'un sens commun impose des ajustements du discours des enseignants prenant appui sur des indices liés à la compréhension des élèves et perçus au fil des interactions. Ces ajustements sont fréquemment effectués par le biais de reformulations qui visent le plus souvent des énonciations plus conventionnelles du point de vue du savoir enseigné (Chouinard & Clark, 2003). Selon les objets à la disposition de l'enseignant, de multiples canaux de communication peuvent être mobilisés (Lund et Bécu-Robinault, 2010). Nous avons choisi un cadre théorique permettant de prendre en compte la pluralité de modes sémiotiques, portés par différents média (Kress & Van Leeuwen, 2001). Cela nous permet par exemple de prendre en compte différemment les dessins, selon s'ils sont produits par le biais d'un logiciel de dessin ou par les élèves sur leur cahier.

Par ailleurs, dans une perspective proche de celle de Duval que nous avons volontairement élargie, nous empruntons à Arzarello (2004) la notion de « faisceau sémiotique » (*semiotic bundle*) qui est un élargissement de la notion du système sémiotique prenant en compte les modes de production des signes. Un faisceau sémiotique se définit comme a) un regroupement d'ensembles sémiotiques (e.g. paroles + gestes, paroles + gestes + dessins, etc.), eux-mêmes composés de modes sémiotiques permettant la production des signes ; b) des relations entre les ensembles sémiotiques (e.g. des pratiques pour produire et éventuellement transformer ces ensembles). Il s'agit d'une structure dynamique qui évolue en fonction des activités sémiotiques du sujet et des relations qu'il entretient avec les ressources à sa disposition. L'ensemble des modes sémiotiques, y compris les gestes, est analysé conjointement à la parole (Kendon, 2004).

3. Questions de recherche

Notre étude repose sur une hypothèse fondamentale concernant la co-construction du discours multimodal de la classe. La coordination des modes sémiotiques caractérisant ce discours permet la mise en cohérence du faisceau sémiotique en construction. Toutefois, des observations indiquent que l'enseignant opère des complexifications fréquentes du faisceau sémiotique, en contradiction avec cette mise en cohérence. Il est donc important d'identifier en quoi ces complexifications perturbent la mise en cohérence du faisceau sémiotique ainsi que les raisons conduisant l'enseignant à le complexifier.

4. Méthodologie

Nous présentons un extrait d'une séance s'articulant autour de l'usage d'un logiciel de simulation. Nous avons filmé un enseignant lors de trois séances consécutives, de manière à prendre en compte les éléments précédemment présentés et ceux qui seront réutilisés. Nous avons enregistré (audio et vidéo) un groupe de trois élèves (deux garçons, une fille) avec une caméra fixe et l'enseignant avec une caméra mobile. Afin de voir l'écran de l'ordinateur, les élèves, lors de cette séance, sont filmés de dos. Afin d'analyser ces données, des transcriptions multimodales ont été réalisées : verbalisation *in extenso*, description des gestes associées à des photos extraites des vidéos. L'épisode sur lequel nous centrons notre analyse se situe au moment où les élèves tentent de trouver un moment pour reproduire, avec le matériel habituellement disponible en classe, ce qu'ils ont pu observer avec le logiciel de simulation. Dans ce contexte, nous avons choisi de nous focaliser sur une reformulation enseignante de la production de ce groupe d'élèves. Cette reformulation n'est pas à proprement parlé une correction, même si les élèves cherchent, dans le discours enseignant, des éléments pour valider ou non les différents éléments de leur production.

5. Analyse *a priori* de la séance analysée

Lors des séances précédentes, les élèves ont utilisé des filtres pour produire des lumières colorées, puis un spectroscope pour décomposer la lumière naturelle. Cette séance s'inscrit dans la continuité des deux précédentes: il s'agit cette fois de recomposer la lumière blanche à partir des trois lumières colorées rouge, verte et bleue.

À l'ouverture du logiciel, trois ronds colorés, représentant les lumières colorées rouge, verte et bleue, sont superposés. Les élèves peuvent les déplacer avec la souris, l'orientation des projecteurs étant modifiée simultanément. Le lien entre le rond coloré manipulé et le projecteur n'est pas explicite. Le fait de déplacer les ronds colorés et non les projecteurs conduit les élèves à focaliser leurs actions et certainement leurs interprétations uniquement sur les ronds colorés (qu'ils peuvent considérer comme des couleurs matières), et pas sur les sources de lumières – les projecteurs (couleurs lumières). De plus, dans les consignes fournies aux élèves, les modèles « couleur lumière » et « couleur matière » sont involontairement combinés. Pour éviter de mettre en difficulté les élèves avec les noms des couleurs pas toujours connus, nous leur demandons de colorier des cases avec la couleur de la lumière colorée obtenue. Pour répondre à cette consigne, les élèves sont ainsi incités à représenter la couleur lumière avec de la couleur matière.

Cette séance sera poursuivie par une expérience réalisée par l'enseignant avec une lanterne d'optique permettant la superposition de trois faisceaux rouge, vert et bleu. Il s'agira alors de comparer les résultats de la simulation, conformes aux résultats donnés par le modèle, à ceux de l'expérience faite en classe, soumise aux conditions non idéales de l'expérimentation (mur pas tout à fait blanc, qualité souvent médiocre des filtres, présence de lumières parasites).

6. Résultats

Nous focalisons notre analyse sur un épisode court (1min27s), pendant lequel l'enseignant demande aux élèves de décrire l'expérience qu'ils comptent proposer.

Les élèves souhaitent spontanément mobiliser du matériel déjà utilisé en classe, ici le spectroscope, pour reproduire les phénomènes observés avec le logiciel de simulation. Cette proposition s'explique par le contrat didactique, mais aussi par la complexité de la situation à imaginer. Les élèves n'ont jamais utilisé plusieurs sources de lumière simultanément, et la lanterne d'optique que l'enseignant pense utiliser n'a pas encore été utilisée en classe. Les élèves envisagent ensuite de « mettre des filtres sur le spectroscope ». Outre le fait que le spectroscope n'est pas une source de lumière, la formulation faite par les élèves est d'*assembler* les 3 filtres. L'enseignant va effectuer une reformulation multimodale, associant le geste à la parole (Figure 1), ses mains mimant la position des trois filtres placés les uns derrière les autres.

Locuteur	verbalisation	gestes	Photos des gestes
E3	non mais pour euh si on assemble les trois		
Enseignant	si on rassemble les trois c'est à dire un filtre	les mains se plaquent l'une devant l'autre	
E2 et E3	rouge		
enseignant	un filtre rouge	les mains se plaquent l'une devant l'autre en sens inverse	
E2	bleu vert		
E3	vert et bleu		
Enseignant	un filtre bleu et un filtre vert et qu'est-ce qu'on en fait on les rassemble c'est à dire ↑	les mains se plaquent l'une devant l'autre en sens inverse	

Figure 1. Première reformulation multimodale enseignante (geste + parole) des paroles des élèves

L'enseignant va ensuite reprendre le geste des élèves et mimer l'assemblage des filtres en un paquet (Figure 2). Alors assuré d'avoir compris la manière dont les élèves souhaitent organiser les filtres en un seul paquet l'enseignant va effectuer une deuxième reformulation multimodale associant la verbalisation « on les superpose » d'une série rapide de trois claquements de mains, comme s'il aplatisait successivement les trois filtres les uns derrière les autres. Une interprétation possible à ce geste assez brusque (visuellement et phonétiquement) est que l'enseignant rejette cette réponse. Les élèves ont mis en œuvre une conception confondant les filtres et les lumières, conception renforcée par l'identité du vocabulaire employé (ils peuvent parler de superpositions de filtres ou de lumières). Le claquement de mains marque la fin de cet épisode concernant la superposition des filtres. Par la suite, l'enseignant ne prend plus en compte cette conception encombrante.

Locuteur	verbalisation	gestes	Photos des gestes
E2	ben on les met sur	Les élèves puis l'enseignant font des cercles aplatis avec les doigts qui se touchent, les mains en face	
E3	on les met		
E2	on les superpose		
E3	l'un derrière l'autre		
Enseignant	on les superpose c'est à dire on fait	Il rassemble les mains devant lui, les doigts se touchent cercle aplati puis il claque trois fois des mains	
E2	Un paquet		

Figure 2. Deuxième reformulation multimodale enseignante (geste + parole) des paroles et gestes des élèves

Suite à cette reformulation, l'enseignant va faire engager les élèves à interpréter leur réponse. Pour cela, il va leur demander la couleur de la lumière avant et après l'assemblage des trois filtres. Les élèves répondent que la lumière avant et après les filtres est blanche. L'enseignant s'éloigne alors ostensiblement. Une interprétation proxémique serait que la distance entre l'enseignant et les élèves est proportionnelle à l'écart entre leur réponse et celle attendue. À la suite de cette prise de distance de l'enseignant, deux des élèves vont tenter une autre réponse. L'enseignant saisit ces opportunités pour se rapprocher successivement de ces deux élèves. Après la proposition d' « envoyer de la couleur verte bleue et rouge », l'enseignant effectue une troisième reformulation multimodale (Figure 3), associant à nouveau le geste et la parole et mimant simultanément 3 faisceaux de lumières colorés. L'enseignant ne parle à ce moment plus du tout des filtres, mais uniquement des lumières colorées.

Locuteur	verbalisation	gestes	Photos des gestes
Enseignant	il faudra envoyer de la de la lumière verte de la couleur verte lumière colorée verte lumière colorée bleue lumière colorée rouge	Effectue 3 fois le geste de placer les mains devant lui en forme V en se déplaçant entre chaque itération de ce geste	

Figure 3. L'enseignant effectue une troisième reformulation multimodale (geste + parole) des paroles des élèves

Malgré cette dernière reformulation, le dessin de l'expérience proposée ne fait mention que de l'association des filtres colorés, équivalente à un filtre blanc. L'enjeu majeur de cette activité reste, pour les élèves, orienté sur la production de lumières colorées. L'enjeu de l'enseignant coïncide quant à lui avec l'objectif d'apprentissage, la superposition des lumières colorées.

7. Interprétation

Les productions verbales, gestuelles et écrites des élèves montrent qu'ils confondent le filtre et la lumière colorée obtenue après le filtre. Cette difficulté se traduit par l'invention d'un objet que l'enseignant ne sait pas gérer (à ce moment de la séance), à savoir un filtre blanc. Les interactions entre les élèves et l'enseignant ne remettent pas en cause l'existence de cet objet. En effet, les élèves restent focalisés sur la manière de créer des lumières colorées, alors que l'enseignant traite exclusivement des lumières colorées à superposer, considérant les modes

d'utilisation des filtres comme acquis. Ainsi, les élèves ne discutent pas au niveau du modèle « couleur lumière » (synthèse additive), mais au niveau des objets (les filtres qui permettent d'obtenir des lumières colorées).

La gestuelle de l'enseignant lors de la dernière reformulation met en évidence des différences fondamentales entre le discours enseignant et celui des élèves. Dans l'expérience proposée, les faisceaux peuvent être considérés comme divergents, les sources étant assimilables à des sources ponctuelles. Lorsque l'enseignant mime les positions spatiales des faisceaux de lumières colorées de façon à ce que les trois faisceaux se superposent, il positionne ses mains en mimant la forme de faisceaux convergents. Notons que cette forme de faisceau convergent est obtenue que lorsqu'un faisceau traverse une lentille convergente, ce qui n'a pas encore été étudié par les élèves. Le passage d'un faisceau divergent à un faisceau convergent apparaît également lorsque l'enseignant corrige l'activité et dessine au tableau les ronds de lumières obtenus, correspondant aux tâches colorées manipulées sur le logiciel de simulation. Effectivement, de tels ronds, de diamètres inférieurs à ceux des sources de lumière, ne peuvent être obtenus que si l'on place un écran après la lentille (à une distance différente de la distance focale si on veut obtenir une tâche de diamètre suffisant). Cette dernière reformulation multimodale, supposée fournir aux élèves l'aide nécessaire à la construction d'une réponse correcte, complexifie le faisceau sémiotique en construction, en anticipant sur les savoirs qui seront prochainement enseignés. Alors que le faisceau sémiotique précédemment utilisé en classe, celui de l'enseignant s'articule autour d'un modèle physique. Notons toutefois que les élèves parviennent à conclure qu'il faut trois lumières distinctes, qu'ils n'ont pas à disposition. La référence au modèle de l'optique géométrique pour mimer des faisceaux convergents peut avoir aidé les élèves à formuler cette contrainte.

Notre analyse indique que le faisceau sémiotique de l'enseignant est fortement cohérent si l'on se place du point de vue du modèle physique qui sera présenté aux élèves lors des prochaines séances. Il n'est par contre pas cohérent avec le faisceau sémiotique des élèves en construction. Les éléments apportés par l'enseignant viennent le complexifier. Si l'enseignant est capable de passer d'un ensemble sémiotique à l'autre, cela n'est pas le cas pour l'élève qui n'a pas encore à sa disposition le modèle physique adéquat. Il apparaît donc, à ce moment de la leçon, que l'enseignant complexifie le faisceau sémiotique en prenant en compte les avancées programmées du savoir à enseigner, et non les connaissances en cours de construction des élèves.

8. Conclusion

L'enseignant reformule les propositions (verbales ou gestuelles) des élèves tout en introduisant des connaissances nouvelles, en lien avec le modèle de l'optique géométrique. Pour l'enseignant, c'est un moyen permettant d'intégrer les différents ensembles sémiotiques en un faisceau sémiotique cohérent et stable. Les relations, qui assurent l'unité et la cohérence de ce faisceau sémiotique sont assurées à la fois par la parole de l'enseignant et des gestes mimant les faisceaux de lumière convergents. Lors de la reformulation, il apparaît que l'enseignant, par les gestes et la parole, fournit des éléments qui peuvent guider les élèves vers une formulation plus conventionnelle, en adéquation avec un modèle physique, même si celui-ci n'a pas encore été enseigné. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus dans une précédente recherche où une enseignante s'appuyait sur un mode gestuel pour asseoir un mode schématisé qu'elle savait devoir être introduit dans une séance ultérieure (Lund & Bécu-Robinault, 2010). Il s'avérait alors que ces reformulations gestuelles étaient ensuite intégrées au faisceau sémiotique des élèves. En effet, les analyses conduites ont montré que les élèves les mobilisaient lors de leurs activités ultérieures. Ici, l'enseignant prépare les élèves à assimiler le savoir à enseigner, en rapprochant par la reformulation multimodale les productions des élèves du savoir enseigné. Ces

reformulations, introduisant des éléments de modèle implicite (à ce moment inaccessible) à ce moment de la leçon, semblent fournir des aides aux élèves dans la poursuite de leurs activités, même si nous n'avons pas d'éléments tangibles nous permettant d'affirmer qu'il s'agit bien d'une forme aide à la compréhension.

Bibliographie

Anderson, C.W., Smith, E. L. (1986) Children's conceptions of light and color: Understanding the role Unseen Rays. (Research series no 166). East Lansing: Michigan State University, Institute for Research on Teaching.

Arzarello, F. (2004). Semiosis as a Multimodal Process. *Relime*, Numero Especial, p. 267-299.

Bécu-Robinault K. & Gobara S. (2010) Visual arts and physics models in competition within an ICT-based activity: color as matter or color as light? In Dolinšek, S. & Lyons, T. (Eds.) *Socio-cultural and Human Values in Science and Technology Education – conference proceedings*, XIV IOSTE, Bled, Slovenia, p. 162-174.

Bécu-Robinault K. & Lund, K. (2009). La reformulation par l'enseignant. In *6èmes rencontres de l'ARDIST*, Nantes, 14-16 Octobre 2009.

Bravo, B., Pesa, M. (2005) Concepciones de alumnos (14-15 años) de educación general básica sobre la naturaleza y percepción del color. *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*. 10 (3), p. 337-362.

Chauvet, F. (1996) - Teaching color: Designing and evaluation of a sequence, *European Journal of Teacher Education* 19 (2), p. 121-136.

Chouinard, M.M. & Clark, E.V. (2003). Adult reformulations of child errors as negative evidence. *Journal of Child Language*, 30, p. 637-669.

Duval, R. (1995). *Sémiosis et Pensée Humaine*. Paris: Peterlang.

Kendon, A. (2004). *Gesture : Visible action as utterance*. Cambridge : Cambridge University Press.

Kress, G. and Van Leeuwen, T. (2001). *Multi-modal Discourse*. London : Arnold.

Lund, K. & Bécu-Robinault, K. (2010). La reformulation multimodale et polysémiotique comme aide à la compréhension de la physique. In A. Rabatel (dir.). *Analyse sémiotique et didactique des reformulations*. Presses universitaires de Franche-Comté, p. 211-234.

Tiberghien A. (1994) Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and instruction*, 4(1), p. 71-87.

Analyse des difficultés rencontrées par des élèves de troisième pour mener une démarche d'investigation : cas d'un travail en SVT conduit dans le cadre du projet SCY

Reinaldo Saavedra, Univ. de Grenoble, Laboratoire d'Informatique de Grenoble, équipe MeTAH ; rj.saavedra@gmail.com

Rachel Julien, Univ. de Grenoble, Laboratoire d'Informatique de Grenoble, équipe MeTAH ; Rachel.Julien@imag.fr

&

Patricia Marzin, Univ. de Grenoble, Laboratoire d'Informatique de Grenoble, équipe MeTAH ; patricia.marzin@imag.fr

Mots clés : ADN, police scientifique, conceptions, démarche d'investigation, problématisation

Résumé : Le travail effectué s'inscrit dans le cadre du projet européen SCY (Science Created by You) dont le but est de développer la plateforme informatique SCY-Lab qui contient des contenus pédagogiques pour l'apprentissage des sciences. Les situations proposées sont guidées par une démarche d'investigation ouverte. L'objectif de la recherche est de faire une étude de cas avec quatre élèves afin de vérifier que la réalisation de la situation intitulée « laboratoire de police scientifique » est conforme à l'analyse a priori effectuée. Les analyses portent sur l'évolution des conceptions des élèves et sur l'identification des raisons élaborées par les apprenants à partir de l'analyse des productions des élèves sur la plateforme. Les résultats montrent une évolution de certaines conceptions et la construction de nécessités sur l'ADN et sur ses techniques d'analyse, dans un contexte de police scientifique.

1. Introduction

Le travail présenté ici a pour objectif de tester une situation de démarche d'investigation, implémentée sur la plateforme d'apprentissage SCY-Lab, auprès de quatre élèves volontaires de fin de troisième. SCY (Science Created by You) est un projet dont l'un des buts est de développer des situations d'apprentissages guidées par des démarches d'investigation sur des temps relativement longs (une quinzaine d'heures) et où les élèves sont placés en autonomie totale. L'objectif du test est de vérifier que la réalisation de la mission 4 intitulée « laboratoire de police scientifique » est conforme à l'analyse *a priori* effectuée. Les éléments testés portent sur la mobilisation des notions visées, la faisabilité des activités proposées et le temps mis par les élèves pour réaliser la mission. Les résultats présentés ici portent uniquement sur l'évolution des conceptions des élèves et sur l'identification des nécessités construites par les élèves au cours de la mission.

Les questions de recherche travaillées sont :

- quelles sont les connaissances mobilisées par les élèves pour comprendre les phénomènes et les principes utilisés dans les expériences mises en œuvre ?

- la construction des contraintes et des nécessités au cours de la mission va-t-elle aider les élèves à se construire un modèle de l'ADN et de mieux comprendre les principes de la recherche en criminalistique ?

2. Éléments du contexte

« Science Created by You » (SCY), est un projet européen dont le consortium réunit sept pays partenaires (Allemagne, Canada, Chypre, Estonie, France, Norvège, Pays-Bas). La plateforme SCY-Lab a été conçue pour l'apprentissage des sciences et des technologies. SCY utilise une approche pédagogique flexible et évolutive durant laquelle les élèves travaillent en se déplaçant dans des espaces nommés LASs « Learning Activity Spaces » (espaces d'activités pour l'apprentissage) (Lejeune, A. et al, 2009). Chaque LAS est défini par rapport à un type d'activité donné (s'informer, s'orienter, concevoir un protocole expérimentale, expérimenter, analyser des données, rédiger un rapport). En travaillant dans chacun de ces espaces, les apprenants vont concevoir des objets « Emerging Learning Objects » ELOs, que l'on peut traduire par objets émergents pour l'apprentissage, à l'aide de différents outils informatiques (traitement de texte, éditeur de dessin, éditeur de carte conceptuelle, grapheur, outil de traitement de données, simulations, ...). La mission 4 sur laquelle porte cette étude est constituée de 6 LASs et 8 ELOs sont à produire par les élèves (voir figure 1).

La situation pédagogique proposée dans cette mission engage les élèves dans une enquête policière s'inspirant de faits réels. Il s'agit d'une investigation au cours de laquelle les élèves doivent réaliser des profils ADN à partir d'échantillons prélevés sur la scène du crime, sur la victime et sur les suspects, puis de les comparer afin de rendre un rapport au Ministère Public. Les échantillons sont fournis aux élèves. Les objectifs d'apprentissage de la mission englobent des compétences scientifiques générales (recherche d'information, organisation des données, la mise en œuvre cohérente d'une démarche expérimentale) ; des concepts de biologie (structure de l'ADN, universalité et la spécificité du code génétique) ; et des éléments concernant la recherche en criminalistique (techniques d'analyse d'ADN, recherche de correspondance entre les profils).

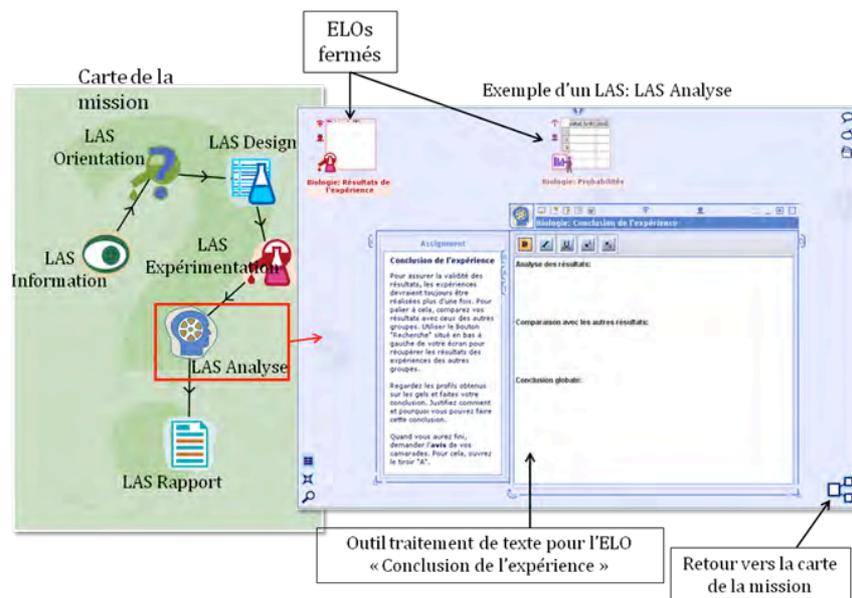


Figure 1. Carte de la mission 4 « laboratoire de police scientifique », présentant l'enchaînement des espaces et détail de l'espace rapport (copies d'écrans)

3. Cadre théorique et références

Le cadre théorique utilisé comprend deux aspects : les conceptions des élèves et le cadre de la problématisation. Nous avons analysé l'évolution des conceptions des élèves avant et après la mission au moyen de questionnaires pré et d'un post-test. Nous définissons les conceptions comme un ensemble organisé de connaissances permettant aux élèves de donner du sens à une ou plusieurs situations-problèmes qui leur sont proposées. Cet ensemble constitue un modèle qui peut être construit par le chercheur à partir des représentations externes produites par l'élève. Les conceptions sont mobilisées dans une situation et dans un contexte donné (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel, & Toussaint 1997, p. 147).

Afin d'étudier les activités des élèves au cours de la mission nous avons modélisé deux éléments de la situation dans le cadre de la problématisation. Pour Christian Orange la problématisation consiste à mettre « *en tension critique le savoir* », c'est-à-dire à articuler « *explicitement des contraintes empiriques repérées comme pertinentes, avec des conditions de possibilités des modèles explicatifs* » (Orange, 2000, p. 27). Orange parle ainsi de « *l'établissement des raisons* » (Orange 2003, p. 62). Avec Orange, nous pensons que l'articulation fonctionnelle entre les éléments du registre empirique (identification des contraintes) et les éléments du registre de modèles (nécessités sur les modèles) provoque un « *ré-organisation du savoir* » et constitue le sujet en rationalité en lui permettant d'accéder à « *des principes de nécessité* » (Bachelard, 1998, p.11). Nous avons adapté le cadre de la problématisation à notre situation. Dans un premier temps nous avons modélisé les contraintes et les nécessités de la situation de façon préalable en nous mettant dans un processus de problématisation comme les élèves pourraient le faire dans le contexte de SCY-Lab, le résultat obtenu est l'espace de contraintes visées. Dans un second temps nous avons formalisé les nécessités construites par les élèves alors qu'ils interagissaient entre eux et avec la plateforme, en nous référant uniquement à leurs productions écrites dans les ELOs.

Pour modéliser les conceptions des élèves nous nous sommes aussi appuyés sur plusieurs études antérieures. Ces études montrent que les élèves n'arrivent pas à comprendre les interactions entre les différents niveaux d'organisation inhérents aux phénomènes génétiques (Horwitz, 1996 ; Lewis & Wood-Robinson, 2000 ; Marbach-Ad & Stavy, 2000, Fuchs-Gallezot et al 2011), et ils ont tendance à confondre les rôles des structures clés et les mécanismes génétiques afférents (Friedrichsen & Stone, 2004 ; Marbach-Ad & Stavy 2001 ; Venville & Treagust 1998). D'autres travaux ont souligné les difficultés des élèves à concevoir que la molécule d'ADN est à la fois une structure physique et une unité d'information. En lien avec cela Friedrichsen et Stone (2004) ont constaté que les étudiants confondent les molécules d'ADN, de gènes et de chromosomes. Nous nous sommes aussi référés à d'autres types de travaux qui ont étudié les conceptions des élèves sur l'ADN dans un contexte criminalistique. Ces travaux montrent que les élèves ont une vision quasi « magique » des techniques d'analyse utilisées et du type de résultats attendus. Par exemple les élèves pensent que l'analyse ADN va donner des renseignements précis sur l'identité d'une personne, sur ses caractères (sexe, couleur des yeux,...). Par ailleurs les élèves assimilent la recherche de profils ADN des personnes présentes sur la scène de crime à la recherche de l'identité du criminel. Ils pensent que toutes les traces qui ont été laissées sur la scène de crime seront examinées ou que chacun a un profil ADN unique.

4. Analyse épistémologique

L'analyse épistémologique a été élaborée à partir de trois éléments :

- Une analyse des programmes et des manuels ;
- Une analyse *a priori* des conceptions et des obstacles ;

- Une modélisation de la situation dans le cadre de la problématisation.

Nous ne détaillerons pas ici l'analyse des programmes et des manuels qui a été décrite par Reinaldo Saavedra (2011) dans son mémoire de Master 2.

4.1. Analyse des conceptions et des obstacles

À partir de l'étude bibliographique, nous avons modélisé les conceptions des élèves sur le concept d'ADN, puis nous avons mis en relation ces conceptions avec différents obstacles. Cette modélisation va nous servir de référence pour analyser les résultats aux pré et post-test.

Notions	Obstacles	Conceptions
Structure et fonction génétiques	<p>La relation entre les objets impliqués dans la transmission des caractères ADN-gène-chromosome-caryotype.</p> <p>Les articulations entre ces différents niveaux d'organisations biologiques et le rôle de chacun dans la transmission de l'hérédité.</p>	<p>- L'ADN est composé d'une simple échelle.</p> <p>- L'ADN est composé d'une chaîne de chromosomes.</p> <p>- Les gènes ont une fonction et une localisation différente de celle de l'ADN.</p> <p>- Les cellules spécialisées (musculaires ou nerveuses, par exemple) n'ont que les gènes spécifiques pour exécuter leurs fonctions.</p> <p>- Les gènes sont des structures composées de chromosomes.</p>
Niveau d'organisation du matériel génétique (ADN, Gène, chromosomes)	<p>Le processus de condensation-décondensation de la chromatine lors de la division cellulaire.</p> <p>L'ensemble des informations portées par l'entité ADN défini génétiquement un individu.</p>	<p>- Les gènes sont les barreaux de la structure de l'ADN.</p> <p>- Les chromosomes sont les barreaux de l'ADN.</p> <p>- Les gènes sont composés des chromosomes.</p>

Tableau 1. Identification préalable des conceptions et des obstacles impliqués dans la mission « Laboratoire de police scientifique »

4.2. Modélisation de la situation dans le cadre de la problématisation

Nous avons effectué une analyse du contenu de la mission 4 conformément aux étapes suivantes :

- Lister les consignes que les élèves doivent suivre pour la construction de chaque ELO ;
- Lister les activités que les élèves vont effectuer dans chaque LAS ;
- Lister les objectifs d'apprentissages visés à la suite du travail effectué dans chaque LAS ;
- Identifier les contraintes, les nécessités et les raisons de façon préalable au déroulement de la mission et une analyse de la problématisation élaborée par les élèves.

Les contraintes empiriques sont construites à partir des objets concrets manipulés par les élèves, des phénomènes et des expériences alors qu'ils réfléchissent aux précautions à prendre lors de l'examen de la scène de crime au début de la mission, puis quand ils réfléchissent au principe de l'expérience et enfin lors de l'interprétation des résultats expérimentaux, c'est-à-dire la lecture des profils d'ADN obtenus par la technique d'électrophorèse sur gel. Les contraintes du modèle sont construites de façon préalable à partir des préacquis des élèves et des concepts présentés aux élèves lors de la consultation des ressources de la mission.

En nous plaçant dans le cadre théorique proposé par C. Orange (2000, p. 60-82) nous avons identifié *a priori* deux espaces de contraintes. Pour cela, nous avons dégagé les contraintes empiriques et théoriques impliquées dans cette mission, puis nous avons mis en relation ces contraintes avec la finalité d'identifier les nécessités que les élèves vont devoir établir. La figure 2 se rapporte aux éléments en jeu lors de l'examen de la scène de crime (LAS Information). La

figure 3 s'appuie sur les éléments présents au moment de la mise en place de l'expérience et de l'analyse des résultats expérimentaux (LASs Orientation, Design et Analyse). Nous avons sélectionné ces deux moments de la mission car les élèves mobilisent des connaissances concernant la recherche criminalistique et sur l'ADN au niveau macroscopique et sur la structure de l'ADN au niveau moléculaire. Il s'agit de la problématisation à laquelle nous voulons conduire les élèves, nous avons donc représenté les espaces de contraintes visés.

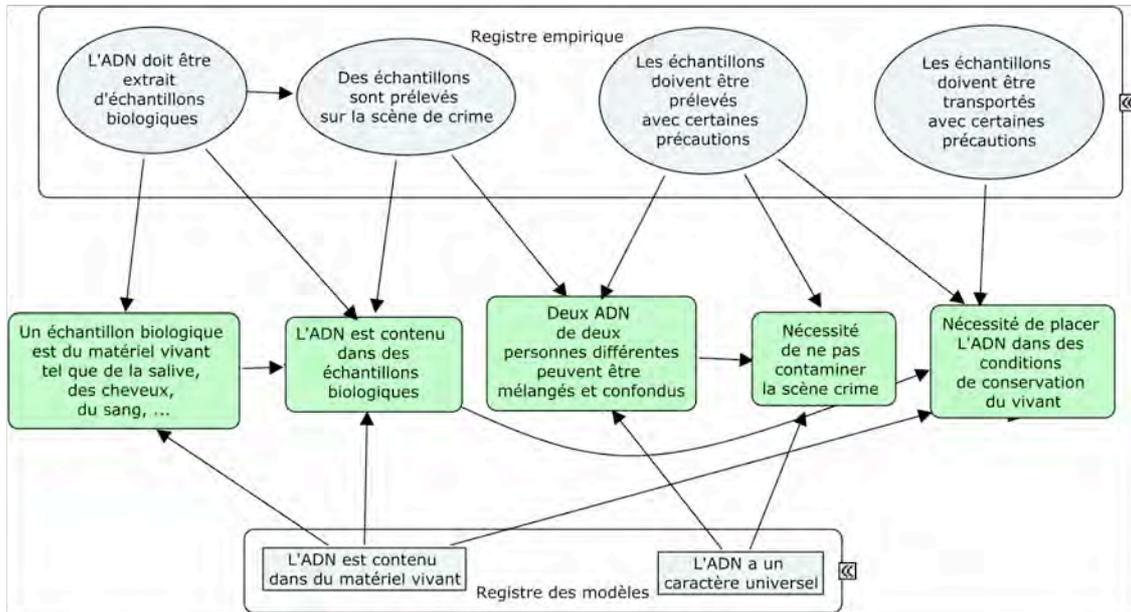


Figure 2. Espace de contraintes visées dans les LAS « information » de la mission « Laboratoire de police scientifique »

L'espace de contrainte montre que dans cette partie de la mission il est posé aux élèves la question du prélèvement et du transport des échantillons prélevés sur la scène de crime. Cela entraîne une problématisation sur la nature de l'ADN, sur sa forme, et sur son support. Les élèves peuvent raisonner à un niveau macroscopique, ils vont construire une relation entre les notions d'échantillon biologique et d'ADN.

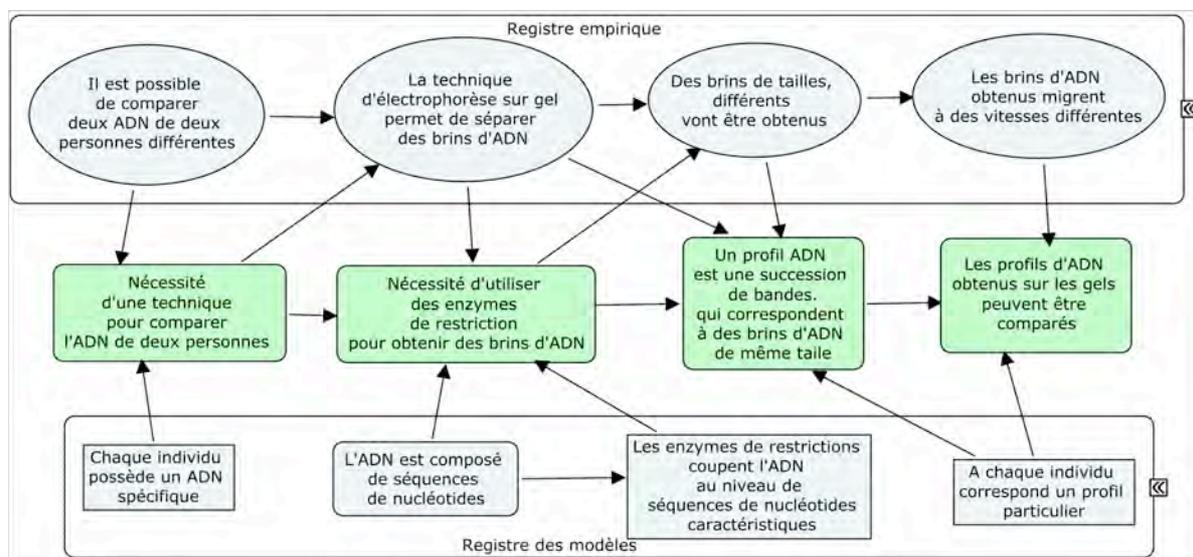


Figure 3. Espace de contraintes visées concernant les techniques d'analyse d'ADN utilisées dans la mission « Laboratoire de police scientifique »

Pour comprendre les phénomènes en jeu lors de l'expérience qu'ils réalisent et pour interpréter les résultats les élèves doivent se représenter la molécule d'ADN comme une séquence de nucléotides. Nous attendons qu'ils se construisent une définition plus précise d'un profil ADN et de l'usage qui peut en être fait en recherche criminalistique.

5. Méthodologie

5.1. Recueil des données : pré-test, post-test et analyse des ELOs

Les questionnaires pré et post-test proposés aux élèves ont été conçus à partir de l'analyse épistémologique présentée ci-dessus. La comparaison des réponses des élèves entre les deux questionnaires (pré et post) nous a permis d'analyser l'évolution des conceptions des élèves à la fin de la mission. Pour recueillir les données liées à la problématisation nous avons enregistré et analysé les productions réalisées par les élèves (ELOs) sur le SCY-Lab.

5.2. Contexte expérimental

Cette mission a été testée en juin 2011, dans des conditions expérimentales à l'université, hors contexte scolaire, avec quatre jeunes filles volontaires terminant leur classe de troisième. Ce test est préalable à une autre expérimentation prévue à l'automne 2011, en condition écologique avec une classe de seconde en France, et d'autres classes en Norvège et au Pays Bas.

6. Principaux résultats

6.1. Evolution des conceptions sur l'ADN et dans le domaine de la recherche en criminalistique

Elèves	Représentation de la molécule d'ADN					
	Prétest			Post-test		
	Définition	Empts biologiques	Relations gène/ADN/ Chromosomes	Définition	Empts biologiques	Relations gène/ADN/ Chromosomes
A	Absence de réponses et confusion sur la composition de l'ADN	ADN est dans la peau.	Les gènes ont une fonction différente à celle de l'ADN. Chromosome et ADN ont la même forme.	L'ADN est un acide et est une séquence de nucléotides.	L'ADN est situé dans les chromosomes	Les relations et les emboîtements entre Gene et ADN, Gène et chromosome puis ADN et chromosome se trouvent dans le bon ordre.
B	L'ADN est un message génétique. Composé de séquences de nucléotides et de protéines.	ADN est dans les chromosomes.	Les gènes ont une localisation différente à celle de l'ADN	L'ADN est une molécule universelle, c'est une séquence de nucléotides.	L'ADN est situé dans les chromosomes.	Les relations et les emboîtements entre Gene et ADN, Gène et chromosome puis ADN et chromosome se trouvent dans le bon ordre.
C	L'ADN est un acide, il contient l'information génétique. L'ADN est composé de cellules, de chromosomes et de gènes.	Confus	Les chromosomes sont une section de gènes.	L'ADN est un acide, il contient l'information génétique, c'est une séquence de nucléotides.	L'ADN est situé dans les chromosomes.	Les relations et les emboîtements entre Gene et ADN, Gène et chromosome puis ADN et chromosome se trouvent dans le bon ordre.
D	L'ADN est dans les cellules, il est composé de chromosomes et de gènes.	L'ADN est dans les cellules.	Les gènes ont une fonction différente à celle de l'ADN. Les chromosomes sont une section de gènes. Chromosomes et ADN ont la même forme.	L'ADN est une double hélice, c'est une séquence de nucléotides.	L'ADN se situe dans les cellules.	Les relations et les emboîtements entre Gene et ADN, Gène et chromosome puis ADN et chromosome se trouvent dans le bon ordre.

Tableau 2. Réponses des élèves au pré-test et au post-test à propos des caractéristiques de la molécule d'ADN

La lecture du tableau ci-dessus montre une hétérogénéité de réponses entre les élèves. L'élève A avait une conception floue de l'ADN avant l'expérimentation. Ses réponses au post-test sont beaucoup plus précises. Elle définit l'ADN comme une séquence de nucléotides, elle situe l'ADN dans les chromosomes. L'élève B avait produit des réponses assez précises au pré-test. Lors du post-test ses réponses montrent l'introduction de la notion d'universalité. L'élève C a

donné des réponses imprécises au pré-test et des réponses précises et correctes au post-test. L'élève D a elle aussi évolué positivement dans ses réponses entre le pré-test et le post-test. Pour les quatre élèves, le post-test montre des réponses concernant la définition de l'ADN, les niveaux d'emboîtement biologiques et la relation ADN/chromosome/gène proche des réponses attendues. Le tableau ci-dessous décrit les conceptions des élèves avant et après le travail effectué dans le cadre de la mission investigation policière.

Elèves	Techniques d'analyse de l'ADN			
	Pré-test		Post-Test	
	Une analyse génétique permet de	Un profil ADN donne des informations sur	Une analyse génétique permet de	Un profil ADN donne des informations sur
A	Identifier directement les coupables d'un crime. Comparer les ADN de plusieurs personnes.	Le sexe et les gènes d'une personne.	Comparer un échantillon d'ADN inconnu avec l'ADN d'un suspect.	Les gènes d'une personne.
B	Identifier directement les coupables d'un crime. Identifier toute la séquence d'ADN et d'identifier les caractéristiques physiques d'une personne. Comparer les ADN de plusieurs personnes.	L'apparence extérieure de l'auteur d'un crime. Le sexe et les gènes d'une personne.	Comparer un échantillon d'ADN inconnu avec l'ADN d'un suspect.	Les caractéristiques héréditaires et les maladies génétiques d'une personne, le sexe et les gènes d'une personne.
C	Identifier directement les coupables d'un crime. Identifier les caractéristiques physiques d'un assassin.	L'apparence extérieure de l'auteur d'un crime. Les caractères héréditaires et les maladies génétiques d'une personne. Les gènes d'une personne.	Comparer un échantillon d'ADN inconnu avec l'ADN d'un suspect.	Les gènes d'une personne.
D	Identifier directement les coupables d'un crime. Identifier toute la séquence d'ADN d'une personne coupable. Comparer les ADN de plusieurs personnes.	Le sexe et les gènes d'une personne.	Identifier toute la séquence d'ADN d'une personne coupable. Comparer un échantillon d'ADN inconnu avec l'ADN d'un suspect.	L'apparence extérieure de l'auteur d'un crime. Les caractères héréditaires et les maladies génétiques d'une personne. Le sexe et les gènes d'une personne.

Tableau 3. Réponses des élèves aux pré-test et au post-test (QCM pour cette partie) sur les fonctions d'une analyse génétique et sur la notion de profil d'ADN

Les données montrent une évolution positive des conceptions des élèves entre le pré-test et le post-test. Les réponses au pré-test montrent que les quatre élèves avaient la conception qu'il était possible d'identifier directement les coupables d'un crime à partir de l'analyse d'ADN. Les élèves B et C pensaient que l'analyse ADN permettait d'identifier les caractéristiques physiques d'une personne, les élèves B et D ont répondu que l'analyse ADN permet d'identifier toute la séquence d'ADN. Deux élèves ont répondu que l'analyse permettait de comparer les ADN de plusieurs personnes. Les réponses de tous les élèves au post-test montrent la réponse unique : comparer un échantillon d'un ADN inconnu avec l'ADN d'un suspect. Seule l'élève D répond aussi « identifier toute la séquence d'ADN d'une personne coupable ». L'évolution des réponses au deuxième type de question sur le profil ADN est moins nette. Les élèves associent de façon persistante profil ADN et apparence extérieure de la personne concernée par l'analyse. Il est possible que les élèves n'aient toujours pas une perception claire du terme profil ADN, alors qu'elles semblent avoir bien compris ce que permet l'analyse.

Le déroulement de la mission a entraîné une évolution importante de la plupart des conceptions identifiées au préalable, comme le montrent les tableaux 2 et 3. Cependant, nous remarquons que dans le post-test certaines conceptions identifiées *a priori* persistent. Les explications possibles peuvent être les suivantes :

- La mission ne permet pas aux élèves d'approfondir certains concepts ;
- Les élèves ont des difficultés à se représenter la signification biologique des profils obtenus sur les gels ;
- La terminologie employée entraîne des confusions chez les élèves comme par exemple : profil ADN, stockage d'information....

6.2. Analyse des ELOs construits par les élèves et travail des objectifs d'apprentissage

Le tableau suivant a été construit à partir des productions écrites des élèves dans les ELOs « examen de la scène de crime », « choix de la technique » et « rapport ». Nous avons interprété les productions écrites pour en inférer les nécessités.

LAS	ELOs	Nécessités construites par le groupe 1	Nécessités construites par le groupe 2
Information	Examen de la scène de crime	Un échantillon biologique est du matériel vivant tel que la salive, des cheveux, du sang, ... L'ADN est contenu dans des échantillons biologiques Nécessité de placer l'ADN dans des conditions de conservation du vivant	Un échantillon biologique est du matériel vivant tel que la salive, des cheveux, du sang, ... L'ADN est contenu dans des échantillons biologiques Deux ADN de deux personnes différentes peuvent être mélangés et confondus Nécessité de ne pas contaminer la scène de crime Nécessité de placer de l'ADN dans des conditions de conservation du vivant.
	Choix de la technique	Nécessité d'utiliser des enzymes de restriction pour obtenir des brins d'ADN.	Nécessité d'utiliser des enzymes de restriction pour obtenir des brins d'ADN.
Rapport	Rapport officiel	L'ADN est contenu dans des échantillons biologiques Les profils ADN obtenus sur gels peuvent être comparés.	Nécessité d'une technique pour comparer l'ADN de deux personnes. Nécessité d'utiliser des enzymes de restriction pour obtenir des brins d'ADN. Les profils ADN obtenus sur gels peuvent être comparés.

Tableau 4. Nécessités construites par les élèves dans trois ELOs

Les nécessités reconstruites sont partielles car nous n'avons utilisé que les productions écrites par les élèves dans trois ELOs. En effet les élèves n'ont pas eu le temps suffisant pour compléter les conclusions de l'expérience. D'autres informations pourraient être apportées par l'analyse des transcriptions des échanges oraux entre élèves. L'interprétation des données obtenue est donc à replacer dans ce contexte. Néanmoins les résultats obtenus montrent des différences entre les deux groupes d'élèves. Le groupe 2 semble avoir construit davantage de nécessités que le groupe 1, en tout cas les productions écrites sont plus complètes et plus détaillées. Toutes les nécessités formalisées dans la figure 2 ont été reconstruites à partir des productions du groupe 2. Deux des nécessités qui concernent la contamination de la scène de crime n'ont pas été

formalisées par le groupe 1. Concernant la compréhension de la technique utilisée pour analyser l'ADN, la nécessité « un profil ADN est une succession de bandes qui correspondent à des brins d'ADN de même taille » n'a pas pu être déduite des productions des élèves. Ce résultat est concordant avec les résultats obtenus au pré et au post-test qui montrent une difficulté pour les élèves à construire le concept de profil ADN et à se représenter sa nature biologique. Sur cette partie on constate comme dans la partie précédente que le groupe 2 a formalisé des productions plus complètes et plus détaillées.

7. Discussion

Les conceptions initiales des élèves (identifiées dans le pré-test) coïncident avec les conceptions identifiées dans d'autres études. En considérant les résultats obtenus au regard de notre problématique, nous pouvons dire que la construction progressive des ELOs à partir des ressources proposés par la plateforme a permis aux quatre élèves impliquées dans la situation de mobiliser de nouveaux concepts et de faire évoluer leurs conceptions sur l'ADN et sur les différents éléments de la recherche criminalistique. Quand il n'a pas été constaté d'évolution significative des conceptions, nous pensons que cela est dû au fait que les élèves ne comprennent pas certains termes. La notion de profil ADN pose encore problème car les élèves n'arrivent pas à faire le lien entre l'action des enzymes de restrictions, la structure de l'ADN et le principe de migration par électrophorèse. C'est le lien entre ces notions et la mise en place du raisonnement qui pose problème. En effet ce n'est pas parce que certaines nécessités sont construites de façon isolée que les liens avec les contraintes se font.

Deux questions se posent par rapport à l'investigation expérimentale :

- comment rendre les élèves autonomes sur les aspects expérimentaux tout en sachant qu'ils ne connaissent généralement ni le matériel ni les techniques à utiliser ?
- quel étayage proposer pour que l'activité de conception soit à la charge des élèves sans toutefois leur « donner » le protocole clé en main ?
- le deuxième point pose aussi la question du statut de l'hypothèse dans une démarche d'investigation comme celle-ci où les élèves jouent le rôle d'un technicien de laboratoire et d'enquêteur. Dans ce type de situation le statut de l'hypothèse consiste à retrouver le but de l'expérience plutôt qu'à poser une véritable hypothèse scientifique. Contrairement à une situation de démarche scientifique, le but de la situation d'investigation expérimentale consiste à utiliser l'expérience comme un élément de l'enquête.

Par ailleurs lors de la mission, les élèves ont été capables de travailler en autonomie pour construire les ELOs à partir des éléments apportés par les ressources (registre des modèles), donc le problème de l'autonomie ne se pose pas quand les élèves comprennent ce qu'ils faut faire et quand ils ont la capacité de le faire.

Du point de vue de la problématisation, nous avons vérifié que les élèves ont été capables de mettre en œuvre les raisons identifiées *a priori*. Nous pouvons conclure que leur mise en œuvre a été une source de nouveaux savoirs chez les élèves. La résolution des problèmes les a aidé à construire un modèle de l'ADN conforme aux programmes du niveau seconde et à mieux comprendre la démarche menée par un technicien de laboratoire. Pour compléter cette analyse, la verbalisation des élèves lors de la réalisation des ELOs pourrait être prise en compte. D'ores et déjà, cette étude a permis de vérifier que les élèves étaient capables de réaliser les activités proposées dans le temps prévu. Elle a aussi permis de proposer des modifications dans la formalisation des consignes, dans l'organisation de la mission et pour la formalisation du protocole. Ces modifications ont été intégrées avant une expérimentation à plus grande échelle qui a eu lieu en septembre et octobre 2011 avec une classe de seconde.

Bibliographie

Astolfi, J.-P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y., Toussaint, J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences: repères, définitions, bibliographies*. Bruxelles: De Boeck Université.

Astolfi J.-P., & Develay, M. (1989). *La didactique des sciences*, Paris, PUF, « Que sais-je ? ».

Bahar, M., Johnstone, A.H., & Sutcliffe, R.G. (1999). Investigation of students' cognitive structure in elementary genetics through word association tests. *Journal of Biological Education*, 33, 134-141.

Bachelard G. (1998). *Le Rationalisme Appliqué (1949)*. Paris : PUF.

Fuchs-Gallezot, M., Dargent, G., Dargent O., Dell'Angelo-Sauvage, M. & Desbeaux-Salviat, B. (2011). ADN, gène, protéine ... quelles relations pour les élèves ? in M. Coquidé, M. Fuchs-Gallezot & S. Tirard, (eds). *La génomique. Entre science et éthique, de nouvelles perspectives à enseigner*. ADAPT-SNES. Paris : Vuibert.

Friedrichsen, P., M., Stone, B. (2004). Examining students' conceptions of Molecular Genetics in an Introductory Biology Course for Non-Science Majors: a self study. Paper presented at the *National Association for Research in Science Teaching International Conference 2004*, Vancouver.

Horwitz, P. (1996). Teaching science at multiple space time scales. *Communication of the ACM*, 39, 100-102.

Lewis, J., & Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance- Do students see any Relationship? *International Journal of Science Education*, 22, 177-195.

Lejeune, A., Ney, M., Weinberger, A., Pedaste, M., Bollen, L., Hovardas, T., Hoppe, U., & de Jong, T. (2009). *Learning Activity Spaces: Towards flexibility in learning design?* Paper presented at the IEEE ICALT 2009 conference, Riga, Latvia, July 14-18, 2009.

Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2000). Students cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biological Education*, 34, 200-210.

Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie: quels apprentissages pour le lycée ?* Paris: PUF.

Orange, C (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'éducation non publié, université de Nantes, Nantes.

Orange, C (2003). Débat scientifique dans la classe problématisation et argumentation : Le cas d'un débat sur la nutrition au cours moyen. *Aster*, 37, p. 83-107.

Saavedra Gómez, R. J. (2011). *Etude de l'évolution des conceptions sur l'ADN chez des élèves de troisième impliqués dans la mission 4 « Forensic science » du projet SCY. Analyse de la problématisation*. Mémoire de master 2, spécialité didactique des sciences. Université Grenoble 1.

Venville, G.J., & Treagust, D.F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive Framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 1031-1055.

L'image des sciences au travers de l'histoire de la dioptrique dans l'enseignement secondaire tunisien : conceptions d'élèves de seconde après une séance innovante

**Mohamed Slaïmia, Univ. Paris-Sud 11, EST, EA 1610, DidaScO ; ISFEC-
Université de Tunis ;**

&

**Laurence Maurines, Univ. Paris-Sud 11, EST, EA 1610, DidaScO ;
laurence.maurines@u-psud.fr**

Mots clés : nature des sciences, histoire de la dioptrique, innovation pédagogique, conceptions épistémologiques, élèves

Résumé : Deux séquences d'investigation visant à montrer la diversité des enjeux poursuivis par les scientifiques et des démarches utilisées ont été élaborées pour la classe de seconde de l'enseignement tunisien. Documentaires et fondées sur l'histoire de la loi de la réfraction, elles ont été expérimentées à un an d'intervalle par le même enseignant préalablement formé. Elles se distinguent par le fait que la première vise également à l'élaboration et acquisition de savoir scientifique. Les résultats obtenus auprès des deux groupes d'élèves (le premier de 20, le second de 25) sont encourageants quant à l'évolution de leur image des pratiques scientifiques mais semblent révéler un rapport différent à l'innovation.

1. Introduction

Depuis son indépendance, la Tunisie a entrepris plusieurs réformes de son système éducatif afin d'asseoir son développement sur une société qui soit en mesure de répondre aux besoins changeants d'une nation en développement. La dernière loi d'orientation pour « l'école de demain » (2002) appelle à une amélioration continue des programmes et des manuels d'enseignement et de la formation des enseignants. C'est la raison pour laquelle nous avons décidé en 2008 de débiter une recherche afin de contribuer à la réflexion sur les objectifs d'enseignement à poursuivre et sur les méthodes susceptibles d'aider à les atteindre. Le processus de réformes engagées depuis le printemps 2011 devrait conduire à une modification des programmes d'enseignement d'ici deux ans.

Nous avons choisi d'explorer les problèmes soulevés par l'introduction de l'histoire des sciences dans les cours de sciences physiques du secondaire car les programmes d'enseignement le demandent sans plus de précision. Il y a encore peu de recherches sur les problèmes soulevés par cette introduction dans le monde francophone (Audigier & Fillon, 1991 ; Guedj, 2005 ; de Hosson, 2005 ; Décamp & de Hosson, 2010 ; Maurines & Mayrargue, 2007 ; Maurines & Beaufils & Chapuis, 2009 ; Maurines & Beaufils, 2011). A notre connaissance, il n'en existe pas en Tunisie. Les enjeux assignés à l'introduction de l'histoire des sciences dans les cours de sciences mentionnés dans les recherches sont multiples et vont de l'acquisition de concepts scientifiques à celle d'une compréhension adéquate de la nature des sciences en passant par un regain d'intérêt pour les sciences (Höttecke & Silva, 2011 ; Lederman, 2007).

Notre travail s'inscrit dans la continuité du programme de recherches menées par le groupe Didasco en France et amène à questionner les conditions de transfert de propositions innovantes d'un contexte éducatif à un autre. Il examine la possibilité d'introduire des éléments historiques dans les cours de physique du secondaire en réponse à un enjeu d'apprentissage d'ordre épistémologique relatif à l'image de la nature des sciences. Cette position, originale en France, l'est également en Tunisie.

Le thème scientifique retenu a donné lieu à peu de travaux en didactique : il s'agit de l'histoire de la dioptrique. Après une brève description des contraintes d'enseignement et de recherche liées à la situation tunisienne, nous présenterons nos questions et méthodologie de recherche ainsi que le cadre de référence épistémologique, historique et didactique dans lequel s'inscrit les séances innovantes que nous avons élaborées. Nous en donnerons la structure générale et les principaux résultats des expérimentations réalisées.

2. Contexte

Le système éducatif tunisien, fondé sur le modèle français, est centralisé et piloté par le ministère de l'éducation. Celui-ci édite des programmes scolaires que les enseignants doivent respecter aussi bien en ce qui concerne les horaires et les contenus d'enseignement que les supports : il existe un seul manuel d'enseignement par discipline et niveau d'enseignement, il présente donc un caractère officiel. L'enseignement des disciplines scientifiques est dispensé en français.

Les actuels programmes de sciences physiques sont centrés sur l'acquisition de savoirs et savoir-faire scientifiques. La dimension épistémologique de l'apprentissage présente dans les programmes français, bien que davantage suggérée qu'explicitée, est totalement absente. La dimension historique des savoirs scientifiques est mentionnée sans plus de précision.

Les programmes tunisiens véhiculent une image erronée des sciences, en particulier en ce qui concerne les démarches utilisées par les scientifiques. Dans la partie introductive, on continue à voir apparaître « la démarche » scientifique et « la méthode » scientifique au singulier : *“ Ils peuvent ainsi mettre en œuvre la démarche scientifique aussi bien pour une reconstruction du savoir que pour répondre à des questions susceptibles de les intéresser directement ”* ; *“ [...] former l'esprit à la rigueur, à la méthode scientifique, à la critique constructive et à l'honnêteté intellectuelle.”* Un tel langage n'aide pas les élèves à construire une image adéquate des sciences.

L'analyse des éléments historiques présents dans les manuels scolaires de sciences physiques tunisiens amène aux mêmes conclusions que celles formulées par Guedj et al (2007), Maurines et Beaufile (2011) pour les manuels français. Ces éléments sont peu nombreux, centrés sur les découvertes des lois, et renvoient à une seule personne, souvent célèbre, légendée par une date ou un évènement. Les textes historiques servent de support à l'apprentissage de concepts scientifiques ou constituent un complément facultatif.

Différentes enquêtes, menées majoritairement dans les pays anglo-saxons (Lederman, 2007) mais aussi au Canada et en France (Larochelle et Désautels, 1992 ; Robardet et Vérin, 1998) montrent que les conceptions des élèves et des enseignants sur la nature des sciences sont le plus souvent non-conformes aux conceptions contemporaines de l'entreprise scientifique et très souvent incohérentes. Elles correspondent à une image empirico-inductive et réaliste "naïve" des sciences même dans le cas où la dimension sociale du processus de construction des savoirs scientifiques est envisagée. Par ailleurs, les enseignants ne sont pas conscients qu'un des enjeux de l'enseignement des sciences est de nature épistémologique et qu'ils

transmettent inconsciemment une certaine image des sciences aux apprenants. Les tentatives pour modifier les conceptions des enseignants sur la nature des sciences se sont le plus souvent soldées par un échec. Ils continuent à éprouver des difficultés à transmettre une image authentique de celle-ci aux apprenants (Abd-El-Khalick et Lederman, 2000)

3. Questions de recherche

Le constat précédent nous a conduits à examiner la possibilité de transmettre une image plus authentique de la physique grâce à l'introduction de l'histoire des sciences dans les cours de physique de l'enseignement secondaire tunisien. Compte tenu des contraintes du système éducatif tunisien, des pratiques des enseignants et du contrat didactique auquel sont habitués les élèves, ces conditions portent sur la nature de la séance innovante à expérimenter en classe d'une part, sur la façon de la transmettre à l'enseignant qui l'expérimentera en classe d'autre part, sur les élèves et leur rapport à l'innovation enfin.

Deux hypothèses relatives aux élèves et enseignants inspirées par les résultats des recherches précédemment mentionnées fondent notre travail. La première est qu'ils partagent la même image des sciences, à savoir que les découvertes sont instantanées et faites par une seule personne, selon une démarche accordant une place prioritaire à l'expérience et occultant la réflexion théorique, en réponse à un seul type d'enjeux, la recherche de lois. La seconde est que les enseignants, de part leur formation initiale et continue, privilégient l'acquisition de savoirs scientifiques et un enseignement transmissif à caractère expérimental.

Il importe de préciser qu'il n'existe pas actuellement de consensus sur la possibilité de définir la nature de la science et donc d'énoncer des critères permettant de définir cette « authenticité » parmi ceux qui réfléchissent sur les sciences (Irzik et Nola, 2011). Cependant, parmi ceux qui s'intéressent à l'enseignement des sciences, il existe un consensus largement partagé sur un certain nombre de caractéristiques (Lederman, 2004 ; Abd-El-Khalick, 2004). Ses partisans s'accordent sur l'idée d'enseigner aux élèves les caractéristiques des sciences les moins controversées. L'objectif est en effet de leur fournir une compréhension générale de ce que sont les sciences, une compréhension accessible pour le niveau de la fin des études secondaires et pertinente pour de futurs citoyens. Nous adhérons à cette vision consensuelle de la nature des sciences et de son mode de transmission. C'est en effet celle qui se dégage de l'analyse menée par le groupe DidaScO sur les caractéristiques de la nature des sciences à retenir comme objectifs principaux pour travailler l'image de la nature des sciences en lien avec l'histoire des sciences.

4. Méthodologie

Notre démarche de recherche relève de l'ingénierie didactique (Artigue, 1988). Le processus de validation de l'expérimentation en classe est interne et repose sur la confrontation entre analyse *a priori* et *a posteriori*.

Afin d'enrichir la banque de séquences innovantes élaborées par le groupe DidaScO dans le domaine de l'optique, nous avons décidé d'en concevoir une. Nous l'avons centrée sur un thème historico-scientifique pour lequel nous connaissions l'apport des savants des pays arabo-musulmans au Moyen-Age : l'élaboration de la loi de la réfraction. L'analyse épistémologique de l'histoire de la dioptrique nous a conduits à choisir « la diversité des

enjeux poursuivis par les scientifiques » et « la diversité des démarches utilisées » comme objectifs d'apprentissage afin de contrer l'image renvoyée par l'enseignement traditionnel de scientifiques qui sont tous à la recherche de lois et font des expériences. Puis nous avons défini la place de la séquence dans la progression de la classe (après l'enseignement de la loi de la réfraction car la séance que nous souhaitions expérimenter devait être centrée uniquement sur des objectifs épistémologiques) et des activités pour les élèves et l'enseignant dans le cadre d'une démarche d'investigation (démarche d'enseignement recommandée par les programmes).

Notre démarche d'ingénierie prend en compte non seulement les élèves mais aussi l'enseignant, acteur essentiel de toute situation d'enseignement. Le contexte de recherche ne permettait pas au chercheur de réaliser l'expérimentation en classe¹¹⁶ pour que l'innovation soit mise en place au plus près des intentions didactiques sous-jacentes. Il ne permettait pas non plus de former l'enseignant qui expérimenterait la séquence en le faisant participer au processus d'élaboration de l'innovation comme dans la recherche conduite par Höttecke et al (2010)¹¹⁷. Il était nécessaire de former l'enseignant car une simple transmission de la séquence à l'aide d'un guide écrit n'aurait pas suffi compte tenu des ruptures importantes avec l'enseignement traditionnel.

Pour former cet enseignant tout en tenant compte des contraintes du système éducatif tunisien, nous avons réalisé une formation dans le cadre officiel de l'innovation pédagogique : tous les enseignants devaient être formés. Le dispositif de formation des enseignants a d'abord été testé auprès d'un premier groupe d'enseignants. Les résistances manifestées étaient telles relativement aux objectifs d'apprentissage choisis que nous avons décidé de retarder l'expérimentation de la séquence envisagée et d'expérimenter auparavant une séquence légèrement modifiée afin de tenir compte de leurs demandes : les objectifs d'apprentissage ne devaient pas être uniquement d'ordre épistémologique (relatifs à la diversité des démarches et des enjeux) mais aussi d'ordre notionnel et relatifs à la connaissance de loi de la réfraction. Cela a conduit à demander aux élèves une activité supplémentaire en lien avec cet objectif d'apprentissage notionnel et à ne pas introduire la loi de la réfraction avant la séquence d'enseignement mais pendant. C'est cette séquence modifiée qui a été présentée aux autres enseignants en particulier à celui qui a fait l'expérimentation en classe avec ses élèves.¹¹⁸ La deuxième expérimentation a eu lieu un an plus tard avec le même enseignant avec la séquence initialement élaborée et répondant à des objectifs épistémologiques uniquement¹¹⁹. L'enseignant a reçu une formation complémentaire car celle reçue lors de la session de formation continue n'a pas été suffisante pour lui permettre de s'approprier une pédagogie de type socio-constructiviste¹²⁰.

La première expérimentation en classe a été réalisée en 2010 avec un groupe de 20 élèves (13 filles et 7 garçons). Un observateur extérieur a filmé cette expérimentation avec une caméra afin de pouvoir analyser la pratique de l'enseignant et ainsi faire le lien avec l'apprentissage

¹¹⁶ Le chercheur n'est pas enseignant.

¹¹⁷ Ce processus, qualifié de symbiotique par Höttecke et al (2010), fonde le fonctionnement des groupes Sésame dans l'académie de Lyon. Il est celui qui semble le plus efficace pour permettre aux enseignants de mettre en place un enseignement prenant en compte une dimension épistémologique (Pelissier, 2011).

¹¹⁸ Deux groupes d'enseignants ont été constitués, l'un a été formé par le chercheur, l'autre par un des enseignants formés car nous souhaitions analyser la posture des enseignants face à l'innovation pédagogique (des questionnaires ont été élaborés à cette fin) et que nous faisons l'hypothèse que notre statut d'inspecteur pouvait l'influencer.

¹¹⁹ Il est cependant à noter que la séquence mise en place a tenu compte de difficultés observées chez les élèves lors de la première expérimentation (voir plus loin, note 6).

¹²⁰ Les enseignants tunisiens ont encore un enseignement transmissif même si les programmes d'enseignement leur demandent de mettre en place des situations d'investigation.

des élèves. La deuxième expérimentation a été faite auprès d'un groupe de 25 élèves (23 filles, 2 garçons). Elle n'a pas été filmée, l'enseignant a renseigné un questionnaire après la séquence.

Dans les deux cas, les élèves ont eu à renseigner des questionnaires. Le premier qu'ils ont eu à remplir fait partie intégrante de la situation d'investigation et permet l'émission des hypothèses relatives à la nature des sciences. Le deuxième a été renseigné juste en fin de séance et permet d'analyser l'impact de l'expérimentation tant sur le plan de l'apprentissage à court terme que du rapport à l'innovation. Le troisième a été renseigné un mois après et permet de connaître l'impact à plus long terme sur l'image de la nature des sciences.

Nous n'aborderons par la suite que les expérimentations réalisées en classe et laisserons de côté le corpus obtenu lors de la formation des enseignants. Nous nous centrerons sur les réponses fournies par les élèves aux questionnaires et à l'apprentissage d'ordre épistémologique. Nous évoquerons certains résultats concernant l'enseignant qui a réalisé les expérimentations afin d'interpréter les résultats obtenus auprès des élèves.

5. L'histoire de la loi de la réfraction

L'analyse de cette histoire a permis de constater la durée extrêmement longue qu'il a fallu avant que la loi de la réfraction ne soit dégagée, la diversité des lieux géographiques où les recherches ont été menées, la diversité des savants qui ont participé à l'élaboration de cette loi, la diversité des enjeux poursuivis par les scientifiques (théorique, technique, épistémologique,...), la diversité des méthodes et des démarches utilisées (mathématique, expérimentale,...). Elle a conduit à dégager et retenir trois périodes et à s'intéresser en particulier à neuf savants : l'antiquité (Ptolémée), le Moyen Age (Ibn Sahl, Ibn Al Haytham) et la période classique (Della porta, Galilée, Kepler, Snell, Descartes et Fermat). Le tableau 1 présente une synthèse de l'analyse conduite selon les critères précédemment cités.

Savants	Lieux	Période	Enjeux	Démarches
Ptolémée	Alexandrie	<i>II e ap. JC</i>	Théorique	Expérimentale
Ibn Sahl	Bagdad	<i>Xe</i>	Technique	Mathématique
Ibn Al - Haytham	Caire	<i>XI e</i>	Théorique + Technique	Mathématique + expérimentale
Della Porta	Naples+Murano	<i>XV-XVI e</i>	Magique	Expérimentale
Galilée	Venise+Padoue+Florence	<i>XVI-XVII e</i>	Epistémologique + Technique	Expérimentale qualitative + Essais/erreur
Kepler	Allemagne	<i>XVI-XVII e</i>	Théorique	Expérimentale + Mathématique
Snellius	Pays-Bas	<i>XVII e</i>	Théorique	Mathématique + expérimentale
Descartes	Pays Bas	<i>XVII e</i>	Epistémologique + Théorique	Mathématique +Modélisation
Fermat	Toulouse	<i>XVII e</i>	Epistémologique	Mathématique

Tableau 1. Enjeux et démarches de quelques scientifiques ayant contribué à l'élaboration de la loi des sinus pour la réfraction

6. L'élaboration des séquences d'enseignement

L'élaboration des séquences d'enseignement a reposé sur plusieurs choix fondés sur une vision socio-constructiviste de l'apprentissage-enseignement et sur l'hypothèse que les élèves sont rebutés par la lecture de textes longs accompagnées de questions.

Le premier a été d'élaborer des documents à caractère historique pour les élèves, le second de les inscrire dans une situation d'investigation, cad en suivant Morge et Boilevin (2007) dans une situation où « *les élèves effectuent un ou des apprentissages en réalisant des tâches qui ne sont pas uniquement des tâches d'ordre expérimental et en participant à la recherche de validité des productions des autres élèves* ». Les deux situations que nous avons élaborées se distinguent des situations d'investigation rencontrées majoritairement dans l'enseignement des sciences physiques car elles sont fondées uniquement sur des documents. Selon une pratique recommandée dans l'enseignement primaire et en accord avec de Vecchi et Carmona (2007) ainsi que Maurines et Beaufiles (2011), nous pensons qu'investigation n'est pas synonyme d'expérimentation et que des documents peuvent être introduits à tous les moments d'une situation d'investigation pour réaliser différentes tâches. Alors que les premières situations d'investigation documentaire élaborées par le groupe DidaSco sont de type « résolution de problèmes », celle que nous avons élaborée comprend en plus une phase de construction du problème : il s'agit d'une situation-problème centrée sur un obstacle cognitif relatif à l'image de la nature des sciences et non à un savoir scientifique. L'étude des documents historiques conduit à infirmer deux hypothèses émises suite à l'émergence et confrontation des conceptions initiales des élèves : l'existence d'une seule démarche scientifique et d'un seul type d'enjeu, celui de la recherche de loi.

L'entrée par les scientifiques nous semblant la plus facile à mettre en œuvre auprès des élèves, nous avons choisi d'élaborer un corpus de documents relatifs à différents scientifiques. Les contraintes de temps ont conduit à limiter leur nombre à neuf : ce nombre est suffisant pour montrer la diversité des démarches et des enjeux et pas trop élevé pour faciliter le traitement des informations dans un temps limité. La lecture des neuf documents a été répartie sur la classe de manière à ce que chaque texte soit lu par 3 à 4 élèves. Chaque groupe d'élèves a été invité à extraire les informations nécessaires pour la synthèse collective en étant guidé par des questions du type « quels savant ? quels enjeux ? quelles méthodes ? ». La confrontation des résultats, la réfutation des hypothèses initiales et la conclusion sont faites par les élèves. Le tableau 1 ci-dessus est celui que les élèves devaient élaborer en fin de séquence. L'enseignant était invité à institutionnaliser le résultat obtenu et à le généraliser en renvoyant aux pratiques scientifiques actuelles.

La séquence que nous venons de décrire est celle qui a été mise en place lors de la seconde expérimentation¹²¹. Lors de la première expérimentation, les élèves devaient non seulement extraire des documents des informations relatives aux enjeux et démarches mais aussi indiquer quelle loi avait été établie par les scientifiques. Le tableau de synthèse comportait une colonne supplémentaire qu'ils devaient compléter.

¹²¹ Les documents initiaux ont cependant été légèrement remaniés afin de les rendre plus faciles à lire par les élèves. Les élèves ayant également rencontré des difficultés à comprendre le mot « enjeu », celui-ci n'a été introduit qu'après la synthèse collective lors de la phase d'institutionnalisation. Celui-ci a été remplacé par « nature du problème exploré » lors de la consigne donnée pour extraire les informations des textes.

7. Résultats des expérimentations

Avant de présenter les résultats obtenus auprès des élèves, rappelons ceux qui étaient prévus compte tenu de nos hypothèses de recherche. Nous attendions qu'avant enseignement, les élèves répondent majoritairement que la loi de la réfraction a été établie par un seul scientifique, que les scientifiques poursuivent un seul enjeu, la recherche de lois, et qu'ils suivent une seule méthode de nature expérimentale. Nous attendions une diminution des réponses de ce type après enseignement.

Nous avons choisi de faire une présentation simultanée des résultats aux deux expérimentations pour des raisons de concision tout en gardant à l'esprit que les séquences sont différentes. Les résultats conformes à nos attentes sont présentés en caractère gras dans les tableaux de résultats qui suivent. Ceux qui sont contraires sont indiqués en italiques. Ils proviennent sans doute d'une difficulté de l'enseignant à s'approprier la séquence. Les pourcentages indiqués sont calculés sur le nombre d'élèves qui répondent à la question posée.

7.1. Le nombre de scientifiques ayant contribué à établir la loi de la réfraction

Le tableau 2 regroupe les résultats obtenus à la question posée en début de séquence (Que savez-vous de la façon dont la loi des sinus pour la réfraction de la lumière a été établie autrefois ?) et à celle posée un mois après (question ouverte pour la première expérimentation : Selon vous, est-il correct d'appeler la loi de la réfraction « loi de Descartes » ? ; question à choix multiples pour la seconde).

	Avant			Après		
	Sans réponse	1 savant	Plusieurs savants	Sans réponse	1 savant	Plusieurs savants
Séquence 1 (N=20)	12	3 (37.5%)	5 (62.5%)	0	11 (55%)	9 (45%)
Séquence 2 (N=25)	5	20(100%)	0	0	7 (28%)	18 (72%)

Tableau 2. Le nombre de scientifiques ayant contribué à la loi de la réfraction

En ce qui concerne la question posée au début de la première expérimentation, beaucoup d'élèves ne répondent pas et un nombre non négligeable d'élèves répondent plusieurs savants contrairement à ce qui était attendu. L'enregistrement vidéo permet d'expliquer ce résultat : l'enseignant en introduisant la séquence d'enseignement a influencé les réponses des élèves. Lors de la deuxième expérimentation, tous les élèves ne citent qu'un seul savant sans préciser de nom. La majorité des élèves pensent que le savant part d'observations, réalise des expériences et effectue des mesures pour établir la loi : ils véhiculent une vision empiriste et réaliste, un résultat connu.

La question posée après la première expérimentation fournit un nombre un peu plus élevé de réponses « plusieurs savants » conformément à ce qui était attendu. Mais environ la moitié des élèves se réfèrent à un seul savant en citant le plus souvent Descartes. Plusieurs explications peuvent être avancées : la leçon qui précède celle sur la réfraction porte sur la réflexion, phénomène régi par une loi aussi dite de Descartes ; les manuels scolaires à la disposition des élèves nomment la loi de la réfraction « loi de Descartes » ; la question d'évaluation met l'accent sur Descartes ; Descartes peut être perçu comme le dernier en date et donc celui dont l'apport est décisif.

La question posée après la seconde expérimentation fournit une réponse majoritaire attendue. La nette progression entre les deux expérimentations pourrait être due aux consignes données à l'enseignant de ne pas faire référence à Descartes pour nommer les lois de la réflexion et de la réfraction. Il ne faut cependant pas négliger une influence éventuelle de la reformulation de la question d'évaluation.

7.2. La diversité des méthodes

Le tableau 3 regroupe les résultats à la question posée en début de séquence (Les scientifiques doivent-ils suivre une méthode précise dans leur travail ? Oui, quelle est cette méthode ? Pourquoi ? Non, pourquoi ?) et à celle posée un mois plus tard (question ouverte pour la première expérimentation : Selon vous, les scientifiques travaillent-ils tous de la même façon ? ; question à choix multiples pour la seconde).

	Avant		Après		
	1 méthode	Plusieurs méthodes	1 méthode	Plusieurs méthodes	Sans réponse
Séquence 1 (N=20)	11 (55%)	9 (45%)	1 (5%)	19 (95%)	0
Séquence 2 (N=25)	4 (16%)	21 (84%)	3 (14.3%)	18 (85.7%)	4

Tableau 3. La diversité des méthodes utilisées par les scientifiques

Au début de la première expérimentation, une majorité d'élèves pensent qu'il n'y a qu'une seule méthode et une majorité d'entre eux qu'elle est basée sur l'expérience. Pour les élèves, cette méthode permet d'avoir de bons résultats. Mais contrairement à ce qui était attendu, un nombre non négligeable d'élèves répondent « plusieurs méthodes ». Là encore, l'enregistrement vidéo permet d'interpréter ce résultat par la façon dont l'enseignant introduit la séquence d'enseignement aux élèves. Après la séquence, conformément à ce qui était attendu, le nombre de réponses « plusieurs méthodes » est donné majoritairement.

Lors de la deuxième expérimentation, contrairement à ce qui était attendu, la majorité des élèves pensent avant la séquence que les scientifiques peuvent changer de méthodes en fonction du problème. Sont cités : expériences, raisonnement, imagination, intuition, hasard. Là encore, on ne peut négliger le fait que l'enseignant peut avoir influencé les réponses des élèves comme lors de la première expérimentation en introduisant la séquence d'enseignement. Cependant, la différence observée entre les deux expérimentations laisse à penser que l'enseignant pourrait aussi avoir modifié son enseignement après la première expérimentation et mettre en avant l'existence de différentes démarches en cours d'année. Après l'expérimentation, 85.7% des élèves qui fournissent une réponse évoquent la diversité des démarches, la moitié d'entre eux précisant qu'un scientifique commence ses recherches par une expérience ou un raisonnement selon le problème qu'il cherche à résoudre.

7.3. La diversité des enjeux

Le tableau 4 regroupe les résultats à la question posée en début de séquence (Que cherchent à faire les scientifiques grâce à leurs travaux ?) et à celle posée trois semaines plus tard (question ouverte pour la première expérimentation : on entend souvent dire que les scientifiques cherchent à expliquer les phénomènes naturels. Selon vous, est-ce que cela concerne tous les scientifiques ? ; question à choix multiples pour la seconde).

	Avant		Après		
	1 enjeu	Plusieurs enjeux	1 enjeu	Plusieurs enjeux	Sans réponse
Séquence 1 (N=20)	14 (70%)	6 (30%)	16 (94%)	1 (6%)	3
Séquence 2 (N=25)	22 (88%)	3 (12%)	2 (10%)	18 (90%)	5

Tableau 4. Enjeux poursuivis par les scientifiques

Les résultats fournis dans les deux cas avant enseignement sont conformes à nos attentes : les élèves répondent majoritairement « un seul enjeu ». La réponse attendue avant enseignement apparaît plus fréquemment ici : cela manifeste sans doute une difficulté de l'enseignant à s'appropriier la signification de cet objectif d'apprentissage. L'enregistrement vidéo de la première expérimentation montre en effet que l'enseignant met l'accent sur la diversité des démarches et non des enjeux.

Après la première expérimentation, les élèves considèrent majoritairement que tous les scientifiques cherchent à expliquer les phénomènes naturels et évoquent donc toujours un seul enjeu contrairement à nos attentes. De plus, une vision réaliste persiste : « les lois sont dans la nature », « les scientifiques ont un problème naturel pour le résoudre ». Notons aussi que les élèves signalent des difficultés pour saisir la signification du mot enjeu.

Les modifications apportées lors de la seconde expérimentation (remplacement du terme « enjeu » par l'expression « nature du problème exploré » dans le tableau que les élèves devaient compléter et reformulation de la question de l'évaluation) expliquent sans doute que la réponse majoritaire soit celle attendue.

7.4. Rapport à l'expérimentation

L'analyse des résultats obtenus aux questions portant sur l'importance et l'intérêt de la séquence, sur son organisation et son contenu, sur son apport demande encore à être affinée. Disons d'ores et déjà que la séquence a reçu un accueil favorable de la part des élèves tant sur l'organisation (travail en groupes), l'objectif et le contenu historique, l'apport (l'autonomie, la confiance en soi, l'esprit critique ;...). Mais il est à noter que davantage d'élèves ont évoqué l'importance de réaliser un travail portant sur les savoirs scientifiques lors de la seconde expérimentation. Deux hypothèses peuvent être avancées quant à cette différence : le fait que les objectifs d'apprentissage de la seconde expérimentation sont uniquement d'ordre épistémologique contrairement à ceux de la première expérimentation, ce qui constitue une rupture plus grande dans le contrat didactique et semble avoir déstabilisé davantage les élèves ; le fait que les élèves de la deuxième expérimentation ont un niveau scolaire plus faible que lors de la première expérimentation selon les informations données par l'enseignant. Signalons par ailleurs que l'enseignant dit avoir préféré mettre en place la deuxième séquence.

8. Conclusion

Les résultats obtenus lors de ces deux expérimentations sont encourageants quant à la possibilité de faire évoluer l'image de la nature des sciences des élèves grâce à l'introduction de l'histoire des sciences relativement aux objectifs épistémologiques considérés. Les difficultés rencontrées par l'enseignant pour s'appropriier les intentions didactiques de l'innovation lors de la première expérimentation montrent la nécessité de revoir le processus de formation, voire d'élaboration de l'innovation, les recherches montrant qu'un processus symbiotique étant le plus efficace.

Le rapport différent des élèves à l'innovation conduit à questionner la possibilité d'intégrer ponctuellement des séances à visée épistémologique dans l'enseignement tunisien actuel et la nécessité d'un enseignement, donc de programmes, prenant en compte sur le long terme la dimension épistémologique. Les fortes réticences manifestées par les enseignants lors de la séance-test de formation continue conduit aux mêmes interrogations. Mais la préférence

donnée par l'enseignant qui a expérimenté les innovations en classe à celle qui ne prend en compte que la dimension épistémologique amène à nuancer positivement ce constat.

Bibliographie

Abd-El-Khalick F. & Lederman N. G. (2000). The influence of history of science courses on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*. 37(10), 1057–1095.

Abd-El-Khalick F. (2004). Over and over and over again: College students' views of nature of science. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.). *Scientific inquiry and nature of science*. 389–426. Dordrecht: Kluwer.

Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherche en didactique des mathématiques* 9 (3), 281-308, Grenoble, La pensée Sauvage.

Audigier F. & Fillon P. (1991). *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques : une approche pluridisciplinaire*. INRP, Paris.

de Hosson C. (2005). La controverse historique : un outil didactique. Partie 2. *BUPPC*, 870, 29-42.

Décamp N. & de Hosson C. (2010). Implementing Eratosthenes' Discovery in the Classroom: Educational Difficulties Needing Attention. *Science & Education*. DOI 10.1007/s11191-010-9286-3.

de Vecchi G. et Carmona-Magnaldi N. (2007). *Faire vivre de véritables situations-problèmes*. Paris : Hachette.

Guedj M. (2005). Utiliser des textes historiques dans l'enseignement des sciences physiques en classe de seconde des lycées français : compte rendu d'innovation. *Didaskalia*, 26, 75-95.

Guedj M. & Laubé S. & Savaton P. (2007). Démarche d'investigation et EHST. Un constat et des pistes de réflexion. *Actes des troisièmes journées ReForEHST, Caen*. Second cahier, 6-10.

Höttecke D. & Silva C.C (2011). Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: an analysis of obstacles. *Science & Education* 20(3-4), 293-316.

Höttecke D. & Henke A. & Riess F. (2010). Implementing history and philosophy in science teaching: strategies, methods, results and experiences from the European HIPST project. *Science & Education*. DOI 10.1007/s11191-010-9330-3.

Irzik G. & Nola R. (2011). A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. *Science and Education*, 20 (7-8), 591-607.

Larochelle M. & Desautels J. (1992). *Autour de l'idée de science. Itinéraires cognitifs d'étudiants*. De Boeck.

Lederman N. G. (2004). Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science* (pp. ix–xviii). Dordrecht: Kluwer.

Lederman N. G. (2007). Nature of Science: Past, Present and Future. In Abell S.K. & Lederman N.G. (Eds). *Handbook of research on science education*, Lawrence Erlbaum associates, Londres. 831-879.

Maurines L. & Mayrargue A. (2007). Utiliser l'histoire de l'optique dans l'enseignement : pourquoi ? comment ? *Actes des journées de l'UdPPC, Paris de sciences*, [http://udppc.asso.fr/paris2007/actes/index.php?page=fiche_ev&num_ev=185]

Maurines L. & Beaufils D. & Chapuis C. (2009). Travailler l'image de la nature des sciences et de l'activité scientifique grâce à l'histoire des sciences. *Sixièmes journées scientifiques de l'ARDiST*. [http://ardist.aix-mrs.iufm.fr/wp-content/textes/communications/22_Maurines L]

Maurines L. & Beaufils D. (2011). Un enjeu de l'histoire des sciences dans l'enseignement : l'image de la nature des sciences et de l'activité scientifique. *RDST*, 3, 271-305.

Morge L. & Boilevin J.-M. (2007). *Séquences d'investigation en physique-chimie, Collège, Lycée*. Clermont-Ferrand : CRDP d'Auvergne.

Pelissier L. (2011). Etude de pratiques d'enseignement de savoirs de l'épistémologie en classe de physique de lycée général. Thèse, Université Toulouse 2 Le Mirail.

Robardet G. & Vérin A. (1998). L'enseignement scientifique vu par les enseignants. *Aster*. 26, 3-10.

Modéliser en physique à partir d'un album de fiction dans l'enseignement primaire

**Mohamed Soudani, Univ. Lyon, S2HEP, Lyon, F-69000, France ;
mohamed.soudani@univ-lyon1.fr**

**Jean-Loup Héraud, Univ. Lyon, S2HEP, Lyon, F-69000, France ;
heraudjl@gmail.com**

**Catherine Bruguere, Univ. Lyon, S2HEP, Lyon, F-69000, France ;
catherine.bruguere@univ-lyon1.fr**

&

Éric Triquet, Univ. J. Fourier Grenoble, S2HEP, France ; eric.triquet@ujf-grenoble.fr

Mots clés : Albums de fiction réaliste ; modélisation ; physique ; école primaire

Résumé : Cette contribution s'inscrit dans une recherche interdisciplinaire sur l'utilisation d'albums de jeunesse pour concevoir et mettre en œuvre des séquences d'enseignement à l'école primaire. Nous qualifions ces albums de « fiction réaliste » car ils mêlent des éléments fictionnels à des connaissances scientifiques. Notre contribution montre que l'album « Plouf ! » provoque un questionnement épistémologique chez les élèves de CE1 et de GS de maternelle. Le dispositif didactique choisi a opéré des substitutions sémiotiques pour appréhender la notion de masse et construire une modélisation qui fasse le pont entre la fiction et le réel. Les échanges dans la classe montrent la capacité des élèves à discuter les conditions de validité que les situations en question, fictionnelles et réelles, devraient remplir d'un point de vue physique.

1. Introduction et objectif de la recherche

Nous sommes engagés dans une recherche collective interdisciplinaire¹²² dont l'objectif est d'étudier et d'appliquer dans l'apprentissage scientifique à l'école primaire une catégorie d'albums de littérature de jeunesse qui font s'entrecroiser le monde de la fiction et le monde réel. Nous nommons cette catégorie d'albums de jeunesse « albums de fiction réaliste » (par exemple : *Fish is fish* de L. Lionni (1970, trad.1981), *Plouf* de Corentin (1991, édit.2007))¹²³. Dans cette catégorie d'albums, l'histoire est assujettie aux règles habituelles du récit de fiction (personnification, intrigue, épisodes...), mais elle fait intervenir la résistance des lois de la nature (phénomènes du monde physique et biologique). Ces récits mobilisent de façon implicite, et donc sans intention de vulgarisation, pour les besoins de l'intrigue du récit, des

¹²² Une recherche collective interdisciplinaire portant sur le rôle de la fiction narrative en science à l'école primaire, dans le cadre du Cluster 14 « Enjeux et Représentations de la Science, de la Technologie et de leurs Usages » initié par la Région Rhône-Alpes (2008-2011). Elle associe chercheurs et des formateurs en didactique des disciplines et des enseignants de l'école partenaire, Ecole P. E. Victor à Lyon 8^{ème}.

¹²³ Soudani M., Héraud J.-L., Bruguère C. & Triquet É. (2007, 2011).

éléments (problèmes, faits, connaissances) qui s'avèrent en conflit avec un ordre scientifique interprétatif des phénomènes en jeu.

Cette contribution se propose d'analyser, sur la base d'un cadre théorique extérieur à la didactique, issu de la philosophie de la connaissance, l'album de jeunesse de fiction *Plouf* en tant qu'objet de recherche : d'une part pour mettre à l'épreuve ce cadre théorique de façon à expliciter les enjeux épistémologiques de l'album, et d'autre part pour contextualiser un questionnement scientifique conduisant les élèves à modéliser la situation physique sous-jacente à l'histoire fictionnelle.

2. Problématique et cadre théorique

2.1. La fiction comme contexte de la transposition didactique en science

Nous proposons d'argumenter ici en quoi la théorie des mondes possibles de Lewis constitue un cadre théorique qui justifie notre choix d'utiliser les albums de fiction comme un contexte pour le questionnement scientifique dans une approche didactique. Si notre perspective peut revendiquer une pertinence didactique, c'est qu'elle se base sur des travaux sur la fiction en tant que représentation d'un monde possible « dont la fonction est de susciter, chez un interprète, l'imagination de certains contenus » (Barberousse et Ludwig, 2000). Même si le contenu de la fiction ne pose pas d'emblée la question du vrai et du faux, il n'est pas pour autant irréel, car il ne peut se libérer de toutes les contraintes du réel, et il ne peut avoir de sens pour le lecteur que si celui-ci en a un minimum d'expérience collatérale.

Nous souhaitons par conséquent mettre à l'épreuve la thèse selon laquelle l'album de fiction ne peut se réduire à un pur divertissement de l'esprit : la fiction ne sort pas le lecteur du monde réel pour l'embarquer dans un monde arbitraire, fantaisiste. Bien au contraire : loin d'être un leurre ou tromperie, le contenu du texte de fiction entraîne par une immersion ludique l'adhésion cognitive du lecteur-interprète (notamment l'élève) à la situation physique (Schaeffer, 1999). Dans une perspective didactique, le monde fictionnel assure une double fonction d'implication personnelle de l'élève et du développement de son imagination (implication imaginative, un *make-believe* (*ibid*)). Par ce biais, la narration fictionnelle fait entrer l'élève dans le réel par la porte ludique de la feintise, pour qu'il s'intéresse mieux au réel et s'interroge, du point de vue cognitif et matériel, sur ses modes possibles de fonctionnement. En conséquence, ce type d'album nous semble pouvoir jouer pour l'élève, un rôle épistémique très important dans la construction de son savoir scientifique. En effet, le contenu de la fiction assure une possibilité ou extension imaginative de notre monde, que l'enseignant peut utiliser pour amener l'élève à interroger cette fiction dans sa fonction représentative de la situation physique sous-jacente, et à soumettre ainsi cette dernière aux contraintes de l'activité modélisante. La fiction nous informe de façon indirecte sur notre monde, ce qui s'apparente à la fonction des modèles. Dans le contexte d'une « théorie des mondes possibles », Lewis (1973) soutient qu'il y a un rapport de « similarité comparative » entre les mondes contrefactuels de la fiction et le monde actuel de notre expérience : Un monde possible est en effet la description d'un monde viable qui, s'écartant le moins possible du monde actuel, permet par comparaison de s'interroger sur les lois de notre propre monde. Elle se présente comme un outil conceptuel permettant d'interroger la vérité dans la fiction (Lewis, « Truth in fiction », 1971) et en dehors de la fiction. Le fait d'interroger cette vérité entraîne un renversement de perspective épistémologique où le modèle se construit dans la fiction. Cette théorie nous permet de rompre avec la conception inductiviste selon laquelle un

modèle serait systématiquement subordonné à l'extraction et au traitement des paramètres constitutifs des phénomènes physiques : la valeur épistémologique d'un modèle réside au contraire dans sa capacité à faire varier un champ de représentations possibles, pour les confronter aux contraintes du monde, les valider ou les réfuter.

Si Cartwright (1983, p. 153) soutient qu'« *un modèle est une œuvre de fiction* » nous l'entendons dans le sens que son contenu n'est pas transparent, n'est pas donnée d'emblé dans la situation physique qui est elle-même (re)construite, mais doit être imaginé. La modélisation, à l'école notamment, est soumise au contrôle de l'expérience qui lui sert de tuteur. Ainsi, le travail sur les albums de fiction avec les élèves devrait les « ramener », autant que possible, à un raisonnement expérimental qui développe à la fois l'imagination et les habiletés manuelles, impliquant une mise en relation et des contrôles mutuels d'hypothèses, de nouveaux langages, c'est-à-dire une modélisation au sens sémiotique (Soudani et al., 2009), de conception et manipulation de nouveaux dispositifs expérimentaux

2.2. Enjeux épistémologiques de l'album « Plouf ! »

Cet album présente une histoire fictionnelle qui a un côté réaliste, sans quoi elle ne pourrait servir de cadre didactique. Il s'agit d'un loup affamé qui aperçoit le reflet de la lune au fond d'un puits, qu'il prend alors pour un fromage. Il se penche et tombe. Furieux de s'être fait avoir, il ne peut pas remonter seul. Comment faire ? Un cochon passe à côté du puits et fait remonter le loup. Le cochon, à son tour, se fait remonter par des lapins. Une suite de va-et-vient s'ensuit, au cours de laquelle le loup et ses proies se croisent par un phénomène de contre poids. Dans ce jeu de poursuite, le loup finit perdant et se retrouve au final de nouveau au fond du puits, alors qu'il en est sorti. Les images de l'album montrent l'ensemble du dispositif de puisage (poulie, corde, seau, mais non décrit verbalement) utilisé par ces personnages. Les élèves, captivés par l'histoire, ne se rendent même pas compte que la situation physique de la dernière scène serait impossible. L'attention du lecteur, notamment celle de l'élève, est détournée par l'aspect ludique et moralisant de l'histoire, au détriment des lois de la physique. Il ne remarque pas spontanément qu'il y a, dans cette dernière scène, une contradiction « apparente » (relative) dans les rapports de masses entre les personnages qui n'aurait pas pu permettre au loup de se retrouver au fond du puits.

L'auteur fait de son histoire un outil qui fait accepter, ou plutôt qui masque sa contradiction avec les lois de la physique et paraît ainsi comme un ensemble cohérent d'événements s'enchaînant naturellement. Tout cela nous semble conférer à la fiction un rôle didactique fondamental. En effet, la modélisation de la situation fictionnelle permet une double interprétation dont cette dernière scène peut faire l'objet : en quoi elle est ou pas en contradiction avec les lois de la physique ?

3. Matériels et Méthodes : dispositif didactique et données analysées

Plusieurs approches sont possibles pour exploiter ce type d'album avec les élèves : on peut citer celle qui consiste à faire lire d'un seul coup la totalité de l'album, puis le commenter afin de mettre en lumière les phénomènes scientifiques en jeu. Mais cela s'apparenterait plutôt à une démarche d'exposition transmissive du savoir.

La deuxième approche, celle que nous avons adoptée, consiste à scénariser la lecture de ce récit, en la séquençant. Ainsi la lecture, habituellement linéaire, se transforme en une lecture qui problématise la fiction. Le but étant d'assurer l'implication imaginative et cognitive des

élèves et développer les expériences de pensée qui convertissent la lecture de cet album en une véritable résolution de problème. Une démarche d'investigation, démarche fort recommandée dans les programmes officiels dès l'école primaire, se trouve ainsi mise en place. Ainsi, tout au long de la séquence, l'élève est invité à mobiliser ses connaissances antérieures, les mettre en concurrence avec celle des autres et les faire évoluer, en confrontation avec le phénomène en jeu dans la fiction, d'une part, et un dispositif expérimental, d'autre part. Tous les ingrédients didactiques se trouvent ainsi réunis dans cette activité : concevoir et mettre en œuvre un dispositif didactique pour passer du monde de la fiction, monde possible, au monde réel.

Nous disposons de deux corpus de données, issus de séquences organisées dans une classe de CE1, l'autre dans une grande section d'école maternelle¹²⁴. Nous reproduisons ci-après les points-clé du dispositif didactique que l'enseignante de CE1 a mis en place, en faisant état des choix qu'elle a opérés. Le travail des élèves s'est organisé en plusieurs étapes : chaque étape se trouve soutenue par un questionnement épistémologique qui initie et fait progresser le processus de modélisation. Ce questionnement est relié aux épisodes principaux du récit de fiction.

Etape n°1 : du récit à la formulation d'hypothèses pour résoudre un problème : Lecture de l'histoire jusqu'à « *C'est un cochon* » (p5) afin d'identifier le problème : « ...*et il ne sait pas comment remonter* » (p4)... et un cochon vient d'arriver, il passe la tête sur la margelle du puits ! Les élèves doivent anticiper sur la suite de l'histoire.

Etape n°2 : de la formulation des hypothèses à la construction d'un modèle analogique et sémiotique : reproduire le phénomène et l'interpréter. La classe est amenée à concevoir et manipuler un dispositif expérimental (prévu par l'enseignante) de manière à rendre compte de la phase où le cochon fait remonter le loup. Ils construisent un système de signes (au sens de Halbwachs, 1974 et Peirce, 1978) qui se substituent aux deux situations (du récit et du dispositif).

La suite de l'album devrait servir à la fois pour faire fonctionner le modèle ainsi construit pour s'y familiariser et interroger sa validité.

Etape n°3 : La mise à l'épreuve du modèle à la nouvelle situation doublement problématique : Comment le cochon va-t-il pouvoir sortir du puits ? (pb1) ; et dans quelles conditions les lapins peuvent-ils remonter le cochon ? (pb2).

Pour y répondre, les élèves font évoluer leur modèle analogique, en y intégrant un troisième terme, les lapins. L'enjeu de la modélisation est d'établir un rapport entre les trois corps.

Etape n°4 : La mise à l'épreuve du modèle par rapport à une situation en apparence contradictoire : Le loup peut-il remonter les lapins ? Dans quelle(s) condition(s) est-ce possible ?

Nous avons recueilli les données par enregistrements vidéo que nous avons transcrits. Nous avons également récupéré les productions écrites des élèves lors de leurs divers essais. Dans la suite, « E » représentera l'enseignant, et « e » représentera les élèves. Les extraits de dialogues en classe relèvent de plusieurs épisodes de débats ; les numéros qui se suivent appartiennent au même épisode. Par ailleurs, s'agissant plutôt de caractériser les phases de la modélisation du point de vue épistémologique plus que la démarche d'apprentissage dans une classe, nous n'avons pas fait de distinction entre GS et CE1.

¹²⁴ La classe de CE1 est celle de l'enseignante de l'école P.E. Victor faisant partie de notre groupe de recherche. Le corpus de la classe maternelle provient d'un mémoire de Master 2 professionnel de Forgeois et Loron (2011).

4. Résultats et discussion

Selon Halbwachs (1974), la modélisation consiste à substituer dans un ensemble de signes aux éléments matériels de la situation concrète de telle manière à manipuler des signes à la place des objets.

Si nous considérons maintenant l'étape n°2 dans le processus de modélisation décrit ci-dessus, les élèves de l'école maternelle transforment la situation fictionnelle (fig. 1) en un dispositif technique construit à l'échelle de la classe (fig. 2), en substituant un signe iconique (ici un dessin, fig. 3) aux individus de la fiction. Le corps de chaque personnage est remplacé par le même signe (un dessin, un objet qui tient lieu de signe comme un sac de riz qui permet de quantifier la valeur respective de leurs masses). Les élèves figurent la masse des différents personnages à l'aide de sacs et de riz que l'enseignante a apportés en classe (le dispositif du puits a été reproduit à la manière d'une maquette : un modèle analogique). Les corps se distinguent désormais par la quantité de riz contenue dans chaque sac, ce qui permet aux élèves de les comparer, en termes de « plus lourd/plus léger ». Une autre étape consisterait à mathématiser cette comparaison en substituant le signe alphabétique *m* (indiquant les masses) aux sacs de riz, permettant de les comparer en termes de plus grand/petit ou supérieur/inférieur, comme indiqué dans la fig. 4. Cependant, la notion de masse, propriété commune de tous les corps physiques, est seulement appréhendée à cette occasion, mais n'est pas conceptualisée par les élèves de maternelle : ils manipulent des grandeurs en agissant sur elles et en les verbalisant en utilisant des termes de relation.

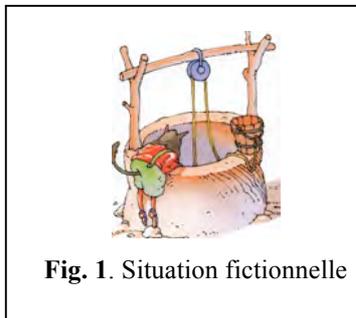


Fig. 1. Situation fictionnelle

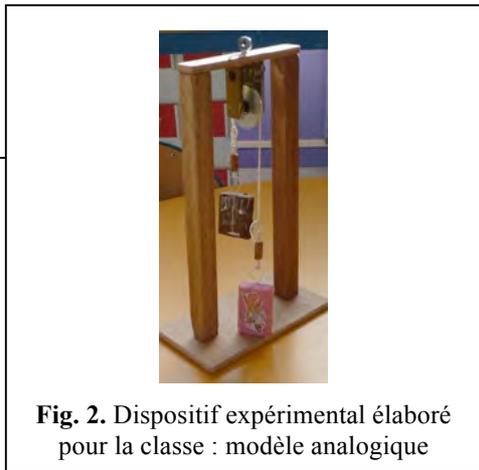


Fig. 2. Dispositif expérimental élaboré pour la classe : modèle analogique

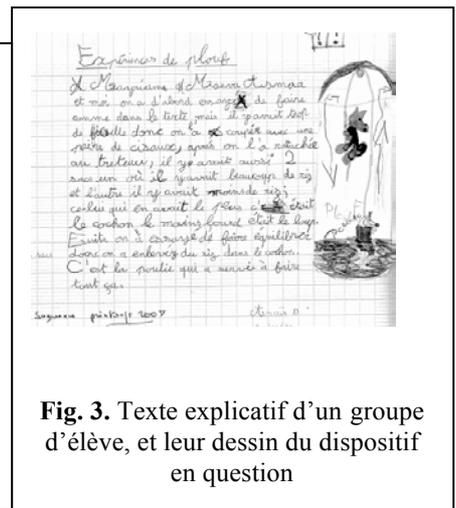


Fig. 3. Texte explicatif d'un groupe d'élève, et leur dessin du dispositif en question

« Expérience de Plouf

Maryanne, Maeva, Asma et moi on a d'abord essayé de faire comme dans le texte, mais il y avait trop de ficelle donc on l'a coupée avec une paire de ciseaux, après on l'a rattachée au tréteau, il avait aussi 2 sacs un où il y avait **beaucoup** de riz et l'autre il y avait **moins** de riz ; celui qui en avait **le plus** c'était le cochon, **le moins lourd** était le loup. Ensuite on a essayé de **faire équilibrer** donc on a enlevé du riz dans le cochon. C'est la **poulie** qui a servi à faire tout ça.

Anaïs »

Fig. 3 (suite). Transcription de l'explication d'un groupe d'élève (d'après fig.3). Nous avons mis en gras les mots clés.

Les extraits de la séquence qui suivent illustrent le processus de mise en rapport des grandeurs par les élèves pour rendre compte du mouvement des corps en jeu.

Suite à la question du maître portant sur la contradiction « apparente » de la dernière scène :

(1) E : « Alors à votre avis est-ce que le loup il va réussir à remonter les trois lapins en haut du puits? », toute la classe a répondu « oui » (2), sauf un élève qui dit « non » (3). Mais l'enseignant ne l'a pas interrogé sur sa réponse. L'échange se poursuit comme suit :

4. E : « Ah bon ? Mais comment il va faire le loup ?

5. e3 : Bah il va tirer la corde
6. e4 : non, il s'accroche... il tire pas.
7. e5 : oui, parce qu'il est gros
8. e4 : il est plus lourd que les lapins
9. E : Ah oui tu es sûr ?
10. e6 : oui...il va tomber dans le puits.
11. E : D'accord. Alors on va vérifier avec quoi ?
12. e1 : La poulie ! (ensemble) »

Les élèves présupposent (à tort ?) que le loup est plus lourd que les lapins. Le modèle qu'ils ont construit est quand même utilisé, mais restreint à un couple de grandeurs. D'une part, l'enseignant ne les questionne pas sur ce qu'ils ont appris précédemment. Conformément à notre analyse a priori, l'enseignante aurait pu, pour cette dernière scène, faire développer aux élèves un raisonnement intra fictionnel. Le choix didactique manifeste de l'enseignante a été, au contraire, de choisir un critère extra fictionnel. D'autre part, les élèves n'opèrent pas spontanément la relation de transitivité. A la décharge des élèves, il faut noter que nous avons affaire ici à des êtres vivants dont la masse peut varier dans le temps. Cette relation de transitivité peut donc être remise en question.



L'enseignant apporte la poulie à chaque groupe. Les élèves manipulent et observent en procédant de la même manière que lors des séances précédentes. Ils constatent alors que (nous soulignons) :

- (2). e1 : « Le loup i peut pas...euh... **il arrive pas à remonter les lapins.** »¹²⁵

Certains élèves pensent que c'est parce qu'ils sont trois que les lapins sont plus lourds que le loup, d'autres non : (12). e4 : « bah même si ils sont trois et bah...ils peuvent être moins lourds quand même. »

Après discussion, l'enseignant résume ainsi l'avis majoritaire de la classe :

16. E : « Donc, les lapins ils ne peuvent pas être remontés par le loup parce qu'ils plus lourd que le loup mais pas parce qu'ils sont trois. » Il leur propose « Maintenant on va voir ce qu'il se passe dans l'histoire ».

1. E : Alors dans l'histoire comment ça se passe ?
2. e1 : Bah le loup il fait remonter les lapins.
3. e2 : oui il réussit.
4. e3 : **dans l'histoire, le loup il est plus lourd.**

Les élèves sont alors invités à discuter la validité des deux situations : au terme de cet échange, se pose la question épistémologique centrale pour cette activité de modélisation : que faut-il remettre en question : le modèle ? La situation fictionnelle ? La situation physique empirique ?

5. E : « Alors, est-ce que c'est vrai ce qui se passe dans l'histoire.
6. e4 : Non...
7. E : ah bon ?
8. e4 : **...avec les poulies ça marche pas.**
9. e5 : C'est pas pareil.
10. E : Alors dans les histoires, est-ce que c'est toujours vrai ce qui est raconté ?
11. e1 : NON ! (ensemble)
12. E : Donc **dans les histoires, tout ce qui est dit n'est pas toujours vrai.** »

Apparaît ici une fonction épistémologique centrale de la modélisation qui met en place un dialogue entre le vrai et le faux à propos d'une situation problématique telle que cette dernière scène. Les élèves mobilisent le modèle construit au sein de la fiction pour discuter de ce qui est vrai ou faux dans la fiction et dans le réel, par comparaison entre les deux.

¹²⁵ Nous soulignons en caractère gras

5. Conclusion et implication didactique

Prenant l'album *Plouf!* comme support didactique, et la théorie des mondes possibles de Lewis (1978) comme cadre théorique, nous avons essayé de montrer que la modélisation du réel *dans* la fiction et la modélisation du réel *par* la fiction sont solidaires : modéliser le monde physique de la fiction conduit à modéliser le monde physique de la réalité.

La théorie des mondes possibles serait ainsi un moyen de questionner le réel et de construire un modèle qui fasse du réel une application du champ des possibles. En effet, si le modèle, comme le conçoit aujourd'hui la philosophie des sciences, n'est nullement une copie réductrice ou simplificatrice du monde réel, c'est parce qu'il y a plus dans le modèle, qui est une construction d'une réalité possible, que dans la réalité observable qui, elle, est contingente et singulière. Cette approche permet de limiter le dogmatisme d'un enseignement expérimental classique de la physique sous la dictature des expériences épurées causales.

Une des conséquences qui nous semble intéressante pour la didactique de la physique est que le modèle créé dans une situation donnée (qu'elle soit réelle ou fictionnelle) permet d'envisager tout un ensemble de situations possibles (d'ouvrir sur des mondes possibles permettant de faire des expériences de pensée) et fait le pont entre elles. Autrement dit, le modèle est doublement impliqué dans le monde physique et le monde fictionnel : Il permet ainsi de les confronter, de les discuter et d'en évaluer la vérité.

Enfin, l'intérêt de ce travail de modélisation pour les élèves sera de pouvoir interpréter des situations physiques nouvelles pour en évaluer la vérité : intrafictionnelle (d'autres albums de fiction réaliste dont l'analyse a priori est en cours), ou extra-fictionnelle (du type jardin des sciences (Blanquet, 2010), par exemple).

Bibliographie

- Barberousse A. et Ludwig P (2000). Les modèles comme fictions. *Philosophie* 68, 2000, p.16-43, éd. de Minuit.
- Blanquet E. (2010). *Sciences à l'école, côté jardin*. Editions du Sommium
- Bruguière C., Héraud J.-L, Errera J.-P. & Rembotte X. (2007). Mondes possibles et compréhension du réel. La lecture d'un album en cycle 2 comme source de questionnement scientifique. *Aster*, n°44, p. 69-106.
- Cartwright N. (1983). *How the Laws of Physics Lie*. Oxford University Press.
- Corentin P. (1991, édit.2007). *Plouf!* Paris : École des Loisirs.
- Forgeois V. et Loron L. (2011). *La modélisation comme pont entre la fiction et le réel : Appréhender la notion de masse en maternelle*. Mémoire Professionnel M2-MES. IUFM-Université J. Fourier, Grenoble (Eric Triquet, Dir.)
- Halbwachs F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et chez le savant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Lewis D. (1971). Truth in fiction. *Philosophical Papers*, vol. I(1983), Oxford University Press.
- Lewis D. (1973). *Counterfactuals*. Blackwell Publishing
- Lionni L. (1970, trad.1981). *Un poisson est un poisson*. Paris : École des Loisirs
- Peirce C.S. (trad.1978). *Ecrits sur le signe*. Seuil : Paris.

Schaeffer J.-M. (1999). *Pourquoi la fiction ?* Paris : Seuil.

Soudani M. Héraud J.-L. & Soudani O. (2009). De la sémiotique à l'épistémologie de la schématisation. L'exemple d'une séquence sur les circuits électriques à l'école primaire. *Aster* n°48, p.111-132.

Soudani M., Héraud J.-L., Bruguière C. & Triquet É. (2011). Fictional storybooks as a scientific and epistemological question-building tool for primary school biology. ESERA, Lyon 5-9th September.

Démarche d'investigation, résistance des élèves et rupture du contrat didactique : difficultés d'enseignants débutants

Eric Triquet, Univ. Joseph Fourier-Grenoble 1, IUFM ; Univ. de Lyon, S2HEP ; eric.triquet@ujf-grenoble.fr

&

Jean-Claude Guillaud, Univ. Joseph Fourier-Grenoble 1, IUFM ; jean-claude.guillaud@ujf-grenoble.fr

Mots clés : Démarche d'investigation ; action didactique conjointe ; contrat didactique ; analyse de pratiques, formation des enseignants

Résumé : Notre étude s'inscrit dans le projet européen S-TEAM et concerne les pratiques d'enseignants débutants en sciences expérimentales (SPC et SVT). L'analyse didactique de deux séances filmées au cours desquelles ces enseignants disent mettre en œuvre une démarche d'investigation, permet de pointer deux phénomènes didactiques : une bifurcation didactique, un déplacement du questionnement. Ces deux phénomènes conduisent à des ruptures du contrat didactique en jeu. Confrontés à des formes de résistance de la part des élèves, ces jeunes enseignants passent d'une posture résolument constructiviste à une posture dogmatique et transmissive. Nous proposons ici une analyse au niveau microscopique des interactions enseignant/élèves de façon à repérer et caractériser les mécanismes qui sont à l'œuvre dans ces situations, en référence au cadre de l'action didactique conjointe.

1. Introduction

La recherche présentée s'inscrit dans le projet S-TEAM (Science Teacher Education Advanced Methods). Elle implique des chercheurs en didactique des sciences et des mathématiques, également formateurs d'enseignants et porte sur les pratiques enseignantes de jeunes professeurs stagiaires en mathématiques, en sciences physiques (SPC) et en sciences de la vie et de la Terre (SVT). Le premier volet de la recherche a consisté en une étude de l'évolution des représentations de ces jeunes enseignants à l'issue d'une année de formation pratique (Gandit, Triquet & Guillaud, 2011). Le second volet présenté ici analyse la mise en œuvre en classe de démarches d'investigation par ces enseignants débutants.

L'étude préalable sur les représentations concernait trois domaines : l'épistémologie propre à la discipline, son enseignement et son apprentissage. Elle a permis de mettre au jour des éléments contrastés, voire contradictoires (Triquet, Guillaud, 2011). En sciences expérimentales, c'est une représentation largement inductiviste qui se dégage à propos de la construction des savoirs. Pour l'enseignement, l'approche socio-constructiviste est majoritaire, même si un grand nombre de sondés peinent à accorder un statut positif à l'erreur des élèves. Dans tous les cas le positionnement repéré chez ces jeunes enseignants est favorable aux démarches d'investigation.

Le point qui nous intéresse dans ce second volet est ainsi de pointer dans quelle mesure les représentations repérées orientent les pratiques en matière de mise en œuvre de démarches d'investigation chez ces enseignants débutants. Il s'agit notamment d'apprécier les effets éventuels de cette contradiction repérée au niveau épistémologique et didactique.

2. Cadre de la recherche

2.1. L'action didactique conjointe comme référence

Le cadre retenu pour notre analyse est celui défini par Sensévy et Mercier (2007) qui abordent l'action didactique comme une action conjointe, postulant que l'action du professeur et celle de l'élève sont interdépendantes. L'idée forte sur laquelle nous appuyons est que l'enseignant ne peut agir qu'en tenant compte strictement de l'action des élèves, et réciproquement. En arrière plan, les concepts de contrat et de milieu didactiques (Brousseau, 1988) donnent un cadre pour l'analyse des dynamiques en jeu dans les situations de classe. Sensévy et Mercier proposent de s'intéresser à la chronogénèse et à la topogénèse. La chronogénèse renvoie aux modalités de dévolution dans le temps de la production du savoir, appréhendé ici du point de vue du savoir enseigné. La topogénèse définit la part de chacun dans la transaction, la répartition des tâches et des responsabilités vis-à-vis du savoir, ainsi que son évolution. Mais au-delà, il s'agit de mettre au jour la façon dont l'enseignant régule les apprentissages dans la classe en tenant compte des interventions des élèves. C'est ici la catégorie de la mésogénèse qui est mobilisée pour décrire l'action didactique conjointe.

La question qui nous préoccupe est de savoir dans quelle mesure les choix et le positionnement de l'un ou de l'autre des protagonistes s'inscrivent dans une continuité ou à l'inverse déterminent des ruptures dans le contrat didactique initial ? Et, dans le second cas de figure, quel mode de gestion au plan didactique est mis en place par le jeune enseignant et en quoi celui-ci renvoie ou non à des représentations de l'enseignement identifiées dans notre première étude ?

2.2. Éléments de méthodologie

La recherche s'intéresse à des pratiques ordinaires (Laborde et al, 2002) au sens où l'équipe de chercheurs n'intervient à aucun moment dans l'élaboration et la réalisation des séances menées en classe. Les données du corpus sont constituées d'enregistrements vidéo de séances de classe (en science de la vie, en sciences physiques). Ils concernent les classes d'enseignants débutants intervenant en collège (élèves âgés de 11 à 15 ans). Ils sont réalisés au moyen d'une caméra centrée sur l'enseignant et d'une autre sur les élèves. Pour chacun, ce corpus est complété du film de l'entretien post-séance réalisé avec l'enseignant non ici pris en compte. Dans le cadre de ce texte, nous ne ferons référence qu'à une seule des séances dans chacune des deux disciplines. Les professeurs de ces classes sont des enseignants débutants volontaires qui ont participé au premier volet de la recherche. Ils ont annoncé, pour la réalisation du film, vouloir placer leurs élèves dans une situation d'investigation.

L'analyse mise en place articule deux niveaux. En premier lieu l'échelle mésoscopique (d'une heure trente à une dizaine de minutes) qui nous a permis de reconstruire *a posteriori* les principales phases de la démarche mise en place. En second lieu l'échelle microscopique (de l'ordre de quelques secondes) utilisée pour repérer le jeu des interactions entre l'enseignant et

les élèves au niveau de chacune de ces phases. Compte tenu du cadre choisi, les échanges sont donc abordés à la fois dans leur dimension interactionnelle et transactionnelle.

3. Résultats concernant la mise en œuvre de démarches d'investigation (DI)

Au niveau de la trame de chacune des séances reconstruites après coup, notre analyse a permis d'identifier deux phénomènes didactiques : une *bifurcation didactique* d'une part, un *déplacement du questionnement*, d'autre part. Nous les présentons ci-dessous avant d'en proposer une analyse au niveau microscopique de façon à en comprendre de façon plus fine les fondements et mécanismes.

3.1. Deux phénomènes didactiques révélateurs de difficultés dans la gestion didactique des DI

Le premier est caractérisé par le passage d'une démarche qui jusque là était hypothético-déductive à une démarche que l'on peut qualifier d'inductiviste afin, comme l'affirme l'enseignant à trois reprises, de « vous (les élèves) convaincre que l'on ne voit pas la lumière ». Tout repose alors sur une monstration (Johsua & Dupin, 1993).

Le second se traduit par des glissements successifs du questionnement scientifique tout au long de la séance. La reformulation est à l'initiative de l'enseignant et apparaît contrainte – voire déterminée – par la finalité de chaque « phase » de la DI telles que celui-ci se les représente (Gandit, Triquet, Guillaud, à par.). La résolution finale, quant à elle, fait intervenir comme précédemment l'autorité du savoir de l'enseignant.

Les deux phénomènes repérés conduisent à des dysfonctionnements sur le plan didactique. Il ont pour origine (en SPC) ou s'accompagnent (en SVT) de manifestations de résistance de la part des élèves. Or la prise en compte positive de ces résistances semble constituer une difficulté majeure chez ces jeunes enseignants. Contestés par les élèves qui « refusent » d'entendre ou de voir ce qui est attendu, ils passent d'une posture résolument constructiviste à une posture dogmatique, identifiée comme dominante au niveau des représentations du groupe d'enseignants stagiaires auquel nous les avons rattachés (Triquet & Guillaud, 2011). Notre interrogation concerne donc à la fois les déterminants didactiques en cause dans les deux phénomènes, les composantes de l'attitude de ces enseignants face à ces déstabilisations et les conséquences des choix radicaux qu'ils sont amenés à prendre. Nous illustrerons ce point par deux exemples pris en sciences physiques (SPC) et en sciences de la vie et de la Terre (SVT).

3.2. Une double contextualisation comme écueil à la démarche en SPC

L'enjeu de la séance de sciences physiques (durée 1h20) est d'instituer, en classe de 5ème un premier modèle de la vision des objets et de non visibilité de la lumière. L'enseignant adosse la séance et le questionnement à deux situations :

- Le "musée" : « Au cours de la visite d'un musée Alexandre a fait tomber sa lampe de poche allumée dans une pièce noire. Pour retrouver sa lampe il regarde par le trou de la serrure de différentes pièces pour voir s'il voit de la lumière ». Question : « Retrouvera-t-il la lampe de cette façon ? » ;

- La “boîte noire” : une boîte de ramettes de papier, dont l’intérieur est peint en noir mat, est percée d’un trou sur une des faces latérales. Une lampe de poche allumée éclairant la face supérieure est posée à l’intérieur de la boîte. Question : « Est ce que l’on pourra voir quelque chose dans la boîte ? pourquoi ? ».

Pour l’enseignant, la première situation (celle du musée) a pour objectif de motiver les élèves et elle permet d’inscrire la réflexion dans un cadre familier. La situation de la boîte est implicitement une modélisation de la situation du musée sur laquelle l’enseignant cherche à faire réfléchir les élèves. Cette double contextualisation va avoir un effet considérable sur la suite du déroulement de la séance. En effet, les élèves ne vont discuter de la boîte noire qu’en référence à la situation du musée. Pour les élèves la situation initiale (celle du musée) est et reste LA situation de référence, situation à laquelle il est nécessaire d’apporter une réponse. Nous verrons comment cette dernière sert de point d’appui fort dans l’argumentation des élèves et étaye la résistance des élèves à l’idée que si il y a de la lumière dans la boîte, elle sera visible.

L’inscription dans le contexte de la boîte permet dans un premier temps de mettre en œuvre une démarche de nature hypothético-déductive. En effet, il offre une situation expérimentale, problématique et paradoxale dans laquelle aucune lumière n’est diffusée et donc rien n’est visible (on “voit” du noir). Mais, les conceptions des élèves à propos de la lumière et de sa vision les conduisent à formuler des hypothèses affirmant pratiquement unanimement la visibilité de la lumière. Ces hypothèses sont discutées puis testées : les élèves sont invités à regarder s’ils voient quelque chose dans la boîte. Les conditions expérimentales fixées au départ ne sont alors pas respectées et pratiquement tous les élèves se déplacent chacun leur tour placent leur œil sur le trou de la boîte et affirment tous voir de la lumière. La référence conjointe à la situation du musée est apparue ici déterminante.

A l’issue du travail expérimental sur la « boîte noire, l’enseignant prend conscience à quel point les conceptions conduisent à une résistance de la part des élèves : ils sont nombreux en effet à rester convaincus qu’ils voient la lumière, alors que lui-même affirme ne rien voir. Ceci va provoquer une « bifurcation de situation » (Margolinas, 2005). Dans notre cas, l’enseignant change de mode de fonctionnement quant à la nature de la démarche mise en œuvre – alors que les documents qu’il avait préparés montrent qu’il voulait initialement continuer à faire travailler les élèves sur la diffusion et l’absorption de la lumière dans le cadre d’une démarche hypothético-déductive. L’enseignant passe alors d’une démarche qui jusque là était hypothético-déductive à une démarche que l’on peut qualifier d’inductiviste. Par ailleurs, tout repose alors sur une monstration puisque l’enseignant vise à convaincre ses élèves d’une interprétation de la physique, en montrant un événement prototypique d’un phénomène et en lui donnant une explication théorique. Un laser est rapidement sorti et les élèves doivent constater (l’enseignant insiste) qu’ils ne voient pas la lumière « de profil ». Quelques minutes plus tard, il institutionnalisera la non visibilité de la lumière et une interprétation de la vision.

331 Prof. : Bon... pour vous convaincre que l’on ne voit pas la lumière. Bon alors regardez ! Pour vous convaincre que l’on ne voit pas la lumière, j’ai... pour vous convaincre tous que l’on ne voit pas la lumière, j’ai un laser. Le laser, il envoie, il va envoyer de la lumière rouge. Est-ce que vous voyez de la lumière là ? (Il montre l’espace devant le laser) Le laser il envoie de la lumière comme ça (il mime le déplacement de la lumière). Est-ce que vous voyez de la lumière ?

332 Plusieurs élèves simultanément : ben non !

La posture des élèves change elle aussi radicalement. A partir du moment où la situation est fermée (l’entrée dans la situation expérimentale est une observation et l’enseignant désigne ce qu’il est pertinent de voir – sans émission préalable d’hypothèses) la résistance observée, comme la contestation de la conclusion, disparaissent.

3.3. Un problème implicite qui empêche toute dévolution aux élèves en SVT

En sciences de la vie et de la Terre, la séance choisie concerne la classe de 6ème et s'inscrit dans la partie « Des pratiques au service de l'alimentation humaine ». Pour cette première séance, l'enseignant fait le choix de poursuivre deux objectifs distincts, habituellement pris en charge au niveau de deux séances :

- l'identification des constituants biochimiques qui composent les aliments de base de notre alimentation ;
- la mise en évidence de constituants communs au niveau d'un aliment de base et de l'aliment issu de sa transformation par l'Homme.

Le premier est pris en charge dès le début de la séance, le second en revanche est maintenu caché – de même que la question scientifique qui lui est associée – jusqu'à la phase d'institutionnalisation.

Comme dans la séance de sciences physiques, la séance débute par une question « d'accroche » concernant ici les besoins alimentaires, laquelle va rapidement céder place à une interrogation centrée sur la composition des aliments plus en lien avec le thème d'étude.

Lors de la phase d'hypothèse, l'enseignant propose ainsi aux élèves de réfléchir à la tâche suivante.

76 Prof : Alors, j'ai choisi six exemples. Le premier exemple, le pain, le jus de pomme, le beurre, la farine, une pomme et du lait. Et vous allez essayer d'imaginer quel est le constituant qui est en plus grande quantité dans chaque aliment et on va aller le vérifier après ? Alors, on y va. Dans le pain, Allan, tu penses qu'il y a quoi ?

Le choix n'est pas neutre puisqu'il doit permettre, au terme de la séance, d'associer deux à deux les six aliments au regard de leur composition (aliment « brut » / aliment « fabriqué ») sur la base d'un constituant commun). Mais ce choix n'est pas justifié, pas plus d'ailleurs que la contrainte très vite imposée de ne s'intéresser qu'à seulement trois types de constituants : les graisses, les sucres lents, les sucres rapides. Dès lors, on observe que plusieurs élèves vont « résister » à ce double choix pouvant leur apparaître arbitraire. Le calcium est ainsi proposé pour le lait mais l'enseignant s'efforce de recentrer les élèves sur les trois constituants retenus.

144 Léa : (à propos du lait) Du calcium.

145 Prof. : Ah ouais, mais moi je veux soit sucres lents, soit sucres rapides, soit graisses.

146 Léa : alors sucres lents.

147 Prof. : Lents tu dis ?

148 Léa : Oui.

149 Prof. : Est-ce que vous avez d'autres idées ?

150 E : Sucres rapides. (... ?)

151 Prof. : On peut mettre autre chose, si vous n'êtes pas d'accord, tout le monde est d'accord ?

Le terme attendu « graisse » ne s'exprimera pas dans cet échange. Si la proposition du calcium n'est pas relevée comme pertinente, la piste des sucres est laissée ouverte, et le constituant graisse n'est pas imposé. Mais en demeurant dans l'implicite au sujet de l'objectif premier de l'étude, l'enseignant court le risque d'être à nouveau pris en défaut lors de la mise en commun des résultats des tests de mises en évidence, ce qui va être effectivement le cas.

Dans cette phase, l'exemple du lait est à nouveau au cœur de la discussion mais cette fois « la question des graisses dans le lait » devient explicite et c'est sur elle que se cristallise le désaccord. La procédure de test proposée par l'enseignant pour la mise en évidence des graisses s'est révélée non fonctionnelle pour les liquides. De fait, les élèves, déjà peu enclins à envisager des graisses dans le lait, s'y opposent, contrariant par là même les visées de l'enseignant qui réagit en retour de façon directive et partielle.

593 P : Alors, Léo, est ce qu'il y a des graisses dans le lait ? Vous avez trouvé ou pas vous ?

594 C : Oui, heu non.

595 P : Quel groupe a trouvé qu'il y a des graisses dans le lait ?

596 E : On ne peut pas prouver, le lait c'est un liquide.

597 P : Très bien. Alors, on peut mettre entre parenthèse, car en fait il y en a (il inscrit O pour oui).

Un fait marquant est déjà que l'enseignant remet en cause les résultats expérimentaux sans laisser le temps de la confrontation entre élèves ou de la recherche dans d'autres sources de savoir. Face au doute qu'il a suscité il tranche pour le « oui », tant il est crucial dans le projet qu'il vise de mettre en avant la présence de graisses dans le lait. La phase d'institutionnalisation qui démarre dès la fin de la synthèse des résultats, le montre d'ailleurs très clairement.

604 P : Très bien. Si on regarde ce tableau, finalement on retrouve de la graisse où ? Dans le beurre et dans le lait. Ça vous semble logique ?

605 C : Non, non. Pas dans le lait en tout cas.

606 P : Il vient d'où le beurre ?

607 C : Du lait, du lait.

608 P : Alors est ce que c'est logique que l'on retrouve la même chose ?

Si quelques élèves semblent encore « résister » un temps à la proposition de l'enseignant pour laquelle le résultat du test n'a pas été probant, la discussion tourne court et ce dernier prend en charge lui-même la synthèse qui sera notée dans les cahiers.

618 P : Très bien. Alors maintenant on a vu que c'était logique que l'on retrouve la même chose dans la pomme et le jus de pomme car la pomme servait à faire le jus de pomme. On a vu que c'était logique de retrouver la même chose dans le lait et dans le beurre puisque le lait servait à faire le beurre. On a trouvé logique de retrouver la même chose dans la farine et le pain puisque la farine sert à faire le pain.

C'est donc au final le savoir de l'enseignant qui s'impose, en dépit des résultats des tests expérimentaux pourtant au cœur de la démarche d'investigation souhaitée au départ. Et comme dans la séance de sciences physiques, dès lors que le déroulement prévu « s'enraye », la volonté initiale d'impliquer les élèves au-delà des aspects manipulateurs est abandonnée au profit d'une approche dogmatique et transmissive. La marge d'action des élèves se réduit alors de façon drastique au profit de celle de l'enseignant qui endosse toute la responsabilité dans l'avancée du savoir.

4. Conclusion

Plus qu'un choix réfléchi, ces brusques réorientations de la démarche – combinées à des changements de position radicaux – témoignent, nous semble-t-il, d'une perte de contrôle de la part des jeunes enseignants stagiaires. On assiste donc à une régulation à chaud, dans l'instant. Des composantes transmissives liées à des conceptions sur l'enseignement encore peu stabilisées refont alors surface. Le problème rencontré par ces jeunes enseignants est bien d'ordre didactique. Si les élèves résistent c'est d'abord parce qu'aux moments clés leurs représentations n'ont été prises en compte. Ensuite, on note que l'effort de réticence exigé par la situation didactique chère à Guy Brousseau (1988) porte dans les deux cas sur des éléments importants de la situation (le statut des contextes d'étude, la nature du problème) interdisant aux élèves tout accès au sens visé par les activités proposées. Ce qui est en cause selon nous c'est avant tout un défaut d'anticipation et de construction des séances. De ce point de vue, une analyse *a priori* des situations proposées aurait pu permettre d'éviter les principaux écueils rencontrés. Celle-ci devrait pouvoir comporter :

- Une analyse conceptuelle approfondie : Quels sont les concepts en jeu ? En quoi ces concepts sont-ils nécessaires (ou non) pour expliquer chacune des situations proposées. Ces concepts correspondent-ils à ceux identifiés dans le programme ?

- Une analyse des situations : En quoi les situations permettent-elles aux élèves de travailler les concepts visés ? Dans quelle mesure les situations expérimentales proposées sont-elles accessibles aux élèves, pertinentes, complémentaires ?

- Une analyse des connaissances sur lesquelles les élèves sont susceptibles de s'appuyer et de mettre en œuvre quand ils seront confrontés aux situations : Quelles sont les connaissances scientifiques déjà acquises, mais aussi les conceptions correspondant à la thématique travaillée ? Quelles sont également les connaissances d'ordre épistémologique (en lien avec la démarche) requises, nécessaires, visées ?

C'est ce type d'analyse qu'il nous semble nécessaire de mener en formation initiale si l'on souhaite que les enseignants débutants soient en mesure d'anticiper les réponses et les réactions des élèves et de leur permettre un réel apprentissage, dans le cadre de la mise en œuvre de démarches d'investigation.

Bibliographie

Brousseau, G. (1988). *La théorie des Situations Didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.

Johsua, S. & Dupin, J.-C. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : Presses Universitaires de France.

Gandit M., Triquet, É., & Guillaud, J.-C. (2011). Démarches scientifiques, démarches d'investigation en sciences expérimentales et en mathématiques : représentations d'enseignants stagiaires de l'IUFM. Communication au symposium ARDIST sur les démarches d'investigation en science. In : Actes du congrès international de l'AREF (Actualité de la recherche en éducation et en formation), Genève, 13-16 septembre 2010.

Gandit M., Triquet, É., & Guillaud, J.-C. (à par.). Démarches d'investigation : des représentations d'enseignants débutants aux pratiques. Actes des 2ndes Journées S-TEAM, 10-12 mai 2011, IUFM de Grenoble.

Laborde, C. Coquidé, M. & Tiberghien, A. (2002). Les situations de formation en vue de l'apprentissage du savoir scientifique et mathématique. Dans A. Tiberghien (dir.), *Du savoir naif au savoir scientifique, École et sciences cognitives* (p. 107-144). Ministère de la Recherche.

Margolinas, C. (2005). Les bifurcations didactiques : un phénomène révélé par l'analyse de la structuration du milieu. Dans A. Mercier & C. Margolinas (dirs.), *Balises en didactique des mathématiques* (p. 1-12).

Sensevy, G. & Mercier A. (2007). Agir ensemble : l'action didactique conjointe. Dans G. Sensevy & A. Mercier (dir.), *Agir ensemble : éléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves* (p. 187-211). Rennes : Presses Universitaires de Rennes (PUR).

Tiberghien, A., Malkoun, L., Buty, C., Souassy, N., & Mortimer, E. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. Dans G. Sensevy & A. Mercier (dirs.), *Agir ensemble : Eléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves* (p. 93-122). Rennes : Presses Universitaires de Rennes (PUR).

Triquet, É., & Guillaud, J.-C. (2011). Démarche scientifique et démarche d'investigation : points de vue d'enseignants stagiaires à l'IUFM. Dans M. Grangeat (dir.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique : pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (p. 62-74). Lyon : Ecole Normale Supérieure.

Le protocole expérimental en TP. Un modèle pour étayer l'activité de conception d'une expérience.

Claire Wajeman, Univ. de Grenoble, Laboratoire d'Informatique de Grenoble, équipe MeTAH ; Claire.Wajeman@imag.fr

Isabelle Girault, Univ. de Grenoble, Laboratoire d'Informatique de Grenoble, équipe MeTAH ; isabelle.girault@imag.fr

Cédric d'Ham, Univ. de Grenoble, Laboratoire d'Informatique de Grenoble, équipe MeTAH ; cedric.dham@ujf-grenoble.fr

&

Muriel Ney, Univ. de Grenoble, Laboratoire d'Informatique de Grenoble, équipe MeTAH ; muriel.ney@imag.fr

Mots clés : Conception expérimentale, protocole expérimental, travaux pratiques, évaluation, démarche d'investigation

Résumé : La conception d'une expérience n'est pas une activité courante pour les élèves et c'est pourtant une étape presque obligée de la démarche d'investigation en sciences expérimentales. Lorsqu'elle est formalisée, elle aboutit à la production d'un protocole écrit, objet scientifique très peu décrit bien qu'il soit central dans le processus expérimental. L'étude de fascicules de TP au niveau Lycée et universitaire montre que le protocole expérimental apparaît de manière complexe dans les TP, suggérant que c'est un objet peu identifiable pour les élèves. Le besoin d'outils pour la recherche et pour l'enseignement nous a amenés à construire un modèle fonctionnel du protocole expérimental que nous présentons ici. Il comporte deux parties, un arbre de tâches qui rend compte de la nature structurée et opérationnelle d'un protocole, et une liste organisée de propriétés permettant, entre autre, l'évaluation d'un protocole.

1. Introduction

La démarche d'investigation proposée dans l'enseignement secondaire implique très souvent que les élèves conçoivent des expériences en réponse à une question scientifique. L'activité de conception expérimentale paraît prometteuse en elle-même du point de vue des apprentissages tant conceptuels que procéduraux (voir par exemple Arce et Betancourt, 1997; Karelina et Etkina, 2007). Elle possède les caractéristiques des activités de conception en général. De Vries (2006) propose les trois propriétés suivantes : "la conception est une activité créative", "le futur artefact doit répondre à des besoins", "un plan ou un modèle, ou quelque chose, doit être formulé avant que l'artefact soit réalisé". Dans le cas de la conception d'expériences scientifiques, l'expérience et son résultat sont le "produit visé" (l'artefact selon De Vries) et le protocole en est la procédure (le quelque chose planifié et formulé permettant la réalisation de l'expérience) que nous considérerons ici sous une forme écrite. La formalisation et la formulation par écrit du plan de l'expérience fait effectivement partie de l'activité expérimentale d'un scientifique. Dans le cas où la conception expérimentale n'est pas dévolue aux élèves, le protocole expérimental se manifeste en travaux pratiques (TP) de manière quasi

systématique sous la forme d'un ensemble d'instructions écrites donné aux élèves à fin de réalisation d'une expérience. Que la conception expérimentale soit ou non dévolue aux élèves, le protocole est un objet central et incontournable en TP, aussi bien pour les élèves que pour les enseignants qui ont en charge de construire, d'étayer, d'évaluer l'activité expérimentale des élèves.

L'engagement de notre équipe dans la construction d'ingénieries et la conception d'outils et d'environnements informatiques dédiés à la conception du protocole expérimental par les élèves (Projet CoPEX), nous a amenés à nous interroger sur la nature d'un protocole expérimental scientifique. Il est en effet indispensable de cerner précisément l'objet protocole si l'on veut pouvoir ensuite aborder la question plus complexe de la conception expérimentale. Qu'est-ce qu'un protocole expérimental ? Comment le décrire, le caractériser, l'évaluer ?

Ces questions nous amènent à rechercher une définition et une description générique de cet objet scientifique qui nous permette ensuite d'examiner l'enseignement et l'apprentissage incluant la conception d'un protocole par les élèves. La notion de protocole existe dans beaucoup de domaines, scientifiques, industriels ou autres ; celle qui nous intéresse ici concerne le domaine des sciences expérimentales. Le peu que nous ayons trouvé dans la littérature scientifique montre qu'il n'existe rien de bien établi. Seule la biologie examine dans un certain détail la question du protocole dans la planification expérimentale en relation avec l'analyse statistique ; mais il s'agit là d'un point de vue spécifique à un domaine. La littérature en sciences de l'éducation, quant à elle, n'entre pas dans les détails concernant le protocole expérimental, alors que le processus de démarche expérimentale est largement traité tant sur le plan épistémologique qu'en didactique. Par exemple Dean et Voss (1999) disent qu'il est nécessaire lors de la "planification" d'une expérience de spécifier les mesures à faire, le protocole expérimental et les difficultés que l'on a anticipé. Mais pas plus que les autres auteurs, ils n'entrent dans les détails quant à la nature et au contenu de l'objet protocole. Il semble donc qu'il y ait une lacune sur ce point spécifique.

Dans une étude de fascicules de TP classiques français (Girault et al., 2011), nous avons montré que les TP sont des objets complexes, y compris les TP dits de type "recette de cuisine" qui amènent les élèves à se contenter de suivre « la recette » (TP de terminale et de première année universitaire en sciences de la vie et de la Terre et en sciences physiques). Dans ces TP, il est fréquent que les objectifs expérimentaux soient absents ou implicites (voir aussi Gomes, Borges et Justi, 2008; Meester et Maskill, 1995) et que la structure du protocole soit peu apparente. La partie opérationnelle du protocole est souvent incomplète et des informations diverses y sont mêlées (des éléments de théorie, par exemple). On y observe une grande variabilité de la forme et du statut du protocole selon les disciplines, le niveau d'étude, ... D'après ces résultats on peut s'attendre à ce que les élèves ne se forgent pas une vision claire et précise de l'objet protocole. Cette étude fait ressortir le besoin de construire des outils pour aborder l'activité de conception expérimentale dans l'enseignement. En particulier, il est nécessaire de décrire et de caractériser ce qu'est un protocole expérimental.

L'objectif de cette communication est de proposer le modèle de protocole que nous avons construit. Nous ne pouvons pas présenter ici l'intégralité du processus itératif de construction de notre modèle. Il est composé de deux parties, d'une part un modèle descriptif dont nous justifierons les appuis théoriques ; d'autre part une liste organisée de propriétés qui permet, entre autre, d'évaluer un protocole. Cette liste a été élaborée à partir d'interviews d'enseignants de Lycée et d'enseignants chercheurs, puis complétée et organisée en nous appuyant sur la littérature. Nous avons utilisé ce modèle dans différents cas de figure en tant qu'outil de recherche et aussi en tant qu'outil pédagogique : pour construire des environnements informatiques et pour analyser l'activité et les productions des élèves; pour la construction d'ingénieries pédagogiques et comme outil pour les élèves (et potentiellement pour les enseignants) pour évaluer des protocoles produits par eux-mêmes ou par des pairs. Pour la

plupart, ces travaux ont déjà été présentés par ailleurs et ne pourront être détaillés ici (d'Ham, 2009 ; Marzin et al., 2007a et b ; Wajeman, 2009).

2. Un modèle de protocole expérimental

Nous définissons un protocole expérimental comme une description de la manipulation de données et d'objets réels dans l'objectif de collecter et de traiter des données expérimentales ou de construire de nouveaux objets, cela en réponse à un objectif scientifique.

2.1. Partie descriptive du modèle

Pour construire notre modèle descriptif, nous nous appuyons sur des outils et modèles permettant d'analyser l'activité d'un sujet : l'analyse hiérarchique de tâches et le modèle d'activité de Leont'ev (voir Nardi, 1996). Le protocole expérimental n'est pas une activité mais un objet décrivant une activité. De ce fait, le protocole formalise cette activité avec l'objectif d'en donner une description opérationnelle, explicite, non ambiguë.

Nous avons proposé dans des articles antérieurs (Wajeman et al., 2005; Marzin et al., 2007) de décrire un protocole par un arbre hiérarchique de tâches (figure 1). Le principe est de décomposer la tâche principale en sous-tâches suivant une analyse descendante. Plus la tâche est de bas niveau dans l'arbre, plus la description est détaillée. La décomposition hiérarchique d'expériences est utilisée dans la recherche en intelligence artificielle et dans le champ des Interactions Homme-Machine. Dans notre cas, la capacité de ce type d'analyse, d'une part à organiser les tâches de manière hiérarchique suivant plusieurs niveaux, et d'autre part à caractériser les tâches par leur objectif, permet de faire ressortir la stratégie adoptée pour mener l'expérience, et donc à donner du sens au protocole.

Le modèle d'activité initialement proposé par Leont'ev (1978) dit qu'une activité peut être décomposée en actions, lesquelles sont ensuite décomposées en opérations. La différence entre actions et opérations est le degré de conscience nécessaire à l'accomplissement du processus : les actions reposent sur des objectifs conscients alors que les opérations relèvent de comportements routiniers exécutés de manière automatique (Nardi, 1996). D'autre part, si les actions sont liées à des objectifs, les opérations elles, sont reliées à des conditions; en particulier les opérations peuvent varier suivant le contexte de l'activité. Dans notre arbre de tâches, nous utilisons 4 niveaux, les 3 niveaux Activité/Action/Opération auxquels nous ajoutons un niveau, les Tâches de structuration, permettant la décomposition des actions suivant des objectifs intermédiaires, ce qui a été suggéré par Leont'ev : "lors de la poursuite d'un objectif général isolé, il peut être utile de le subdiviser en objectifs intermédiaires, donnant lieu à la division de l'action principale en une succession d'actions séquentielles".

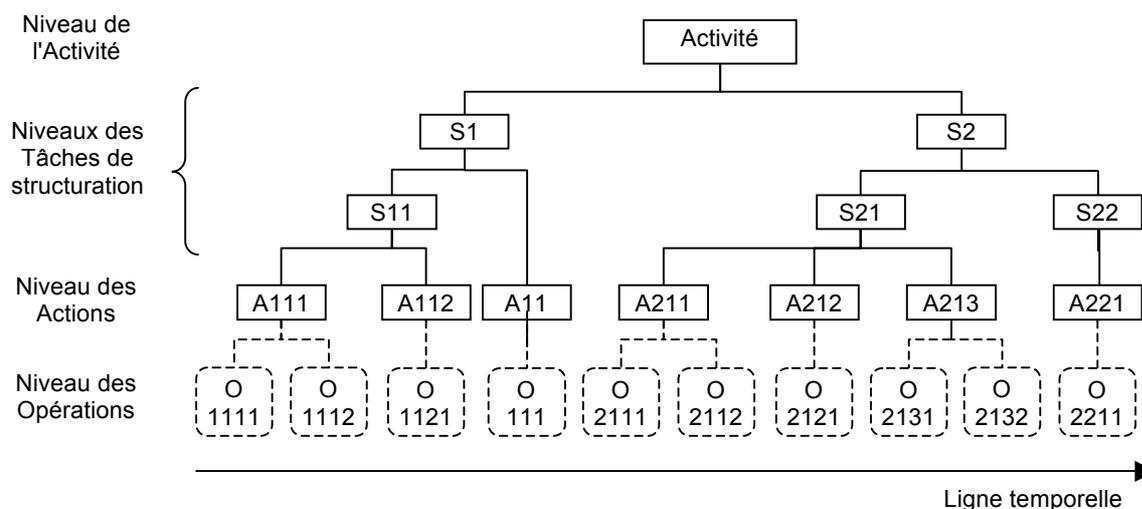


Figure 1. Modèle descriptif générique d'un protocole expérimental

Dans notre modèle, l'Activité est à la racine de l'arbre, la réalisation d'une expérience donnée répondant au problème scientifique à résoudre (figure 1). Sous cette racine, nous définissons un niveau de Tâches de structuration S qui révèlent l'organisation logique du protocole, en lien avec les stratégies (globales et locales) de résolution adoptées. Il peut y avoir plusieurs niveaux de Tâches de structuration en fonction de la manière dont l'Activité à la racine est décomposée de manière hiérarchique en étapes et sous-étapes. Le niveau des Actions A représente la partie effective (opérationnelle) du protocole en relation avec les compétences de l'expérimentateur. La ligne de déroulement temporelle de l'activité se déroule de gauche à droite par la succession des Actions. Le dernier niveau, celui des Opérations O est relié aux actions inconscientes de l'expérimentateur, comme les gestes techniques simples ou les procédures de routine dont le processus ne nécessite pas d'être explicité. Les Opérations n'apparaissent dans le protocole que pour préciser les paramètres sur lesquels elles opèrent, comme par exemple le matériel ou les quantités de produits à utiliser. Lorsqu'elles ne sont pas mentionnées explicitement, elles n'apparaissent dans le protocole que par leurs paramètres au niveau des Actions qui les activeront. En conséquence, un protocole complet ne comporte que deux types de tâches sous la racine : les Tâches de structuration et les Actions. On perçoit ici que le niveau des Actions constitue le niveau opérationnel conscient, qui se situe comme un horizon entre une partie organisationnelle (les embranchements des Tâches de structuration) et le niveau des Opérations, terrain des activités routinières ou non-conscientes. Ce niveau des Actions n'est pas fixe, il est déterminé par le niveau de compétences de l'expérimentateur, c'est-à-dire la personne qui va mettre en oeuvre le protocole dans le monde réel en accomplissant l'Activité décrite, l'expérience. Il est important de bien identifier le niveau de détail auquel on doit descendre dans la description du protocole, afin qu'il soit adapté aux compétences de l'expérimentateur. Dans un contexte éducatif, c'est le rôle de l'enseignant d'ajuster ce niveau aux capacités des élèves qui auront à réaliser l'expérience, ou encore d'organiser l'activité des élèves dans ce sens, s'ils ont en charge la conception expérimentale. La figure 2 présente un exemple d'arbre de tâche pour un protocole de chimie. Comme on le voit, la suite d'opérations qui permet de décrire l'action « introduire l'eau dans la cuvette » n'a pas besoin d'être décrite pour ces étudiants là. Seuls les paramètres sont indiqués (cuvette) et leur valeur (eau).

En tant qu'outil de recherche, ce modèle descriptif produit avant tout une discrétisation et une organisation de la partie "réalisation de l'expérience" de l'activité expérimentale. Il est analytique et fournit une organisation temporelle mais aussi spatiale à tous les niveaux de granularité. Ceci est utile autant pour analyser un protocole que pour aborder la question plus complexe du processus de conception expérimentale.

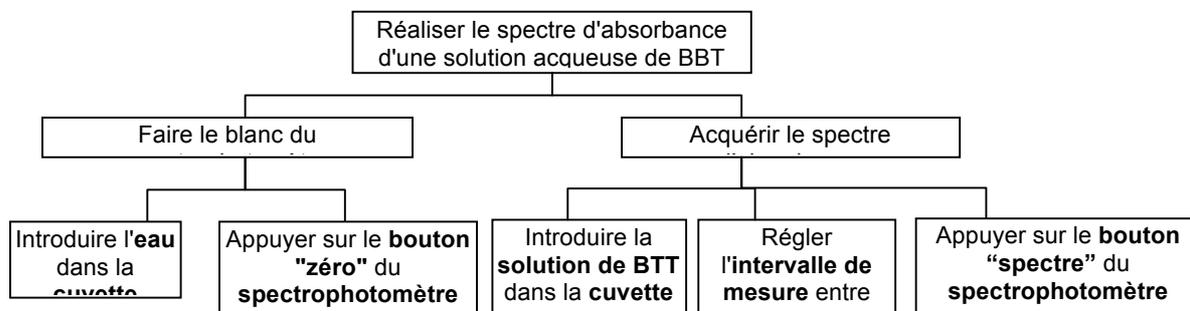


Figure 2. Exemple d'un arbre de tâche d'un protocole de chimie. Les termes en gras au niveau des actions correspondent aux paramètres et aux valeurs des paramètres des actions

2.2. Partie qualitative du modèle

Le modèle descriptif de protocole n'est cependant pas suffisant lorsque l'on s'intéresse à aménager, étayer et évaluer l'activité des élèves lorsqu'ils conçoivent une expérience. En particulier, cela demande une connaissance du protocole expérimental d'ordre épistémologique. Nous avons exploré la littérature pour les aspects scientifiques, mais pour ce qui concerne un usage dans un contexte éducatif, nous nous sommes tournés vers les enseignants. Nous avons mené une étude expérimentale pour tenter de cerner les critères que des enseignants utiliseraient pour évaluer des protocoles créés par des élèves. Notre modèle qualitatif repose sur ces deux éléments.

Nous nous sommes adressés à des enseignants-chercheurs, à la fois impliqués dans des activités de recherche et d'enseignement de TP. Dans un premier temps il leur a été demandé à titre individuel de définir des critères pour évaluer des protocoles expérimentaux écrits par des étudiants sur un sujet de chimie. On leur a ensuite demandé de généraliser leurs critères dans le but d'évaluer des protocoles scientifiques produits par des étudiants. Les enseignants ont ensuite été interviewés pour préciser leurs critères. Dans la troisième étape, les enseignants devaient procéder à une mise en commun des critères et à une discussion afin de produire une liste commune. Cette liste a été ensuite soumise à quatre enseignants ayant une pratique de la conception expérimentale des élèves. Le résultat reformulé et réorganisé sur la base des études bibliographiques (Kerlinger, 1986 ; Friedland et Iwasaki, 1985 ; Baker et Dunbar, 1996) constitue notre liste finale. En réalité, peu de critères ont été ajoutés à la liste produite par le processus avec les enseignants. Dans la liste des enseignants, des items similaires apparaissaient parfois sous des noms différents. Les études bibliographiques nous ont surtout aidés à identifier la nature des critères des enseignants et ainsi à les organiser.

<i>Pertinence : la fonction de l'expérience</i>
Pertinence externe entre les hypothèses et les grandeurs à mesurer
Pertinence interne : stratégie de mesure (méthodes et matériel)
Qualité d'acquisition des données : justesse et fidélité
<i>Exécutabilité : l'expérience en condition de laboratoire</i>
Adéquation entre les échantillons et le domaine de validité des méthodes de mesure et du matériel
Respect des contraintes matérielles (disponibilité, coût, faisabilité, contrôle des risques)
Respect des contraintes temporelles
<i>Communicabilité : la description de l'expérience</i>
Complétude (et niveau d'explicitation)
Structuration
Documentation (présence des informations adéquates)

Tableau 1. Critères d'évaluation de la conception d'une expérience et du protocole correspondant

Nous avons organisés les critères en trois grandes rubriques :

- La *Pertinence* relève de la validité scientifique de l'expérience. Elle recouvre les pertinences interne (la stratégie, c'est-à-dire le choix des méthodes et du matériel) et externe (la cohérence entre les hypothèses à tester et les résultats visés pour cette expérience) de l'expérience. Elle aborde aussi la qualité de l'acquisition des données, à savoir le problème de l'exactitude des résultats sous ses deux aspects, justesse (parfois nommée précision) et fidélité (parfois nommée reproductibilité).
- L'*Exécutabilité* se réfère à la réalisation de l'expérience en laboratoire. Elle a due être complétée par rapport aux propositions des enseignants. Elle se réfère essentiellement à la capacité de l'expérience à produire les données escomptées, par les méthodes expérimentales choisies, à entrer dans les contraintes expérimentales matérielles et temporelles (faisabilité), à l'évaluation des risques, ...
- La *Communicabilité* contrôle la capacité du protocole, en tant que description écrite, à être comprise et utilisable sans ambiguïté par la (les) personne(s) en charge de réaliser l'expérience. Le protocole doit être complet, organisé et documenté en conséquence.

3. Conclusion

Nous présentons ici un modèle de protocole expérimental en deux parties, un arbre hiérarchique de tâches qui exprime la nature structurée et opérationnelle d'un protocole expérimental, et une liste des propriétés d'un protocole. Cette liste est organisée en trois rubriques : la première concerne la pertinence scientifique de l'expérience, la seconde rubrique traite de l'exécutabilité du protocole en référence aux conditions pratiques et matérielles de réalisation de l'expérience, et la troisième aborde la question de la communicabilité relative à la compréhension du document protocole par un tiers identifié.

Le modèle construit est avant tout un outil qui s'est montré utile dans nos activités de recherche et de conception d'ingénieries et de logiciels. Voici des exemples que nous ne pouvons détailler et discuter ici. Le modèle a été utilisé pour l'élaboration de TP intégrant la conception d'expériences par les élèves : la description en arbre de tâches du protocole est un support efficace pour évaluer la charge cognitive et prendre des décisions, pour structurer le travail des élèves à un niveau donné et programmer des étayages adéquats, ceci aussi bien à

l'échelle locale d'une tâche qu'à l'échelle globale du TP (Wajeman, 2009). L'arbre des tâches est également à la base de la conception de logiciels dédiés à la construction de protocole (CoPEX; CoPEX-Chimie voir d'Ham et al, 2009). Enfin la liste de critères a été utilisée dans des enseignements universitaires et secondaires, pour aider les étudiants à évaluer des protocoles expérimentaux et à percevoir la nature de cet objet (Marzin et al, 2007a et b). Nous avons pu montrer, entre autre chose, qu'il est important pour les élèves de savoir à qui est destiné le protocole qu'ils conçoivent, qui est l'opérateur qui réalisera l'expérience, et que le fait de destiner le protocole produit à une utilisation réelle par un pair, est une forte incitation à formaliser et détailler l'expérience conçue. Nous avons utilisé ce modèle pour analyser le travail et les productions des élèves, et nous pensons qu'il pourrait également aider les enseignants à évaluer les protocoles produits par leurs élèves. Il nous semble important de partager ce modèle, afin qu'il puisse être utilisé, discuté, adapté et amélioré par une communauté.

Remerciements : Nous remercions Eric Sanchez de l'IFé et tous les enseignants qui ont participé à ce travail, en particulier Martine Biau, et Réjane Monod-Ansaldi, Gilles Baudrant et Daniel Devallois. Cette recherche (projet CoPEX) a été réalisée en partenariat avec l'INRP dans le cadre de l'ACI "Education-formation et TICE" du MENRT.

Bibliographie

- Arce, J., & Betancourt, R. (1997). Student-designed experiments in scientific lab instruction. *Journal of College Science Teaching*, 27(2), 114-118.
- Dean, A., & Voss, D. (1999). Design and analysis of experiments. New-York: Springer-Verlag.
- Baker, L. M., & Dunbar, K. (1996). Constraints on the experimental design process in real-world science. In Cottrel, G. W. (Ed.), *Eighteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 154-159): Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- de Vries, E. (2006). Students' construction of external representations in design-based learning situations. *Learning and instruction*, 16, 213-227.
- Dunbar, K. (1999). How scientists build models: In Vivo science as a window on the scientific mind. In Magnani, L., Nersessian, N. & Thagard, P. (Ed.), *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 89-98): Plenum Press.
- Gomes, A. D. T., Borges, A. T., & Justi, R. (2008). Students' Performance in Investigative Activity and their Understanding of Activity Aims. *International Journal of Science Education*, 30(1), 109-135.
- d'Ham, C. (2009). La construction de protocole expérimental : objet et moyen d'apprentissage. *Cahiers Pédagogiques*, 469, <http://www.cahiers-pedagogiques.com/spip.php?article4146>, CRAP.
- Friedland, P. E., & Iwasaki, Y. (1985). The concept and implementation of skeletal plans. *Journal of Automated Reasoning*, 1, 161-208.
- Girault I., d'Ham C., Ney M., Sanchez E. & Wajeman C. (2011). Characterizing the experimental procedure in science laboratories: a preliminary step toward students experimental design, *International Journal of Science Education*, 33.
- Karelina, A., & Etkina, E. (2007). Acting like a physicist: Student approach study to experimental design. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 3.

Kerlinger, F. D. (1986). *Foundations of behavioral research*, 3rd edition: CBS College Publishing.

Leont'ev, A. N. (1978). *Activity, Consciousness, and Personality*: Prentice-Hal.

Marzin, P., d'Ham, C., & Sanchez, E. (2007). How to scaffold the students to design experimental procedures? A proposition of a situation experience by 108 high-schools students. Paper presented at the ESERA Conference, Malmö, Sweden.

Marzin, P., Wajeman, C., Girault, I., d'Ham, C., Sanchez, E. & Cross, D. (2007). L'utilisation d'un arbre des tâches pour concevoir et analyser des situations d'apprentissage : trois T.P. intégrant la conception d'un protocole expérimental par les élèves, en géologie, chimie et physique.. Actes des journées de l'ARDIST, 257-264, 2007.

Meester, M. A. M., & Maskill, R. (1995). First-year chemistry practicals at universities in England and Wales: aims and the scientific level of the experiments. *International Journal of Science Education*, 17(5), 575-588.

Nardi, B. A. (1996). *Context and Consciousness: Activity Theory and Human-computer Interaction*. Cambridge, MA: MIT Press.

Wajeman, C., Girault, I., d'Ham, C., Ney, M., & Sanchez, E. (2005). Analysing experimental design tasks in scientific labwork. Paper presented at the ESERA conference, Barcelona, Spain.

Wajeman, C. (2009). Experimental procedure design activities: how to build the labwork and what is the knowledge mobilised by the students? Paper presented at the ESERA conference, Istanbul, Turkey.

L'éducation à la sexualité (ES) dans les établissements privés et publics au Liban

Assaad Yammine, LEPS-LIRDHIST ; Univ. Libanaise, Faculté de pédagogie ; yammineassaad@yahoo.com

Iman Khalil, Univ. Libanaise, Faculté de pédagogie

&

Pierre Clément, Univ. Lyon 1, S2HEP ; clement.grave@free.fr

Mots clés : Éducation à la sexualité, système éducatif libanais, religion, analyses multivariées, difficultés d'implémentation

Résumé : Ce travail concerne une facette de l'état des lieux sur l'implémentation de l'éducation à la sexualité (ES) dans divers types d'établissements scolaires libanais : privés religieux, privés non confessionnels et publics. Il présente les résultats d'une enquête dans plus d'une centaine d'établissements pour savoir dans lesquels l'enseignement de ce thème est ou non, ou plus ou moins, mis en œuvre, et pour analyser les caractéristiques de cet enseignement quand il existe (classes et matières concernées, thèmes abordés,...). Des directeurs, des coordonnateurs et des enseignants de 104 établissements répartis selon les diverses zones géographiques du Liban ont répondu à un questionnaire. L'ensemble des analyses a montré, selon les établissements, certaines convergences et une diversité, sans corrélation significative avec le statut de l'établissement, portant sur le degré d'implémentation de l'ES, sur les cadres et les personnes les plus appropriés pour la mettre en œuvre. Les points de vue aussi bien convergents, que divergents, peuvent participer aux difficultés d'implémentation de l'ES dans le cadre scolaire libanais.

1. Introduction

L'ES n'existait pas dans le curriculum 1971 au Liban. À l'instar des recommandations d'organismes internationaux tels que l'OMS, le centre de recherches et développement pédagogiques au Liban (CRDP) a tenté d'introduire l'ES dans les nouveaux programmes de 1998. Cette tentative a suscité des oppositions de la part de plusieurs groupes sociopolitiques et religieux libanais, ce qui a entraîné son allègement total de la classe de EB8 (élèves de 12-13 ans) : circulaire n°35/M/99, décret présidentiel n°2066, et son allègement partiel du curriculum de biologie de la 2^{ème} année du cycle secondaire (15-16 ans), Série Lettre et Humanités et de la 3^{ème} année du cycle secondaire (16-17 ans) (Ministère de l'éducation nationale, circulaire n°95/M/99, décret n°10227/97, Harfouch & Clément 2001, Yammine *et al.* 2007, Yammine, 2008). Actuellement, dans le cadre d'un projet commun du CRDP, de l'UNFPA (United Nations Population Fund) et du ministère de l'éducation au Liban, des efforts sont déployés pour une nouvelle tentative de réintroduction de l'ES dans le cadre scolaire.

L'ES est donc un thème qui n'est pas, jusqu'à l'écriture de ces quelques lignes, enseigné au niveau EB8 (correspondant à la classe de 4^{ème} en France) dans les écoles officielles

libanaises, mais qui peut être enseigné ou non dans les écoles privées. Ce thème est obligatoire au niveau du cycle secondaire (les lycées en France) (avec allègements : le diagnostic prénatal, la partie anomalies chromosomiques et géniques, les maladies sexuellement transmissibles -MST-, la maîtrise de la reproduction et les problèmes éthiques ainsi que les techniques de procréation médicalement assistée ne font plus partie du programme de cette année du cycle secondaire). Ceci est à l'origine de la diversité de situations de mise en œuvre de l'ES d'un établissement à un autre du fait que ce sont les établissements scolaires qui décident de mettre en œuvre ou non, ou plus ou moins, l'ES telle que proposée dans les programmes. Ce stade de la transposition didactique nous est apparu incontournable au Liban sur ce thème, alors qu'il est négligé dans d'autres pays où il est évident que tout le contenu du programme doit être mis en œuvre dans tous les établissements scolaires concernés par ces programmes. Pour cela, nous avons fait une enquête dans plus d'une centaine d'établissements divers pour savoir dans lesquels l'enseignement de ce thème est ou non, ou plus ou moins, mis en œuvre, et pour analyser les caractéristiques de cet enseignement quand il existe (cadre, classes et matières concernées, formes, supports utilisés, thèmes abordés, intervenants, ...). Cette enquête ne cherche pas à être exhaustive, mais a pour objectif d'illustrer la diversité de situations au Liban, et de tenter de cerner certains des paramètres qui accompagnent ou justifient les décisions des différents établissements enquêtés.

La sexualité humaine n'est pas réduite à la seule transmission de la vie (dimension biologique) et comporte des dimensions biomédicale, sociale, psychologique, affective et relationnelle (Pelège & Picod, 2007).

2. Questions de recherche

Ce travail explore la diversité des situations quant à l'implémentation de l'ES dans divers établissements scolaires libanais : privés religieux (musulmans ou chrétiens), privés non confessionnels, et publics. Est-ce que l'ES y est implémentée ? Si oui, quels sont les thèmes abordés ? Est-ce que l'ES est placée sous la responsabilité d'enseignants de biologie ou aussi d'autres acteurs ? Peut-on corrélérer les éventuelles différences entre les établissements libanais au paramètre « statut de l'établissement » ?

3. Méthodologie

3.1. L'échantillon

Des directeurs, des coordonnateurs et des enseignants de 104 établissements libanais (96 écoles privées : 22 musulmanes, 33 non confessionnelles, 41 chrétiennes ; et 8 écoles publiques) répartis selon les diverses zones géographiques du Liban ont répondu à un questionnaire (tableau 1).

	Beyrouth	Bekaa	Mont Liban	Sud	Nabatiyeh	Nord	Officielles	Total
Effectif	14	14	39	10	4	15	8	104
Pourcentage	13,5	13,5	37,5	9,6	3,8	14,4	7,7	100

Tableau 1. Répartition des établissements enquêtés.

3.2. Le questionnaire

Le questionnaire (figure 1) comporte :

- Une question ouverte sur l'éducation à la sexualité (question 1)
- Une partie exploratrice pour déterminer, dans le cas où la sexualité est enseignée, quels sont : les classes et les matières concernées, le nombre de périodes, les intervenants, les formes de cet enseignement, les supports utilisés et les thèmes traités (questions 3 à 10). Les items de la Q10 sont choisis de façon à tenter de déterminer si l'ES au Liban tient compte des différentes dimensions de la sexualité humaine, si elle aborde et en quels termes, des questions qui représentent parfois des problèmes sociaux : homosexualité, inceste, pédophilie, etc.
- Une partie exploratrice pour déterminer, que l'ES soit ou non implémentée, les intervenants et les cadres qui seraient les plus appropriés de l'ES, les thèmes dont l'enseignement semble prioritaire et les thèmes qui ne devraient jamais être abordés dans le cadre scolaire (questions 11 à 14).
- Une dernière partie été réservée à des renseignements généraux sur l'établissement enquêté (question 15).

Des conditions très strictes de passation du questionnaire ont été respectées :

- * La présence du chercheur, qui rappelle au départ les objectifs globaux et qui exige le cachet de l'établissement sur chaque feuille remplie, le questionnaire étant exclusivement administré par écrit.
- * Pour éviter les biais, nous avons assez souvent questionné deux personnes (au moins) dans chaque établissement, car il se peut que le directeur ne soit pas au courant des détails de ce qui se passe sur terrain. Pour cela nous avons essayé d'avoir de l'information d'une deuxième personne (coordinateur ou enseignant) qui est la plus impliquée, qui est le plus au courant même si cette personne peut ne pas être au courant de toute la politique globale de l'établissement. Les positions des différents établissements sont donc représentées par les personnes les plus influentes dans le cadre de l'ES. Au total 175 questionnaires ont été analysés.

**Université libanaise
Faculté de pédagogie**

Enquête réalisée dans le cadre de la préparation d'une thèse de doctorat sur l'éducation à la sexualité et la reproduction humaine dans les établissements scolaires libanais.

1- Qu'est pour vous l'Éducation à la Sexualité (L'ES) ?

.....

.....

2- L'Éducation à la Sexualité (humaine) fut, au Liban, introduite dans les nouveaux programmes de biologie du complémentaire et du secondaire, puis allégée (facultative) de la classe de EB8 et en partie du secondaire. Assurez-vous cet enseignement dans votre établissement?

Oui Non (si non passez directement aux questions 11, 12, 13, 14 et 15)

3- Sous quelle forme organisez-vous cette éducation à la sexualité?

Cours Conférences Autre, précisez :

4- Quelles sont les classes concernées?

.....

5- Quelles sont les matières concernées ?

SVT Langues Éducation civique Philosophie Éducation religieuse Autres, précisez :

6- Combien de périodes (et d'heures) consacrez-vous à l'éducation à la sexualité par année?

.....

7- Qui sont les intervenants en matière d'éducation à la sexualité dans votre établissement?

Enseignant (bio) Médecin Psychologue Infirmière Assistante sociale

Responsable religieux Autre, précisez :

8- Sous quelle forme est dispensé cet enseignement ?

Cours magistral Exposé multimédia Questions-réponses Brainstorming Groupe-débat

Questions anonymes Autre, précisez :

9- Quels sont les supports utilisés ?

Livres Sites Internet Films Transparents PowerPoint Autre, précisez :

10- Quels sont les thèmes abordés ?

	Non	Oui	Si oui, sous quelle forme ?	Combien de temps ?
Avortement				
Plaisir et ses organes				
Pédophilie				
Puberté				
Argent et sexualité				
Eveil sexuel				
Lois et sexualité				
Croyances religieuses				

Préoccupations éthiques et morales				
Normes sociales				
Virginité				
Amour				
Psychologie féminine, masculine				
Usage du préservatif (condom)				
MST, sida et autres pathologies				
Reproduction, procréation, fertilité				
Organes reproducteurs et leur physiologie				
Inceste et abus sexuels				
Violences sexuelles				
Grossesse et accouchement				
Rapports sexuels				
Contraception				
Homosexualité				
Autre, précisez				

11- Quelles sont, selon vous, les personnes les plus appropriées pour assumer l'ES dans un cadre scolaire ?

Enseignants de biologie Spécialistes du thème (médecins, psychologues, ...)

Enseignants d'une autre discipline (précisez laquelle ou lesquelles)

Responsables religieux Autre, précisez :

12- Quel est, selon vous, le cadre le plus approprié de l'ES de façon générale ?

Famille Ecole Religion Médias Autre, précisez :

13- Citez, par ordre de priorité, 3 thèmes qui, selon vous, sont intéressants à aborder dans le cadre de l'ES :

a)..... b)..... c).....

14- Citez, par ordre de priorité, 3 thèmes qui, selon vous, ne sont jamais à aborder dans le cadre scolaire :

a)..... b)..... c).....

15- Renseignements

- Nom de l'école :

- Statut de l'école: Publique Privée confessionnelle Privée laïque Autre, précisez :

- Dans votre établissement, pouvez-vous indiquer, de façon approximative, quelle est la proportion d'élèves qui appartiennent aux confessions suivantes (indiquez au moins la confession majoritaire dans votre établissement)

Maronites Autres catholiques (précisez)..... Sunnites Chaites Druzes

Orthodoxes Autres chrétiens (précisez)..... Autres, précisez :

- Date de remplissage de la grille :

Grille remplie par: DIRECTEUR COORDINATEUR SECONDAIRE

ENSEIGNANT SECONDAIRE COORDINATEUR COMPLEMENTAIRE

ENSEIGNANT COMPLEMENTAIRE AUTRE, PRECISEZ.....

Figure 1. Le questionnaire

3.3. Analyse statistique des réponses

Les réponses sont regroupées par établissement en cas de deux questionnaires pour le même. Elles sont ensuite soumises à des analyses univariées ou bivariées (SPSS, Chi2) et à des analyses multivariées parmi lesquelles nous avons opté pour l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM, Lebart *et al.* 1995, Munoz & Clément 2007, Munoz *et al.* 2009).

4. Résultats et discussion

76 % des établissements qui ont répondu au questionnaire, ont implémenté l'ES, 39,4% d'entre eux sous forme de cours, 27,9 % en associant les cours à d'autres formes possibles (conférences...).

18,3% des établissements qui font l'ES trouvent que les personnes les plus appropriées pour assumer l'ES dans le cadre scolaire sont les enseignants de biologie contre 17,3% qui trouvent que ce n'est pas l'affaire des enseignants de biologie, 64,4% ayant trouvé que c'est l'affaire des enseignants de biologie associés à d'autres partenaires comme les religieux, les spécialistes de santé et les enseignants d'autres disciplines (Figure 2).

Ce résultat est en parfaite cohérence avec les résultats de la figure 3 qui montrent que pour 18,3% des enquêtés qui font l'ES, c'est l'école qui est le cadre le plus approprié pour faire cet enseignement, avec les 35,6% qui trouvent que l'ES est une affaire d'école et de famille, les 28,8% trouvent que c'est l'école et autres cadres (religion, médias) qui sont les cadres les plus appropriés et les 17,3% pour lesquels l'ES n'est pas affaire d'école.

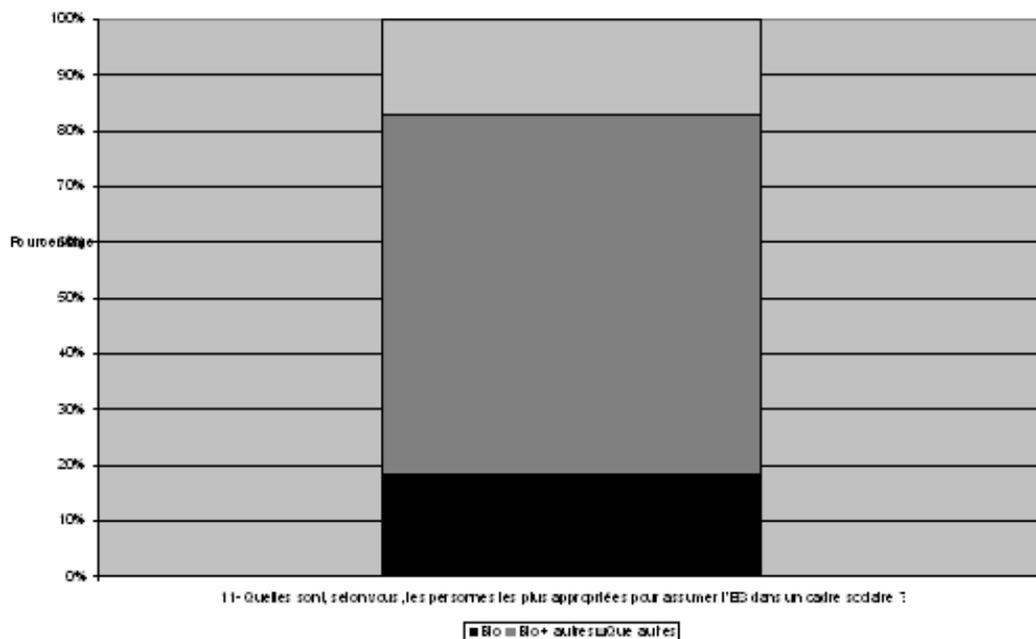


Figure 2. Pourcentages des établissements selon les personnes appropriées pour faire l'ES - « Q11- Quelles sont, selon vous, les personnes les plus appropriées pour assumer l'ES dans un cadre scolaire ? »

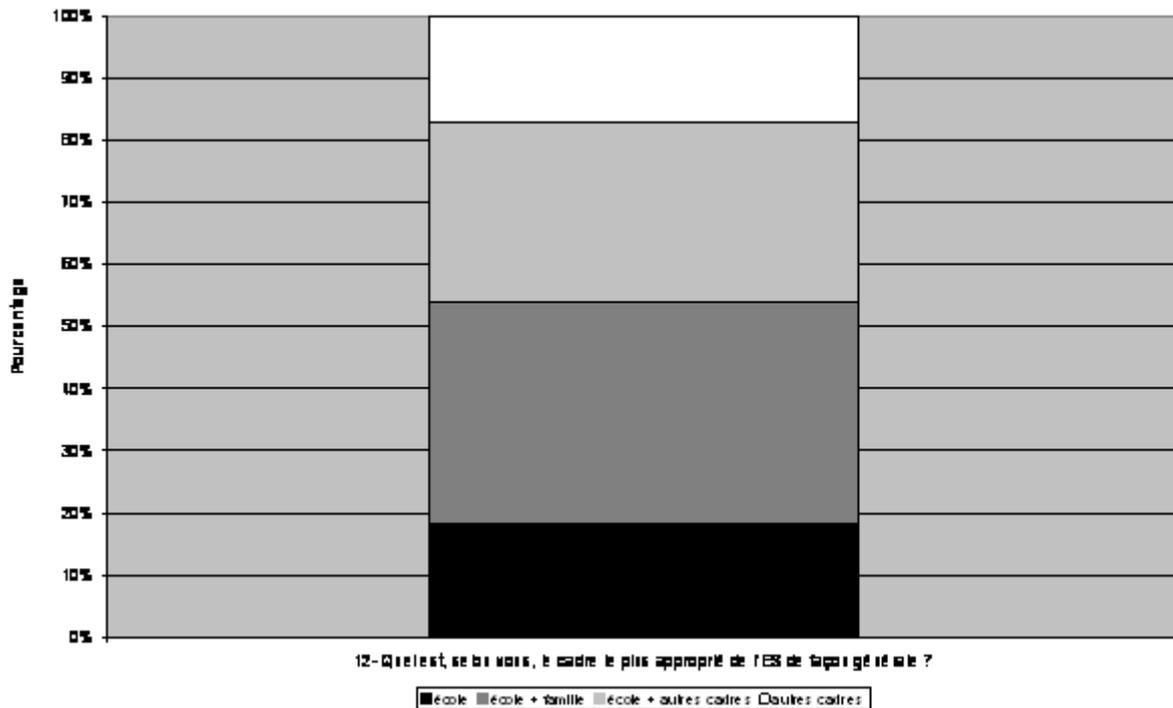


Figure 3. Pourcentages des établissements selon le cadre le plus approprié de l'ES - « Q12- Quel est, selon vous, le cadre le plus approprié de l'ES de façon générale ? »

Les résultats montrent que les établissements qui implémentent l'ES se différencient au niveau de la définition, de la forme et des acteurs de l'ES dans le cadre scolaire. Parmi les 24 % des établissements qui n'implémentent pas l'ES, existent aussi des différences au niveau de la définition, de la forme et des acteurs de l'ES dans le cadre scolaire. L'ACM confirme ces résultats : elle oppose une majorité d'établissements qui assurent l'ES à une minorité qui ne l'assure pas.

Les résultats montrent aussi des points de vue convergents concernant les thèmes abordés (refus des relations sexuelles hors-mariage, de l'homosexualité...et acceptation de la grossesse, accouchement, puberté, IST, reproduction) (Figure 4). Ces convergences peuvent être à l'origine de la difficulté d'élaboration d'un contenu basé sur la promotion à la santé.

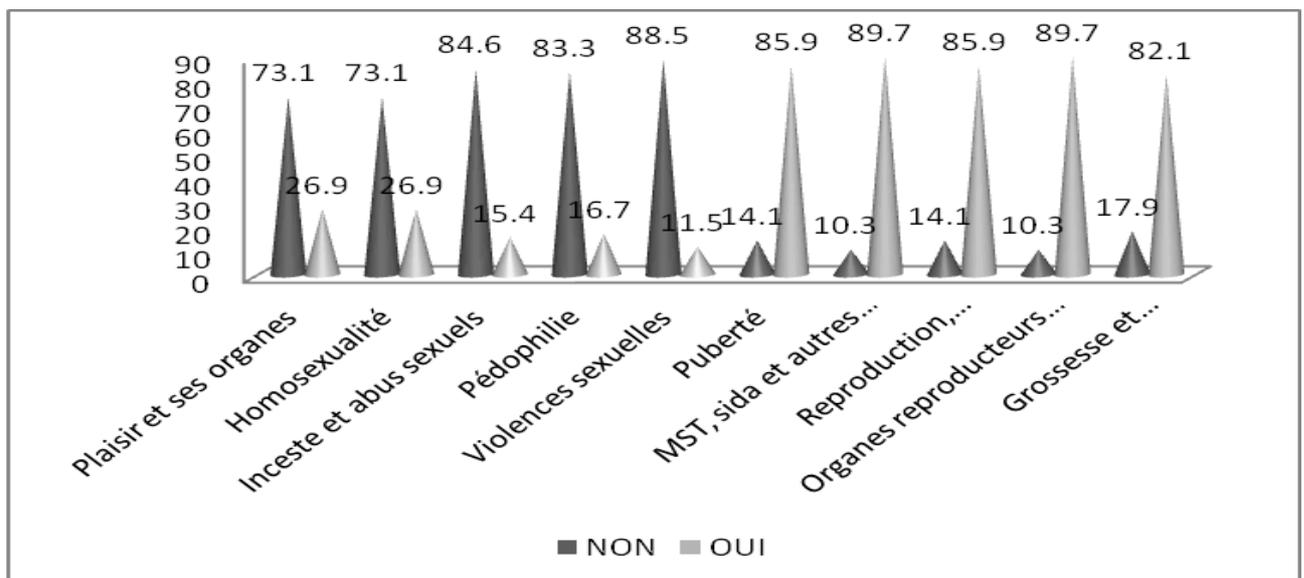


Figure 4. Pourcentages des établissements selon les thèmes abordés

Dans 67% des établissements qui n'implémentent pas l'ES, la grande majorité et dans certains cas, la totalité des élèves est musulmane, dans 20 % elle est chrétienne et 13 % de ces établissements sont publics. Ces résultats pourraient suggérer une éventuelle corrélation entre le statut de l'école et la place qu'elle accorde à l'ES. Cependant, une analyse discriminante (interclasses) différenciant les 104 établissements en fonction de leur statut, complétée par un test de randomisation, a montré que le paramètre « statut de l'école » n'est pas significativement corrélé à la diversité des réponses au questionnaire, y compris quant à l'implémentation de l'ES dans le cadre scolaire (figure 5).

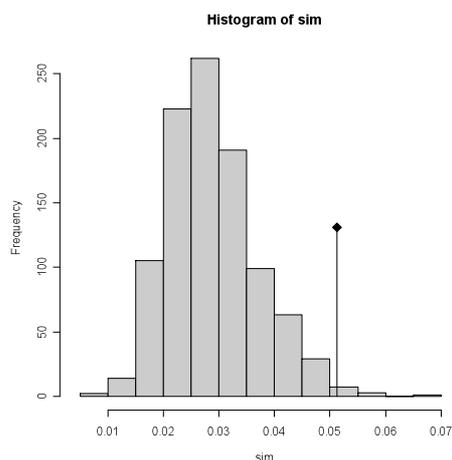


Figure 5. Test de Monte-Carlo sur l'analyse between question Q15 (104 établissements)

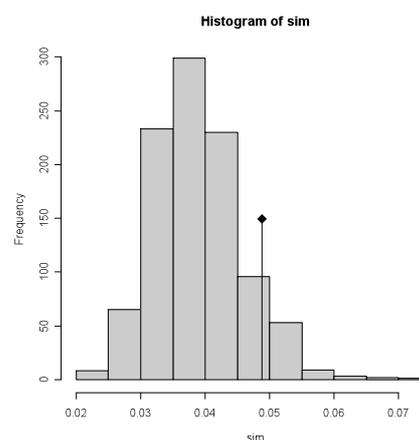


Figure 6. Test de Monte-Carlo sur l'analyse between question Q15 (78 établissements)

Cette analyse interclasses a été complétée par une seconde analyse pour voir si les thèmes traités dans les 78 établissements qui implémentent l'ES, se différencient en fonction du statut (chrétien, non confessionnel, musulman et public) des établissements : complétée par un test de Monte Carlo, cette analyse a montré que dans ce cas aussi les différences en fonction du statut de l'établissement ne sont pas significatives (figure 6). Le test de Chi2 sur la question Q2 (pour les 104 établissements enquêtés) : « Assurez-vous cet enseignement dans votre établissement ? », montre toutefois des différences significatives au seuil de 0,01 entre deux groupes d'écoles : les établissements musulmans et publics d'un côté, les chrétiens et les non confessionnels de l'autre. Mais la rareté et le seuil de ces quelques différences peut s'expliquer par un risque de second ordre.

Au total, il apparaît donc que la diversité des réponses au questionnaire n'est pas significativement corrélée au statut de l'établissement, elle dépend probablement aussi de la situation géographique de l'établissement et la composition de son effectif d'élèves (et d'enseignants). Effectivement, par exemple, tous les établissements chrétiens ne pratiquent pas l'ES et ceux qui le font ne sont pas tous d'accord sur les thèmes abordés ni sur les cadres et les personnes les plus appropriées pour le faire. Au sein d'une même religion, il peut y avoir une grande diversité d'opinions et de pratiques relatives à l'ES.

5. Conclusions

Plusieurs travaux ont montré le rôle primordial de l'école dans l'ES. Pour Delors et ses collaborateurs (1996), le secteur éducatif a un rôle capital à jouer en préparant les enfants et les jeunes à assumer leur fonction et leur responsabilité d'adulte. Cette importance réside d'une part dans le fait que les écoles ont, concrètement, les moyens d'être en contact répété et durable avec un grand nombre de jeunes de différents milieux (Gordon, 2008), d'autre part

dans le fait que les enfants âgés de 5 à 13 ans, en particulier, passent, dans la plupart des pays, un temps relativement long à l'école.

Notre étude a montré des points de vue convergents : refus majoritaire d'enseigner les relations sexuelles hors-mariage, l'homosexualité, le plaisir et la masturbation ; acceptation d'enseigner la grossesse, l'accouchement, la puberté, les IST, la reproduction. Mais elle a aussi mis en évidence une diversité de situations selon les établissements : sur le degré d'implémentation de l'ES, sur sa définition, sur les cadres et les personnes les plus appropriés pour la mettre en œuvre. Ce qui est un signe de la relative confusion qui règne actuellement au Liban sur l'implémentation de l'ES. Cependant cette diversité est sans corrélation significative avec le statut de l'établissement, ni avec aucun des autres paramètres contrôlés. Des analyses complémentaires s'avèrent donc nécessaires pour en mieux cerner l'origine. Les points de vue aussi bien convergents, que divergents, rendent très difficile l'élaboration d'un contenu commun à enseigner au Liban.

Bibliographie

Delors, J., Al Mufti, I., Amagi, I., Carneiro, R. et al. (1996). L'Éducation : un trésor est caché dedans. Rapport à l'UNESCO de la Commission internationale sur l'éducation pour le vingt et unième siècle. Paris: UNESCO.

Gordon, P. (2008). Review of sex, relationships and HIV education in schools. Paris : UNESCO.

Harfouch Z. & Clément P., (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.

Lebart, L., A. Morineau, & M. Piron. (1995). Statistique exploratoire multidimensionnelle. Dunod, Paris. Ministère de l'éducation nationale, circulaire n°95/M/99, décret n°10227/97.

Munoz F. & Clément P., (2007). Des méthodes statistiques originales pour analyser les conceptions d'enseignants de plusieurs pays à partir d'un questionnaire sur des questions vives In: Actes du Congrès AREF - Actualité de la Recherche en Education et en Formation, Strasbourg. (CD).

Munoz, F., Bogner F., Clément P. & Carvalho G.S. (2009). Teachers' conceptions of nature and environment in 16 countries. *Journal of Environmental Psychology*, 29: 407-413.

Pelège P., Picod C. (2006). *Eduquer à la sexualité, Un enjeu de société*. Dunod. Paris.

Yammine, (2008) - Impact de la religion sur les conceptions des enseignants libanais à propos de l'éducation à la sexualité. Université Senghor - Alexandrie Égypte.

Yammine, Khalil et Clément, (2007) - Rôle des pouvoirs sociopolitiques et religieux au Liban dans la suppression du chapitre de la reproduction humaine du manuel de biologie de la classe EB8. In Meeting IOSTE "Critical analysis of science textbooks". 7-10 février 2007, Hammamet-Tunisie.

The conceptual landscape: a new method to measure and to map the effect of instruction on secondary students' learning progress in evolution theory

Jörg Zabel, Universität Leipzig, Institut de Biologie, Didactique de la Biologie, Allemagne ; joerg.zabel@uni-leipzig.de

&

Harald Gropengiesse, Leibniz Universität Hannover, Faculté des Sciences Naturelles, Institut pour l'enseignement des sciences naturelles (IDN), Allemagne ; gropengiesser@biodidaktik.uni-hannover.de

Key words : evolution; secondary school; conceptual landscape; educational reconstruction; explanation

Abstract : The paper reports data from a naturalistic study about a learning progression of 13-year-old students in evolution theory. The methodology was based on the analysis of student texts. A group of 107 learners followed a teaching unit on Darwin's Theory of Natural Selection. At the beginning and end of the teaching sequence, the students wrote texts that explained an evolutionary phenomenon. Students' explanations for evolutionary change were analysed and categorized into nine different patterns. Contrasting these explanation patterns with the corresponding scientific conceptions resulted in five conceptual frontiers, each of them marking one major learning task. Using longitudinal data, we then assessed the conceptual development of all 107 participants. Thereby, the actual learning progression of the sample group could be visualized as learning trajectories on a conceptual landscape.

1. Biological Topic and Theoretical Background

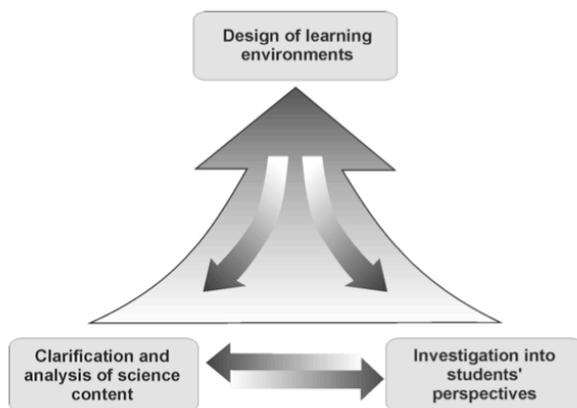
One and a half century ago, Charles Darwin formulated a compelling scientific argument for the theory of evolution by means of natural selection. From three facts about populations, he concluded that evolution can be explained by natural selection: 1) more offspring are produced than can possibly survive, 2) traits vary among individuals, leading to differential rates of survival and reproduction, and 3) trait differences are heritable. Over time, the offspring of parents that were better adapted to survive and reproduce in the environment will replace members of a population. This process creates and preserves adapted traits and, on the long run, species evolution.

New curricula in Germany underline the importance of Darwin's theory as fundamental for biology education. But we also know that evolution theory is a difficult topic to teach. Students' conceptions and learning difficulties in the field of evolution have been explored and described by several authors (Baumann et al. 2004, Weitzel 2006). Students tend to stick with their own, non-scientific explanations, especially teleological ones (e.g. Halldén 1988, Wandersee et al. 1995). Until now, there has been no comprehensive model to describe a learning progression in the field of evolution teaching in an empirically validated manner. The constructivist view on learning assumes that meaning cannot be transferred to the learners'

minds but is constructed individually. It is widely accepted that the learner's everyday conceptions play a crucial role in this process. However, quantitative studies on learning progression in specific biological topics tend not to be accurate enough on the level of student conceptions, because they often use paper-and-pencil tests with closed items, which do not allow students to express their own ideas. Also, they rarely provide longitudinal data on conceptual development. Qualitative studies, on the other hand, usually only encompass a small number of students in learning labs or other non-classroom settings. As a consequence, the results can inform generalized content-specific guidelines, but the methodology of these studies does not allow using them as a diagnostic tool in the classroom. Therefore, it is desirable to combine the constructivist approach that characterizes most qualitative studies with a diagnostic method that provides an overview of the present conceptions and their distribution in class-size, or even larger, group of learners. Also, the method should be able to assess and to depict learning progression on the conceptual level, in order to be a useful tool for the evaluation and further development of teaching units.

2. Methodological Framework

Our research design was inspired by the Model of Educational Reconstruction (MER, Kattmann, Duit, Gropengiesser & Komorek, 1995; 1997). The MER has been designed primarily as a frame for science education research and development. However, it also



provides significant guidance for planning science instruction in school practice. The MER consists of three closely interrelated components: (1) Clarification and analysis of science content, (2) Research on teaching and learning and (3) Design and evaluation of teaching and learning environments. The three components do not follow strictly upon one another but influence each other mutually. In our study, the teaching sequence on evolution theory was designed beforehand, based on literature and practical experience.

Figure 1. The closely interrelated components of the Model of Educational Reconstruction (MER)

3. Key objectives

The main objective of this investigation is a methodological one: to develop a method to assess the learners' preconceptions about evolution, as well as their actual learning progression during an evolution teaching unit, on a classroom scale. We intended to create a content-specific and empirically validated diagnostic tool to improve teaching and learning in the field of evolution theory. In case of success, the method may be applicable to other fields of study as well. The development of the model includes the following research questions:

- How do 13 year-old students explain evolutionary change before and after instruction in this field?
- What are the essential achievements and frontiers to be crossed on the conceptual map of evolution theory?
- What are the main learning trajectories of a large sample population on the conceptual level? Are there patterns, and if so, can they be linked to specific interventions or teaching strategies?

4. Research design

4.1. Instruction and data collection

The study was carried out in 2005 and involved five classes from three different high schools (*Gymnasium*), all situated in small towns in northern Germany. The sample encompassed a total of 107 lower secondary students (year 7, average age 13). All students followed a teaching sequence on evolution theory over a period of five weeks, about 10 lessons in all, designed according to the theory of conceptual change (Posner & Strike, 1992) and cognitive conflict (Duit & Treagust, 1998). The sequence had been tested in school and finally published (Giffhorn & Langlet, 2006). During this study, all students were taught by their usual biology teachers. In an initial phase, students were to explain whale evolution only at the base of their pre-instructional knowledge. Then, Lamarck's ideas were presented to them as a scientific theory of evolution without labelling it as historical. Most students felt confirmed in their preconceptions, conceiving evolution as a process of individual adaptation, initially triggered by environmental conditions and inherited to following generations. The students were then confronted with Weismann's experimental findings (Weismann, 1902) in order to shatter their belief of the inheritance of acquired traits and make them actively search for a new explanation for adaptation phenomena. Then their attention was directed towards the breeding of domestic animals. Darwin's Theory of Natural Selection was introduced and applied to various evolution phenomena.

Data were collected by a writing assignment at the beginning and end of a teaching sequence, in which the students were to explain the evolution of modern whales (Zabel, 2009, pp. 126-128). The phrasing of the assignment was identical in the pre- and post-test: "Write a text that explains how today's whales could have originated from the prehistoric land animals", and was illustrated with three naturalistic drawings: a contemporary blue whale and two extinct whale ancestors, one terrestrial and one semi-aquatic. In this way, we collected a total of 214 pre- and post-instructional texts from the 107 students of the sample group.

4.2. Data analysis and construction of the conceptual landscape

All texts were analysed for explanations for whale evolution, using Qualitative Content Analysis (Mayring, 2007). All explanations found in the students' texts were categorized into explanation patterns. In this categorization process already, according to the MER, the corresponding scientific conceptions were used for a mutual comparison. In this case, we could rely on Weitzel's (2006, pp. 41-79) thorough clarification of the concept of "adaptation", based on the Theories of evolution by Lamarck, Darwin and Mayr. Darwin (1872) and Mayr (1984) both explain adaptation phenomena predominantly by natural selection. The mutual comparison of student and scientific conceptions led to conceptual

frontiers, each of them marking one major learning task on the way towards a Darwinian explanation. We identified five key ideas of the Darwinian explanation, which appear as conceptual frontiers on the map (Fig. 2). Students' explanation patterns were placed in appropriate areas on the map. The first frontier to be trespassed consists of actually *explaining* instead of merely describing the evolutionary changes. An explanation is characterized by a causal mechanism, may it be scientific or not. Another frontier we found is to explain evolutionary changes by a causal mechanism instead of a teleological reason. Motives and reasons are much closer to the everyday intentional thinking pattern *Adaptation as an intentional act of individuals*, which several authors found to be a common pattern (*Denkfigur*) in students' conceptions (Baalmann et al., 2004; Weitzel, 2006). In contrast to many authors of earlier studies, Kampourakis & Zogza (2007a, 2007b) have emphasized the important difference between the historical scientific concept of Lamarckism and student conceptions. Those students explaining evolution at the individual level are to cross the frontier to an explanation that encompasses several generations. The fourth frontier marks the shift from any other causal mechanism to natural selection. However, close to the Darwinian explanation there is still an important frontier to cross: the one between a pattern that explains evolution by *deviance and natural selection* and the "target pattern" that implies a full variation concept. This frontier is meaningful, as the idea of *deviance and natural selection* still implies a norm from which a single individual differs. Thus, this idea is still compatible with typological thinking, whereas *variation and natural selection* implies that all individuals differ from each other, which is indispensable for the Darwinian explanation.

The conceptual development of all 107 participants was then assessed according to the explanations they used before and after the instruction. These longitudinal data were visualized as learning trajectories on a conceptual landscape (Fig. 3). By their thickness and the associated number, the arrows indicate how many learners changed from one explanation pattern to another. In total, these learning trajectories show the actual learning progression of the entire sample group. E.g., 14 of the 29 learners who had initially explained whale evolution by *Intentional adaptation of an individual or type* changed their explanation to *deviance and natural selection* after the instruction.

5. Findings

Before the instruction, we found a total number of 64 explanations in all 107 texts. In the post-test, this number rose to 121, as several students included more than one explanation in their texts. The analysis of the students' texts led to nine different patterns of explanations for evolutionary changes. E.g., the pattern *Environment causes evolutionary change* is characterized by the anchor example: „The blue whale's ancestor lived close to the seaside. As he came in contact with the water quite often, he developed webbed feet and a tail fin" (Fynn, 13 yrs.). Furthermore, we identified five conceptual frontiers on the map (Fig. 2). The first frontier, which was only crossed by 40% of the learners before the instruction, was to explain instead of merely describe the evolutionary changes. Another frontier we found is to explain evolutionary changes by a causal mechanism instead of a teleological reason. Students' explanation patterns were placed in appropriate areas on the map. Other pre-instructional explanation patterns were: *Evolution caused by need*, *Intentional adaptation of an individual or type*, *Intentional adaptation over generations*, *Usage of organs* and *Evolution through hybridization*.

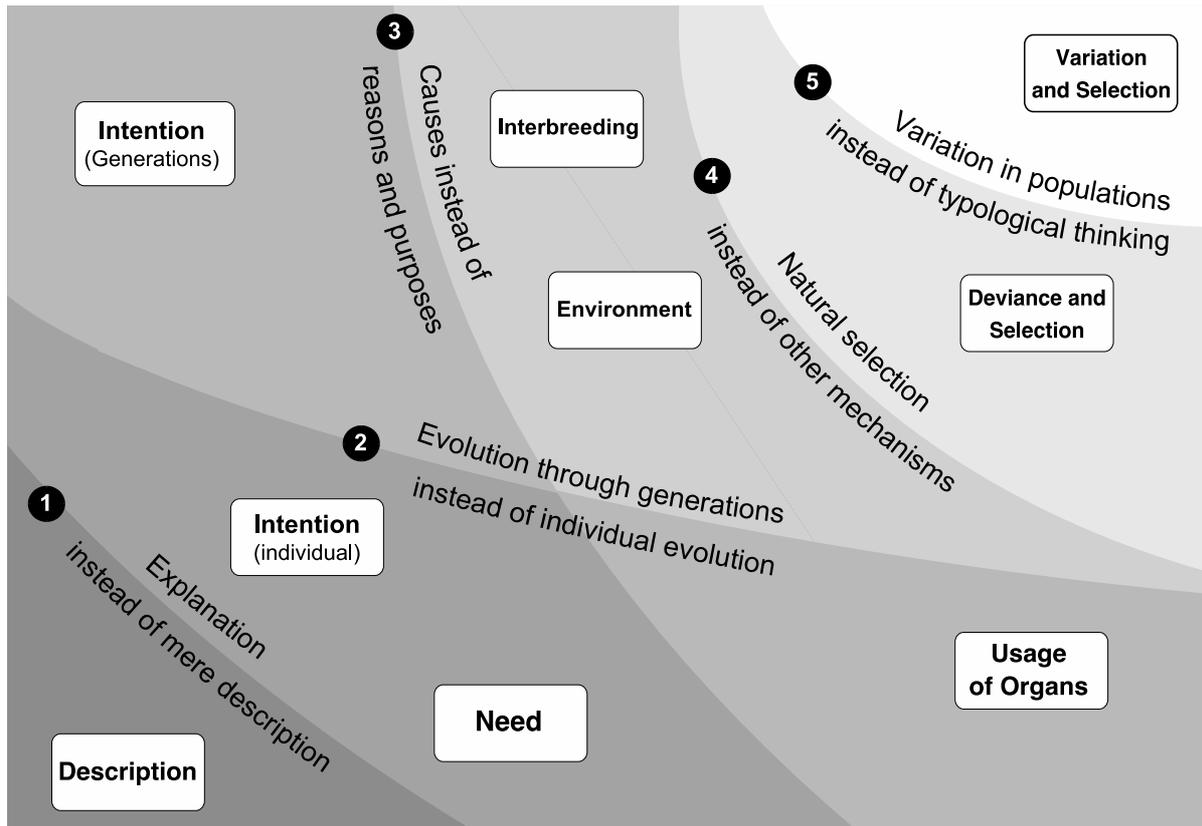


Figure 2. Darwin's conceptual landscape. *The squares indicate the explanation patterns found in students' pre- and post-instructional texts on whale evolution. The positions of the squares, as well as the areas and frontiers that structure the landscape, result from a mutual comparison between the explanation patterns and key ideas of Darwin's Theory of Natural Selection. This comparison is based on the Model of Educational Reconstruction (MER). The higher and the more on the right side an explanation is located on the landscape, the more scientifically adequate can it be judged, because it shares more common features with the "target" explanation for evolution, the Theory of Natural Selection.*

After the instruction, explanations based on natural selection were found in 40% of the post-instructional student texts. However, we found an important frontier between a pattern that explains evolution by *deviance and natural selection* and the "target pattern" that implies a real variation concept. Overall, the longitudinal data indicate that the learners took very different pathways in their learning process (Fig. 3). Apparently, learning evolution theory cannot be accurately described on a one-dimensional scale, but rather as an individual process where learners tend to leave the beaten track. Our results lay the foundation for the development of a content-specific diagnostic tool for evolution teaching, and they also encourage this method for other domains. In contrast to one-dimensional models of learning progression, the spatial representation, based on content-specific conceptual categories, appears to allow a more detailed insight into the process of conceptual reconstruction and the effect of instruction (Zabel & Gropengiesser 2011). E.g., the map indicates that in our instructional sequence, the strategy of cognitive conflict apparently misled learners towards the explanation pattern "Usage of Organs". The conceptual map allows evaluating and optimizing the learning environment, based on empirical data in "high resolution".

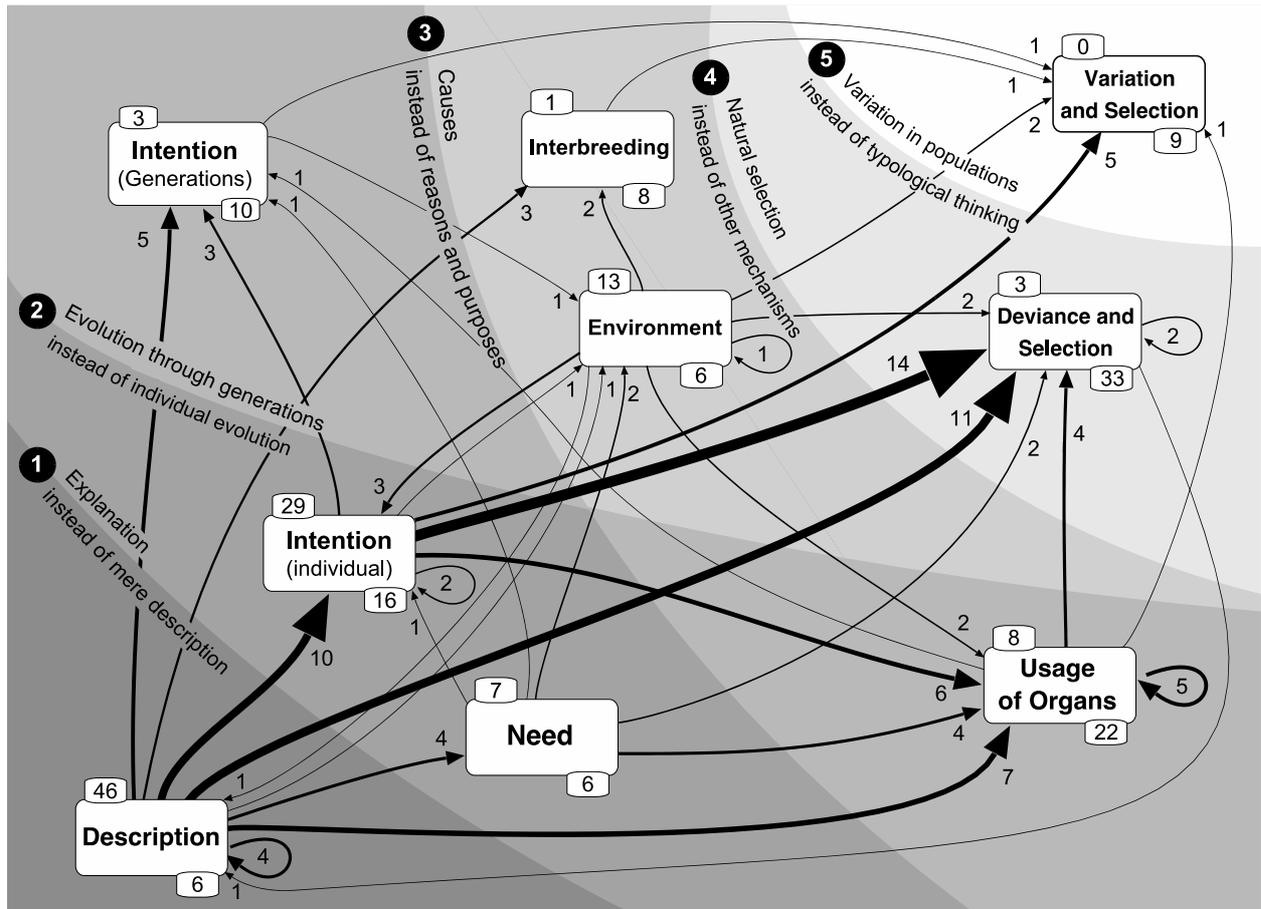


Figure 3. Learning progress of all 107 students. By their thickness and the associated number, the arrows indicate how many learners changed from one explanation pattern to another. The pre-instructional abundance of each pattern is marked on the left upper side of the square, the post-instructional one on the right lower side. Marginal deviations from the mathematical sums result from the fact that some of the student texts were characterized by more than one explanation pattern. Furthermore, the ten student texts coded with the category "single various explanations" are omitted in the diagram.

References

- Baalmann, W., Frerichs, V., Weitzel, H., Gropengiesser, H. & U. Kattmann (2004). Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* (10), 7-28.
- Darwin, C. (1872). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. 6th edn., London: John Murray.
- Duit, R. & D.F. Treagust (1998). Learning in science: From behaviorism towards social constructivism and beyond. In: Fraser, B.G. & K.G. Tobin (Eds.): *International Handbook of Science Education*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 3-25.
- Duit, R., Gropengiesser, H. & U. Kattmann (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: The Model of Educational Reconstruction. In H. Fischer (ed.), *Developing standards in research on science education. The ESERA Summer School 2004*. (p. 1-9). London: Taylor & Francis.

- Giffhorn, B., & Langlet, J. (2006). Einführung in die Selektionstheorie: So früh wie möglich! [Introduction to the Theory of Selection: As early as possible!] *Praxis der Naturwissenschaften Biologie*, 55(6), 6-15.
- Halldén, O. (1988). The evolution of the species: pupil perspectives and school perspectives. *Int. J. Sci. Educ.*, 1988, Vol. 10, No. 5, 541-552.
- Kampourakis, K., & Zogza, V. (2007a). Students' intuitive explanations of the causes of homologies and adaptations. *Science and Education* (online first article).
- Kampourakis, K., & Zogza, V. (2007b). Students' Preconceptions About Evolution: How Accurate is the Characterization as "Lamarckian" when Considering the History of Evolutionary Thought? *Science and Education*, 16(3-5), 393-422.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengiesser, H., & Komorek, M. (1995). A model of educational reconstruction. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), San Francisco, CA.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengiesser, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung [The model of educational reconstruction – a framework for science education research and development]. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3-18.
- Mayr, E. (1984). *Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Mayring, P. (2007). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim: Beltz.
- Posner, G.J. & K.A. Strike (1992). A Revisionist Theory of Conceptual Change. In: R.A. Duschl & R.J. Hamilton (Eds.): *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practise*. New York: State University of New York Press, 147-176.
- Wandersee, J., Good, R.G. & S.S. Demastes (1995). Forschung zum Unterricht über Evolution: Eine Bestandsaufnahme. [Research on evolution education. A stock-taking.] *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* (1), 43-54.
- Weitzel, H. (2006). *Biologie verstehen: Vorstellungen zu Anpassung*. [Understanding Biology: Conceptions of Adaptation.], Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- Weismann, A. (1902). *Vorträge über Descendenztheorie* [Lectures on the theory of descent]. 2. Band. Jena: Gustav Fischer.
- Zabel, J. (2009). *Biologie verstehen: Die Rolle der Narration beim Verstehen der Evolutionstheorie*. [Understanding Biology: The Role of Narrative in Understanding Evolution Theory], Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- Zabel, J. & Gropengiesser, H. (2011). Darwin's Mental Landscape: Mapping Students' Learning Progress in Evolution Theory. *Journal of Biological Education*. (45) 3, 143-149.

Présentation de posters

Équilibre et stabilité dans les systèmes commandés : difficultés d'élèves ingénieurs

Michael Canu, Univ. Paris Diderot-Paris 7, LDAR, EA 4344 ; Ecole des Mines de Nantes ; michael.canu@mines-nantes.fr

Cécile de Hosson, Univ. Paris Diderot-Paris 7, LDAR, EA 4344 ; cecile.dehosson@univ-paris-diderot.fr

&

Mauricio Duque, Universidad de Los Andes, Colombia ; maduque@uniandes.edu.co

Mots clés : équilibre, stabilité, mécanique, raisonnement étudiant, sciences de l'ingénieur

Résumé : Dans cette communication, nous présentons les résultats d'une étude portant sur la façon dont des élèves ingénieurs comprennent et mobilisent les notions d'équilibre et de stabilité qui sont au cœur des enseignements de l'automatique. L'appréhension de ces concepts s'appuie généralement sur l'étude d'exemples tirés de la mécanique newtonienne (pendule), et se voit associée à l'étude de systèmes spécifiques de l'automatique. Dans les cursus ingénieurs, équilibre et stabilité sont donc approchés par deux voies différentes, d'abord celle de la mécanique, puis celle de l'automatique, sans que soient explicitées les différences et les relations qui lient ces concepts d'un domaine où l'aspect statique domine, à l'autre, dans lequel les phénomènes considérés sont tous dynamiques et qui peut être source d'incompréhensions. Notre étude, basée sur l'analyse d'entretiens et de questionnaires, indique que la compréhension de ces notions est fortement perturbée lorsque les systèmes étudiés sont placés, par exemple, dans des référentiels en mouvement les uns par rapport aux autres. En particulier l'existence même de positions d'équilibre instable est remise en question par les étudiants.

1. Introduction

La recherche que nous conduisons vise à mettre à jour les difficultés qu'ont étudiants d'automatique en relation avec les concepts d'équilibre et de stabilité et à comprendre comment ils les appréhendent à la lumière de leurs connaissances antérieures, acquises essentiellement dans le cadre de la mécanique newtonienne. Nous allons donc dans un premier temps préciser le contexte général de cette étude, l'automatique, puis rapporter nos premières investigations (un recueil de conceptions), basées sur l'examen de quelques systèmes mécaniques libres et commandés - du point de vue de la mécanique uniquement - choisis pour leur exemplarité.

2. Le contexte

2.1. L'automatique

L'automatique fait partie de nombreux cursus d'ingénierie aussi bien dans les universités que dans les écoles d'ingénieurs.

Son introduction plus en amont dans la scolarité a lieu majoritairement en lycée d'enseignement professionnel - dans des filières très spécialisées comme MSMA¹²⁶ - et dans les classes préparatoires aux grandes écoles (filières SI). Mais on ne peut nier l'utilisation de concepts propres à cette discipline au collège lorsqu'il est question de la régulation de certaines substances présentes dans le corps ou même encore à l'école primaire avec l'introduction de problématiques de maintien de température dans une serre.

Cette partie des sciences de l'ingénieur, dont le champ d'application est très large, vise principalement la commande des systèmes¹²⁷. Elle en traite de nombreux aspects dont les principaux sont la régulation ou l'asservissement et la stabilisation en investiguant dans deux grands domaines : l'étude des modèles décrivant le fonctionnement des systèmes (la modélisation) et la fabrication du signal permettant de les piloter (la commande).

Dans ces deux aspects d'un même problème à résoudre pour l'automaticien, on voit apparaître les concepts clés d'*équilibre* (ou points d'équilibre) et de *stabilité*. Cette dernière notion étant importante aussi bien pour un système libre (dit en BO¹²⁸), le système souvent à l'origine de l'étude que pour un système commandé (dit en BF^{3*}), système en général final, produit des investigations de l'automaticien. La stabilisation d'un système mécanique, par exemple une fusée, autour d'une position d'équilibre instable « par nature¹²⁹ », est très souvent recherchée et réalisable sous certaines conditions. Ce concept est donc présent d'un bout à l'autre de la chaîne d'investigation et sert bien souvent de critère d'évaluation de la qualité d'un correcteur (partie du système qui fabrique le signal de commande).

Toutes ces étapes (modélisation, étude de la stabilité, etc) s'appuient sur des développements mathématiques principalement du domaine de l'algèbre linéaire.

2.2. Equilibre et stabilité en mécanique, problématique

Si l'on se restreint au domaine de la mécanique Newtonienne, l'équilibre peut se résumer dans un premier temps à l'état d'un système mécanique soumis à une somme d'efforts extérieurs nulle dans un référentiel donné, ce qui suppose une somme des forces nulle ainsi qu'une somme des moments de ces forces, elle aussi nulle.

Si l'on se réfère au *Dictionnaire de Physique* de J.P. Mathieu, A. Kastler et P. Fleury, cet état peut se constater pour un objet mobile ou immobile dans un référentiel inertiel (l'objet est soit au repos ou en mouvement rectiligne et uniforme) ; dans le cas d'un mobile dans un référentiel non inertiel, l'état d'équilibre du système sera constaté en incluant les forces d'inertie (pseudo-forces) au bilan des efforts extérieurs effectué dans le référentiel lié au mobile.

Concernant la stabilité, le même dictionnaire nous donne un critère opérationnel souvent connu des élèves : « l'équilibre est stable vis-à-vis d'une des variables d'action qui agissent

¹²⁶ Maintenance des systèmes mécaniques automatisés

¹²⁷ Système = objet physique ou conceptuel comportant une ou plusieurs entrée(s) et sortie(s)

^{128,3*} Boucle Ouverte : pas de retour entre une ou des sorties du système et une ou des entrées et Boucle Fermée : une information venant d'une ou plusieurs sorties du système est utilisée pour fabriquer le signal d'entrée.

¹²⁹ « Par nature » signifie ici libre, non commandé.

sur le système si une faible variation de cette variable ne produit qu'un faible changement dans le système, qui revient à son premier état lorsque la variable reprend sa valeur initiale ». Ce critère est facilement vérifié en cours de physique pour un système comme celui du pendule et on peut remarquer que c'est un critère « dynamique » dans le sens où il faut agir, même dans un jeu de pensée, sur le système pour le vérifier.

Il existe bien sûr différents autres critères pour ces concepts, essentiellement mathématiques, utilisés en physique ou en automatique, liés le plus souvent à des aspects énergétiques du système qui ne seront pas développés ici.

On sait que la notion d'équilibre en physique pose problème aux étudiants : dans le cadre de la statique, les étudiants comprennent difficilement l'action conjointe des forces et des moments dans l'état d'équilibre (Newcomer et al., 2008) et même dans le cas où ils connaissent leurs effets, ils appliquent les formules de l'une ou l'autre en fonction de leur efficacité à expliquer le phénomène observé. La prégnance de l'image de la balance pose aussi des difficultés aux élèves pour concevoir un état d'équilibre en situation non horizontale (Ortiz et al., 2005) indiquant par la même leur incompréhension de son fonctionnement. En d'autres termes, l'équilibre n'est pas nécessairement associé à un état décrit par une somme de forces et une somme de moments nulle dans un référentiel inertiel donné. En outre, cette notion est généralement introduite par l'étude quasi-systématique de systèmes statiques (Abanese et al. 1998). Ces difficultés sont renforcées par le fait que dès les cours d'introduction à l'automatique, le lien avec les objets matériels concrets s'estompent et les considérations théoriques mathématiques prennent le devant de la scène. De par leur formation (classes préparatoires, licences, etc.) les élèves ingénieurs sont habitués à ces techniques et aspects calculatoires qui sont bien souvent les seules évaluées. Mais au-delà de ce registre mathématique, comment comprennent-ils ces notions de stabilité et d'équilibre ?

Si quelques études existent à propos de la notion d'équilibre dans un cadre statique, celles s'intéressant à la compréhension des états stables et instables, *a fortiori* dans un contexte dynamique, paraissent inexistantes. Nous avons donc cherché dans un premier temps à mettre à l'épreuve la façon dont les élèves ingénieurs mobilisent et expliquent les notions d'équilibre et de stabilité en leur proposant des systèmes mécaniques moins standards que ceux utilisés dans le cadre académique, et en leur demandant de prévoir l'influence de l'entraînement sur les états d'équilibre du système étudié dans des référentiel en mouvement les uns par rapport aux autres.

3. Conséquences pour les ingénieurs

3.1. Le recueil des données

Traditionnellement, ce sont les systèmes mécaniques qui servent de point d'entrée, de systèmes "exemples", on pourrait même dire de "cas d'école" pour l'introduction des concepts qui nous intéressent ici, et ce dès le lycée. Plus particulièrement, il en est un, le pendule, qui permet de les introduire de façon simple - en apparence - et "visuelle" (voir programme de la classe de terminale de la série scientifique, JO du 4-8-2001), c'est pourquoi il servira de base pour les exemples présentés aux élèves.

La première partie de notre travail a consisté à faire expliciter étudiants ces liens à travers une série d'entretiens individuels à visée exploratoire. Nous avons interrogé 5 élèves ingénieurs de niveau L3, avant enseignement de l'automatique, pendant approximativement 30 minutes à

partir d'un protocole semi-directif concernant les deux notions d'équilibre et de stabilité, combinées de différentes manières dans des situations non statiques.

3.1.1. Le protocole

Il s'agissait pour les étudiants d'énoncer trois critères permettant de juger de l'état d'équilibre d'un système, de sa caractérisation en termes de stabilité et finalement de se prononcer sur l'immobilité de celui-ci (cette dernière question devant permettre d'amener l'étudiant à caractériser le déplacement du chariot en termes de vitesse et d'accélération pour l'aider à formaliser un bilan de forces par exemple sur un schéma).

L'accent a été mis sur l'énonciation de critères non mathématiques car on sait qu'ils masquent bien souvent les incompréhensions des étudiants. Par exemple, pour l'aspect stabilité, nous avons privilégié un énoncé du type : "lorsque que l'on écarte le système de cette position, s'il y revient de lui même au bout d'un certain temps, c'est une position d'équilibre stable" pour le cas de la stabilité (définition très proche de celle donnée dans le dictionnaire de Physique cité précédemment) plutôt qu'un critère relatif à un calcul d'extrémum de l'énergie potentielle, critère largement utilisé en classe préparatoire ou à l'université (Valentin, 2004).

Le protocole suivi consistait ensuite, après l'énonciation du critère, à vérifier son application dans plusieurs cas choisis pour leurs caractéristiques relativement à nos objectifs d'explicitation. Le premier système, un pendule pesant, permettait, du fait de sa proximité avec les étudiants et de sa simplicité, de vérifier le caractère opératoire du critère cité. Le deuxième exemple était constitué du système précédent mais dans un wagon, ce qui introduit une situation d'entraînement, donc une combinaison inédite à ce stade de leur scolarité mais souvent utilisée en application des cours de commande des systèmes (avec un chariot en lieu et place du wagon). Cette situation permettant de questionner l'étudiant sur les changements prévisibles des états d'équilibre du pendule en fonction des caractéristiques du déplacement du wagon.

Les deux autres situations proposées n'utilisaient pas le pendule : l'une d'elle avait pour objet d'étude une fusée au décollage et permettait d'introduire une direction de déplacement différente, verticale, et un fort aspect contre-intuitif car faisant intervenir un système piloté dont la version libre ne s'observe que très rarement (en effet, lors de la phase de décollage, avant que les effets de pression de l'air sur l'empennage situé à la base de la fusée n'interviennent, elle ne tient son cap que par l'action d'un système de correction). Le dernier exemple proposé aux élèves concernait une girouette, système mécanique simple mais d'une part, horizontal, et d'autre part dont le comportement ne fait pas intervenir l'attraction gravitationnelle contrairement aux autres (on prévoyait aussi des discussions quant aux conditions d'utilisation d'un critère relatif à l'énergie potentielle, mais elles n'ont pas eu lieu).

3.1.2. Les résultats

Les données recueillies lors de ces entretiens n'ont pas fait l'objet d'un traitement systématique du type analyse lexicale ou sémantique. Nous nous en sommes servis comme d'un ensemble dans lequel nous étions susceptibles d'observer des régularités. Lorsqu'elles ont été relevées, nous les avons mises en perspective avec les résultats trouvés dans des enquêtes antérieures.

Des éléments déjà observés, comme l'importance de l'expérience sensible, ont bien entendu été consignés et les éléments nouveaux nous ont servi de base pour une étude plus poussée. Ce fut le cas pour un aspect concernant le système constitué du pendule dans un wagon, plusieurs élèves ayant, en effet, prédit soit la disparition de la position d'équilibre instable, soit son maintien de manière inchangé, lors d'un

déplacement uniformément accéléré du chariot alors même qu'ils avaient correctement prédit l'évolution de la position d'équilibre stable. Comment et pourquoi les élèves n'appliquent-ils pas un principe de symétrie dans ce cas ? Quelle est pour eux l'influence du mouvement du wagon par rapport au sol sur l'existence de ces positions d'équilibre ?

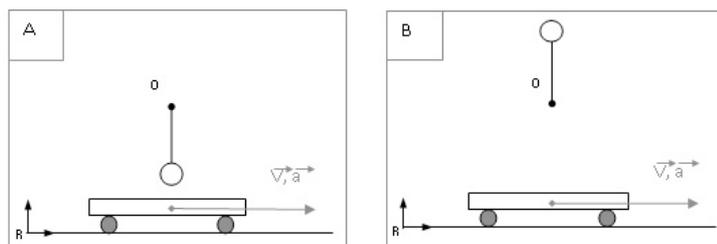
3.2. Les questionnaires

Afin de chercher des éléments de réponses à ces questions, nous avons conçu un questionnaire papier-crayon mettant en situation d'équilibres stable et instable un pendule placé sur un chariot mobile. Le système considéré apparaît donc relativement plus proche d'un cas d'étude de l'enseignement supérieur que le système étudié lors des entretiens. Nous avons interrogés 97 étudiants de niveau L3 (en excluant ceux ayant participé à l'entretien) et obtenu 85 réponses exploitables.

	A1	A2	A4	A5	B1	B2	B4	B5
% Oui	23,53	86,27	86,27	13,73	45,10	49,02	62,75	21,57
% Non	76,47	13,73	13,73	74,51	52,94	49,02	37,25	74,51
% NSP	0,00	0,00	0,00	11,76	1,96	1,96	0,00	3,92

Tableau 1.

Le questionnaire portait sur l'analyse de deux situations A et B présentées sur deux schémas (ci-contre) et accompagnés chacun par un jeu de 4 affirmations sur lesquelles les élèves devaient se prononcer en cochant une case « Oui », « Non » ou « NSP » (ne sait pas). Dans chaque groupe d'affirmations, 2 concernaient la vitesse du chariot et 2 son accélération par rapport au sol (ci-dessous).



Avant cela, une brève introduction : « On considère un pendule pesant rigide - dont la tige est de masse négligeable - dont l'axe de rotation, O, est entraîné par un chariot se déplaçant sur des rails rectilignes et horizontaux avec une vitesse V_c et une accélération a_c par rapport au référentiel terrestre R » servait de point de départ à la question.

A1	La vitesse du chariot par rapport au sol doit être nulle
A2	La vitesse du chariot par rapport au sol doit être constante
A4	L'accélération du chariot par rapport au sol doit être nulle
A5	L'accélération du chariot par rapport au sol doit être constante

Les deux situations étant présentées comme des situations d'équilibre, la position du pendule implique soit l'immobilité du chariot, soit un mouvement (rectiligne) uniforme de celui-ci. Ces situations ont été déclinées dans une seconde partie qui demandait aux étudiants de se prononcer sur l'état de stabilité d'un pendule placé dans un chariot animé d'un mouvement uniformément accéléré. L'analyse des réponses des étudiants aux questions de cette seconde partie est en cours et sera présentée lors des Rencontres.

3.2.1. Les résultats

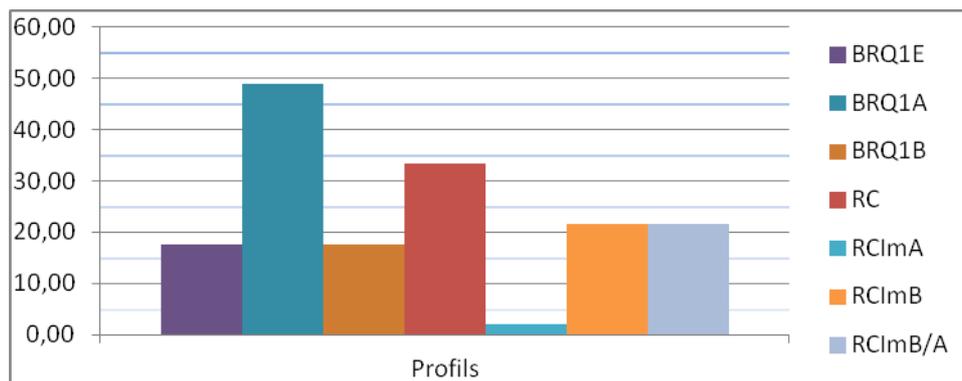
Sur le tableau 1, sont présentées les données brutes. Ce tableau correspond au traitement des réponses de la première situation : les cases colorées représentent les bonnes réponses. Nous

avons récolté 51 questionnaires et l'on peut d'ores et déjà remarquer le faible taux de réponse « NSP ».

Les différences s'observent essentiellement entre les affirmations A1, B1 et A2, B2. Ces résultats sont cependant trop peu explicites pour tirer des interprétations quant à leurs causes.

3.2.2. Les profils

Nous avons donc décidé de regrouper les réponses pour un même individu dans une sorte de « patron » de réponse que nous allons appeler *profil*. Pour les bonnes réponses (en couleur dans le tableau ci-dessus), nous pouvons donc définir un profil et comptabiliser les effectifs d'élèves dans ce profil et comparer ces chiffres pour les deux questions.



Les profils les plus intéressants au sens de « porteurs d'information » sont les profils RC (Réponses Cohérentes, en rouge dans le graphique) car ils indiquent le nombre d'étudiants qui traitent de la même façon les cas A et B (soit par une bonne, soit par une mauvaise réponse), RCImA (Immobilité du chariot en A, en jaune), RCImB (Immobilité du chariot en B, en cyan), indiquant que les élèves imposent l'immobilité du chariot respectivement en A ou en B et enfin RCImB/A qui regroupe les élèves ayant changé d'avis entre A et B.

3.3.3. Interprétation

La différence entre les réponses aux deux situations a confirmé la tendance observée lors de entretiens concernant les difficultés à penser la position d'équilibre instable comme étant produite par les mêmes conditions que la position stable (21% des élèves interrogés ont changés d'avis entre les situations A et B sur ce point).

4. Discussion

Les entretiens ont montrés que les élèves combinent difficilement les notions d'équilibre avec le déplacement du système étudié. Il semble qu'au-delà de l'équilibre, ils fassent une distinction entre les conditions qui donnent naissance à une position d'équilibre stable et celles qui donnent une position instable. Par l'utilisation d'autres questionnaires combinant des situations d'équilibre stables et instables non verticales, nous sommes aussi parvenus à identifier des cas pour lesquels les étudiants utilisaient des « stratégies explicatives » différentes dépendant de la configuration du système (par exemple l'application d'un bilan de force). Ceci fait écho aux difficultés qu'ont les étudiants pour expliquer les situations comportant des d'objets en mouvement les uns par rapport aux autres (Saltiel, 1978 ; Viennot, 1979).

Nous avons pu mettre finalement en lumière la difficulté, pour les élèves concernés par notre étude, à expliquer les causes de certains équilibres lorsqu'ils ne comprenaient pas l'étape précédente qui avait donné naissance à cet état (Albanese et al., 1998). Comment les aider ? L'utilisation d'exemples statiques faisant toujours intervenir le poids ne renforce-t-il pas ces incompréhensions ? Il ne fait pas de doute que la même terminologie utilisée dans toutes ces disciplines avec des sens parfois très différents participe à l'incompréhension des concepts en jeu.

Bibliographie

- Albanese, A., Cesar, M., Neves, D., & Vicentini, M. (1998). Students' ideas about equilibrium, friction and dissipation. *Acta Scientiarum*, 20(4), 461-472.
- Newcomer, L. J., & Steif, S. P. (2008). Student Thinking about Static Equilibrium: Insights from Written Explanations to a Concept Question. *Journal of Engineering Education*, 481-490.
- Ortiz, L. G., Heron, P. R. L., & Shaffer, P. S. (2005). Student understanding of static equilibrium: Predicting and accounting for balancing. *American Journal of Physics*, 73(6), 545. doi:10.1119/1.1862640
- Saltiel, E. (1978). *Concepts cinématiques et raisonnements naturels: étude de la compréhension des changements de référentiels galiléens par les étudiants en sciences*. Université Paris IV.
- Valentin, L. (2004). *L'univers mécanique*, Paris : Hermann.
- Viennot, L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, Paris : Hermann.

Didactique et représentations sociales de concepts scientifiques : le cas de l'« atome » chez des collégiens et lycéens

Konstantinos Grivopoulos, Univ. de Provence Aix-Marseille, IUFM ; UMR P3 ADEF, Univ. Provence, Ens de Lyon – Ifé ; kgrivop@gmail.com

Mots clés : Atome, Représentations Sociales, Questions Socialement Vives

Résumé : Cette communication porte sur les représentations sociales de l'« atome », concept clé en sciences physiques, chez des collégiens et lycéens français et grecs (4^e de Collège, 2^{de} et Terminales de l'enseignement général). La recherche vise à détecter, d'un point de vue didactique, le contenu et l'organisation du champ sémantique que les élèves attribuent à ce concept scientifique. Le cadre théorique s'articule autour de la théorie du noyau central et de la didactique des Questions Socialement Vives. Suivant l'analyse prototypique et catégorielle pour le traitement des données du questionnaire, notre hypothèse générale (d'existence d'un noyau représentationnel bien distinct et des éléments périphériques l'entourant) s'avère vérifiée dans le cadre des limites de cette recherche.

1. Introduction

Dans la présente recherche, issue d'une thèse en cours, nous nous intéressons aux représentations sociales que des élèves de l'enseignement secondaire général en France et en Grèce se font du concept d'atome. Notre démarche qui croise l'approche structurale des représentations sociales (théorie du noyau central), en psychologie sociale, et la didactique des Questions Socialement Vives, met en place une méthodologie triangulaire. Nous nous bornons, ici, à la présentation de quelques-uns des résultats du questionnaire.

2. Représentations sociales et didactique des sciences

Le concept de représentations sociales (désormais notées RS) désigne, d'après Moscovici (1984, p. 360), « une manière d'interpréter le monde et de penser notre réalité quotidienne, une forme de connaissance sociale que la personne se construit plus ou moins consciemment à partir de ce qu'elle est, de ce qu'elle a été et de ce qu'elle projette et qui guide son comportement. » Selon Jodelet (1989, p. 53), les RS constituent une « forme de connaissance socialement élaborée et partagée [savoir de sens commun], ayant une visée pratique et concourant à la construction d'une vision de la réalité commune à un ensemble social. » En outre, pour la théorie du noyau central (Abric et *al.*), une RS s'organise en un double système sociocognitif, central et périphérique. Le noyau (système central) - qui se constitue suivant des critères propres à l'individu lui-même et au groupe d'appartenance, propres à l'objet, ainsi qu'à la situation globale - est l'élément fondamental de la représentation ; son repérage permet l'étude comparative des RS. Il assure sa signification, sa cohésion et sa stabilité, tandis que la périphérie constitue sa partie la plus accessible, la plus concrète et, à la fois, la plus mouvante, car plus sensible au contexte immédiat du moment. À ce titre, le système

périphérique permet l'intégration d'éléments nouveaux dans la représentation, ce qui conduit à sa transformation par le truchement d'un mécanisme d'incompatibilité entre le noyau central et la réalité vécue.

Mais, comment appréhender le rapport des RS à la didactique ? L'école offre un lieu privilégié où la connaissance des représentations de ses acteurs (élèves, enseignants, parents, décideurs) permet de mieux comprendre le fonctionnement de l'institution et, notamment, de la situation d'enseignement. L'articulation, donc, entre les RS et la didactique est « centrée sur les rapports aux savoirs dans des situations d'enseignement et d'apprentissage. » (Legardez, 2004, p. 648). L'auteur en distingue théoriquement trois différents genres : a) les savoirs de référence (y compris des pratiques sociales et professionnelles des acteurs sociaux hors de l'école) ; b) les savoirs sociaux, qui constituent les savoirs préalables aux nouveaux apprentissages, ce que Legardez qualifie de « systèmes de représentations-connaissances » (*i.e.* systèmes représentationnels et savoirs scolaires antérieurs entremêlés) ; c) les savoirs scolaires construits par la noosphère.

La plupart des objets d'enseignement scientifique sont, explicitement ou implicitement, liés à des questions socialement vives (désormais notées QSV) qui contribuent à l'élaboration des ces systèmes de représentations-connaissances. Au-delà, Legardez et Alpe (2001) définissent les « questions scientifiques socialement vives » comme étant vives dans la société et suscitant des débats - auxquels les acteurs de la situation didactique ne peuvent échapper - dans la production des savoirs savants de référence et des pratiques sociales. À titre illustratif, le développement durable qui déclenche un débat écologique, les biotechnologies et nanotechnologies qui nourrissent le débat bioéthique, la chimie alimentaire, l'électricité à partir de l'atome et ainsi de suite, constituent des QSV en rapport avec l'enseignement des sciences. Dans ces conditions, « un processus représentationnel est susceptible d'être activé en classe [...] au sein duquel on peut repérer des éléments de savoirs scolaires et, éventuellement, les éléments d'une représentation sociale. » (Legardez, 2004, p. 653). La schématisation suivante, quoique simplificatrice, pourrait illustrer la position des QSV dans l'enseignement scientifique :

QSV à usage scolaire + systèmes de représentations-connaissances (connaissances scolaires antérieures + RS) → conceptions, représentations, modèles de raisonnement alternatifs (au sens de Johsua & Dupin) → transposition didactique → épistémologie scientifique

Pour Johsua et Dupin 1993, ces schèmes cognitifs, dotés d'une logique et d'une cohérence propres, peuvent fonctionner comme des sortes de modèles théoriques alternatifs des modèles canoniques. Plus personnalisés et plus conscients que les RS (lesquelles sont élaborées de manière collective et plutôt inconsciente), ils manifestent une solidité, une persévérance et une plasticité remarquables durant l'apprentissage, soulignent les auteurs. Dans la mesure où les RS ont été conçues pour étudier comment l'épistémologie scientifique se convertisse-t-elle en épistémologie populaire, notre objectif d'adapter cet outil de la psychosociologie vers le champ didactique est fondé sur la légitimité d'aborder la pensée des sujets (des élèves, en l'occurrence) autour d'objets scientifiques et d'explorer la façon dont la science fournit le so-disant sens commun de concepts, de modèles et de raisonnements (Moscovici et Hewstone, 1984). L'objet d'« atome » fait, en effet, appel à des savoirs scientifiques (physique et chimie notamment) et des savoirs de sens commun (ère atomique, bombe atomique, désagrégation d'atome, centrales, radioactivité, Atomium, ...), dès lors l'articulation entre connaissance scientifique et connaissance naïve devient centrale.

Or, les chercheurs sont unanimes pour considérer que les RS coexistent, de manière concurrentielle, avec les savoirs en voie de construction. Plus les enseignants prennent souci

de les sonder et de repérer ainsi les obstacles consubstantiels, plus ils favorisent les processus de modifications et transformations et, en dernier ressort, les conditions d'apprentissage.

3. Les concepts scientifiques sont-ils objets de représentations sociales ?

La question de l'existence de RS des concepts scientifiques, en contexte scolaire, est étroitement liée aux conditions génériques suivantes, nécessaires, selon Moscovici, à l'apparition d'un processus représentationnel :

- la « dispersion de l'information » : la transmission indirecte des savoirs autour de l'objet de représentation par diverses sources provoquera l'apparition de nombreuses distorsions ;
- la « localisation » : les sujets focalisent sur des versants différents de l'objet n'ayant pas une vision globale de ses caractéristiques ;
- la « pression à l'inférence » : l'individu ressent la nécessité de développer des discours cohérents à propos de l'objet, de se positionner vis-à-vis de l'objet (même s'il le connaît mal), dans sa réalité sociale.

Depuis les travaux pionniers de Moscovici, Moliner 1993 estime que ces conditions sont insuffisantes pour donner naissance à un phénomène représentationnel. Il introduit alors les cinq critères suivants, qui permettent de décider de la pertinence ou non d'une démarche de recherche de RS : l'objet social, le groupe, l'enjeu, la dynamique sociale et l'absence d'orthodoxie. Plus précisément :

- 1/ l'objet social doit correspondre à une classe d'objets, autrement dit, qu'il soit polymorphe ;
- 2/ l'existence d'un groupe spécifique est, soit « structurelle » (intimement liée à l'objet de la représentation, puisque c'est l'objet qui a fondé le groupe), soit « conjoncturelle » (groupes préexistants confrontés à un objet nouveau et problématique) ;
- 3/ les enjeux associés à l'objet, constitués par l'objet au sein du groupe, se distinguent, pour Moliner, en : i) enjeux identitaires (identité psychosociale des membres du groupe) ; ii) enjeux de cohésion sociale du groupe (dont le maintien est mis en question dès l'apparition de l'objet) ;
- 4/ la dynamique sociale répercute à l'interaction sociale entre des groupes différents dans laquelle l'objet revêt une certaine utilité sociale et correspond à un besoin des groupes considérés ;
- 5/ l'orthodoxie, enfin, annonce l'élaboration idéologique ou scientifique au sein d'une instance régulatrice qui contrôle la diffusion et la validité des informations relatives à l'objet.

À la suite des conditions données par Moscovici et des critères fournis par Moliner, nous tentons maintenant d'argumenter sur la pertinence de notre objet de référence¹³⁰. Au premier abord, on peut admettre qu'il y a dispersion de l'information concernant l'atome, par exemple via les médias, les musées, etc. La condition de la localisation est aussi accomplie : d'aucuns

¹³⁰ Nous postulons qu'en principe, la plupart des concepts scientifiques (objets de connaissance, donc œuvres culturelles) - tels énergie, force, gravité, radiation, molécule, Big bang, états de la matière, ondes sismiques, lave volcanique, trou d'ozone, écosystème, cycle de l'eau, hérédité, sélection naturelle, chaîne alimentaire, pluie acide, combustion, temps géologique, ... - sont à l'origine de phénomènes représentationnels, à l'exception, peut-être, de ceux de nature technique, comme une loi de physique mathématisée, la formule d'une réaction d'oxydoréduction, la compression adiabatique, etc.

voient dans l'atome une source d'énergie inépuisable, ou la capacité de manipuler la matière à l'échelle atomique, tandis que d'autres focalisent sur les retombées néfastes de l'énergie nucléaire. Quant à la pression à l'inférence, les élèves développent des pratiques communes en contexte scolaire : ils décrivent l'atome, ils résolvent des exercices, ils en font des dessins (boules de Dalton, configuration électronique, système planétaire, nuage électronique, modèles moléculaires, ...). À ce titre, l'atome est un objet de représentation complexe et polymorphe pour un groupe d'élèves dont l'existence est conjoncturelle. De plus, des enjeux identitaires (comme le choix d'une option scientifique ou non, à partir de la 2^{de}) et de cohérence sociale influent, certainement, auprès des élèves, leur faisant retenir l'une ou l'autre des interprétations épistémologiques de l'atome : daltonienne, modèles de Thomson, de Rutherford, de Bohr, de Schrödinger. Par ailleurs, le concept d'atome « circule » entre divers disciplines, classes et thématiques (moteur à hydrogène, centrales nucléaires, marché de l'uranium, armes atomiques, nanotechnologies, nouveaux matériaux, cristallographie, philosophie des sciences, etc.), ce qui peut activer la dynamique sociale. Enfin, bien qu'il existe une instance normative (le système d'enseignement), l'élaboration idéologique n'y est que partielle car l'élève est une personne multi-institutionnelle, assujettie à beaucoup d'autres institutions hors de l'école : milieu familial socioculturel, médias, école, milieu idéologique, etc. Ceci laisse prétendre à l'application, même limitée, du dernier critère de Moliner. Par conséquent, semble-t-il légitime de dépouiller la RS de l'objet d'atome chez des élèves, telle qu'elle émerge des processus coopérés au sein de différentes collectivités institutionnelles.

4. Questions de recherche et méthodologie

Quel est le contenu des systèmes central et périphérique de la représentation étudiée ? Est-il possible d'identifier des éléments dichotomiques et des éléments contrastés formant, pour ces derniers et d'après Vergès, la « zone potentielle de changements » ? Pour apporter des réponses, nous nous appuyons sur l'analyse prototypique et catégorielle, une méthode associative type.

Notre échantillon est composé de 616 élèves français et grecs - issus des départements de Bouche du Rhône et d'Étoloacarnania (situé face au Péloponnèse) - et repartis comme suit, en fonction des variables indépendantes (origine, sexe, niveau scolaire) :

- 303 élèves français (140 garçons, 163 filles) et 313 grecs (141 garçons, 172 filles) ;
- 206 en 4^e de Collège (grade 8), non encore enseignés sur l'atome, 206 lycéens de 2^{de} (grade 10) et 204 lycéens de Terminale (grade 12) dont 67 en TL, 71 en TES et 66 en TS.

Nous nous attachons, par la suite, à circonscrire deux des questions du questionnaire de l'enquête définitive (analysées avec les logiciels EVOC 2005© et SIMI 2000©) :

La première, dite question d'évocation hiérarchisée, demande aux élèves de citer au plus cinq mots relatifs à l'« atome » et de les hiérarchiser, d'après un critère d'importance. Les mots de ce corpus se regroupent sémantiquement autour de quelques notions prototypiques dont les fréquences de citation entrecroisées avec les rangs moyens d'apparition fournissent la structuration suivante :

Rang moyen faible

Rang moyen fort

Fréquence forte	Case 1 zone du noyau central	Case 2 1 ^{re} périphérie (proche)
Fréquence faible	Case 3 éléments contrastés	Case 4 2 ^e périphérie (lointaine)

La question de caractérisation contient une liste de quinze propositions associées à l'objet de la RS, à la suite d'une pré-enquête. Il est demandé de choisir les cinq qui, du point de vue de l'élève, caractérisent le mieux l'atome, puis les cinq les moins caractéristiques. La distribution des résultats - fréquence des modalités « moins caractéristique », « non choisi » et « plus caractéristique » - varie pour chaque item et peut être caractérisée par la forme de la courbe :

courbe en J : elle donne le profil des éléments centraux de la RS ;

courbe en cloche : elle correspond aux éléments périphériques ou sans rapport avec la RS ;

courbe en U : elle témoigne d'une dichotomie de la population à l'égard de l'item examiné, donc, d'une différenciation sur son degré de centralité dans la RS.

Nous formulons l'hypothèse que la représentation aura une structure type : un système central bien défini et autour de lui ses éléments périphériques. De surcroît, nous postulons que chez les sujets, l'atome sera, certes, désigné par ses constituants, mais qu'il est aussi doté des attributs et / ou des propriétés empruntés à d'autres structures de la matière inerte ou vivante.

5. Résultats et discussion des résultats

D'après un survol de la littérature sur la question, les élèves confondent l'atome avec d'autres constituants de la matière (Harrison & Treagust, 1996 ; Charlet-Brehelin, 1998) dont les propriétés macroscopiques sont censées caractériser les atomes eux-mêmes¹³¹ (De Vos, 1987 ; Anderson, 1990). Le modèle planétaire d'atome domine parmi les élèves, qui, pas rarement, forment des modèles hybrides qui leur sont propres, (Mashadi, 1996 ; Charlet-Brehelin, 1998 ; Olsen, 2002 ; Cokelez & Dumon, 2005 ; Harrison & Treagust, 1996 et 2000).

Nous nous bornons à présenter ici globalement les résultats de notre recherche sans aborder la discussion de l'impact des variables considérées sur le phénomène représentationnel. Les mots produits par les élèves à la première question, dite d'évocation hiérarchisée, sont regroupés en dix-sept notions prototypiques, réparties dans les quadrants du tableau 1, ci-dessous. Il en ressort que les termes « noyau », « molécule », « chimie » et « échelle » composent le noyau central de la représentation. À remarquer, d'une part, l'émergence d'une conjonction entre les deux concepts d'atome et de molécule, chez les sujets, et, d'autre part, l'apparition, à peine dans la périphérie proche, des particules subatomiques (les constituants d'atome), puis, d'induits se relevant de la modélisation atomique, ainsi que de citations sous le label de « vivant », ce que notre hypothèse a anticipé. Les éléments de la case 3 sont

¹³¹ L'admission que la description au niveau microscopique se déduit de l'observation macroscopique est qualifiée d'obstacle réaliste.

ambigus et contradictoires, à savoir, de saillance majoritaire sur le rang et minoritaire sur la fréquence. Avec ceux de la case 2, ils servent au repérage d'une évolution future de la RS en lui déséquilibrant l'organisation. Susceptibles d'entrer dans le noyau central, ils procurent une action privilégiée, comme, par exemple, le terme « physique » qui pourrait renforcer l'interdisciplinarité concernant l'« atome ». Ces éléments peuvent, également, témoigner de l'existence d'un sous-groupe porteur d'une représentation différente : effectivement, le sous-groupe derrière le « social » se retrouve parmi les petits grecs¹³², alors que le terme « base structurale » semble exprimer la propension de quelques-uns vers la doctrine de « monoconstitution¹³³ », l'intuition d'une Nature érigée en principe d'explication général, à pu dire Bachelard.

La distribution des résultats issus de la deuxième question démontre que les propositions considérées comme plus ou moins centrales dans la RS (courbe en J), sont les suivantes (cf. graphe 1 : occurrences par modalité) : « l'atome, c'est le composant de tout » ; « l'atome contient de l'énergie » ; « il est indivisible » ; « l'atome est composé d'autres constituants¹³⁴ » et « l'atome est formé par des molécules ». Cette dernière affirmation, donnant une courbe quasi-J, peut éclairer ce couplage d'atome - molécule : il s'agit d'un obstacle du genre « l'atome dans la molécule ou l'inverse ? », qui, pensons-nous, se trouve emboîté dans un autre concernant la classification de la matière¹³⁵. Au contraire, des propositions, comme « l'atome, c'est la molécule », « l'espace entre les étoiles est plein d'atomes », « tous les atomes sont identiques, tous pareils » et « l'atome s'est créé sur Terre », elles se situent en périphérie (cf. graphe 2). Elles servent à baliser la signification, la portée de l'objet représenté. Enfin, à l'égard des propositions « bombe atomique » et « il est rond », surgissent deux sous-groupes opposés (cf. graphe 3) sur le degré de centralité de ces items.

En guide de conclusion, pour l'ensemble des élèves, l'atome est une entité microscopique indivisible, qui se caractérise par un noyau. Il compose toute chose et il contient de l'énergie. En rapport étroit (néanmoins, problématique) avec la molécule, il fait notamment partie de la chimie.

fréquence f	rang moyen RM	
	RM faible ($\leq 2,6$)	RM fort ($> 2,6$)
f élevée ¹³⁶ f ≥ 120	Case 1 molécule (264 / 2,3) noyau (232 / 2,1) chimie (181 / 2,6) échelle (148 / 2,6)	Case 2 électron (243 / 2,8) savants-science (228 / 2,8) modélisation (227 / 3,0) proton (183 / 2,9) neutron (177 / 3,4) matière (166 / 2,7) nucléaire (161 / 2,9) vivant (139 / 2,7)
f faible f < 120	Case 3 physique (70 / 2,6) base structurale (57 / 2,2) social (35 / 2,5)	Case 4 charge électrique (65 / 2,8) ion (56 / 3,1)

¹³² En grec, le mot « atome » a une connotation sociale : c'est aussi l'individu, la personne.

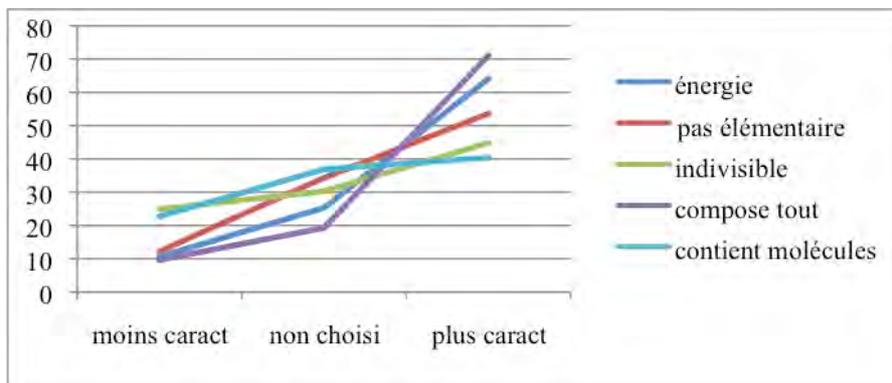
¹³³ Nous entendons par ce néologisme, l'idée (obstacle) que l'atome est la seule unité structurale de toute chose ; de ce fait, il y a des atomes d'eau, de sucre, de sel, de verre, etc. (cf. note de bas de page 6).

¹³⁴ Cette phrase contredit la précédente avec laquelle coexiste dans le noyau. Les deux sont liées à l'obstacle physicaliste : attribuer aux objets du réel modélisé les propriétés des objets physiques chargés de représenter les objets du modèle (atome, p. ex. signifie insécable, indivisible, propriété du modèle daltonien).

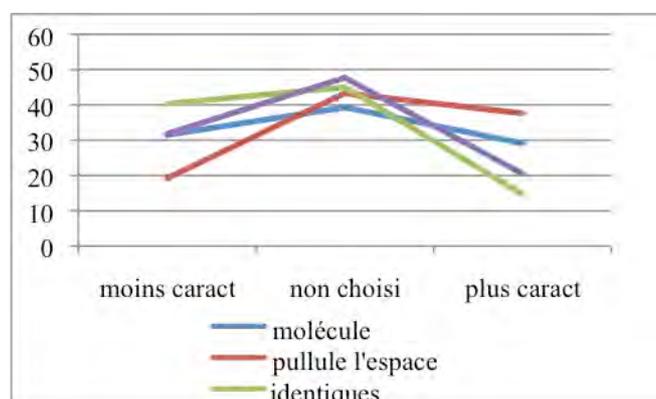
¹³⁵ La plus petite partie d'un élément chimique est l'atome. La molécule constitue, en chimie, l'unité structurale des corps purs moléculaires (p. ex. le dihydrogène, l'ozone, etc.) ou des composés (l'eau, le méthane, etc.), à l'exclusion des corps cristallins et des complexes. Des atomes identiques ou différents, liés chimiquement entre eux, composent les molécules.

Tableau 1. Structure de la représentation de l'atome

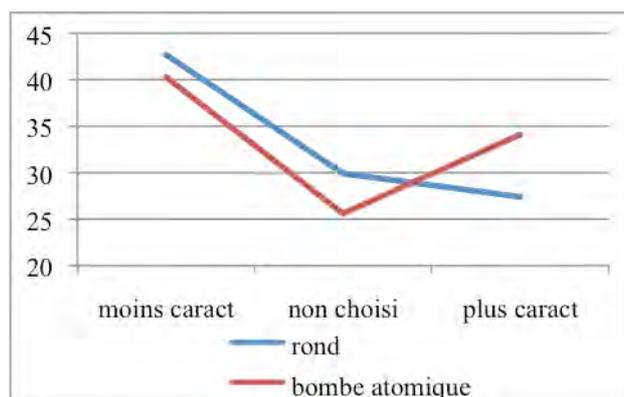
(en parenthèse, la fréquence en valeur absolue [occurrences sur 2632], suivie du rang moyen d'apparition)



Graph 1. Éléments centraux (% des scores par modalité)



Graph 2. Éléments périphériques (% des scores par modalité)



Graph 3. Éléments contrastés (% des scores par modalité)

¹³⁶ À l'heure actuelle, il n'existe pas de calcul spécifique pour déterminer le seuil de la fréquence parue dans le tableau 1, une lecture qualitative des résultats doit permettre de décider, en fonction de la nature de l'objet représenté, des traits du groupe ciblé, etc. Pourtant, le calcul du seuil binomial - effectué à l'ensemble des mots induits, *i.e.* avant leur regroupement - indique si un mot a été produit par un nombre significatif d'individus et permet de calculer, ensuite, la fréquence critique. Celle-ci constitue un fil conducteur pour la fréquence « élevée » et « faible » du tableau 1.

6. Conclusion

L'ensemble des résultats présentés souligne le caractère heuristique de l'outil des représentations sociales dans l'étude de la perception, par les élèves, du concept d'atome. Étudier un système représentationnel semble être d'autant plus intéressant, qu'il permet à la fois de révéler certains aspects erronés de l'objet en question, susceptibles de se transformer en obstacles didactiques, et de cibler des pistes d'intervention didactiques, lors du travail de transposition didactique des concepts scientifiques.

Bibliographie

- Abric, J. C. (2003). *Méthodes d'étude des représentations sociales*. Ramonville Saint-Agne : érès.
- Chevallard, Y. & Johsua, M.A. (1991). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Chevallard, Y. (2002, juin). Approche anthropologique du rapport au savoir et didactique des mathématiques [version électronique]. *Communication présentée aux 3es Journées d'étude franco-québécoises*, Paris. Récupéré le 31 août 2011 du site personnel d'Y. Chevallard : http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php?id_article=62
- Jodelet, D. (1989). Représentations sociales : un domaine en expansion. In D. Jodelet (Ed.), *Les représentations sociales* (chap. 1, p. 47-78). Paris : Presses Universitaires de France.
- Johsua, S. & Dupin, J.J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Legardez, A. (2004). L'utilisation de l'analyse des représentations sociales dans une perspective didactique : L'exemple de questions économiques. *Revue des sciences de l'éducation*, 30(3), 647-665.
- Legardez, A. & Alpe, Y. (2001, septembre). La construction des objets d'enseignements scolaires sur des questions socialement vives : problématisation, stratégies didactiques et circulations des savoirs, In *Actes du quatrième Congrès AECSE Actualité de la recherche en éducation et formation*, Lille.
- Moliner, P. (1993). Cinq questions à propos des représentations sociales. *Cahiers internationaux de psychologie sociale*, 20, 5-14.
- Moscovici, S. (1984). *Psychologie Sociale*. Paris : Presses Universitaires de France.

7^{ème} rencontres scientifiques de l'ARDiST

Bordeaux les 14 – 15 - 16 mars 2012

Organisées par



Avec le soutien de



Mairie de Bordeaux



Laboratoire LACES – EA 4140

