RENCONTRES SCIENTIFIQUES UNIVERSITAIRES

SHERBROOKE MONTPELLIER

6-7-8 OCTOBRE À SHERBROOKE 2010

La classe de sciences, mathématiques et technologies comme objet d'étude : quels problématiques, cadres de références et méthodologies et pour quels résultats?

ACTES DE COLLOQUE

Sous la direction de
Abdelkrim Hasni et Hassane Squalli, CREAS, Université de Sherbrooke
Alain Bronner et Marie-Thérèse Nicolas, Université Montpellier 2

CREAS
Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences
Université de Sherbrooke

iufm Institut Universitaire de Formation des Maîtres
ume

LIRDEF
Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique Education et Formation

La classe de sciences, mathématiques et technologies comme objet d'étude : quelles problématiques, cadres de références et méthodologies et pour quels résultats?

Actes de colloque

Troisièmes Journées Sherbrooke-Montpellier
6 au 8 octobre 2010

Sous la direction de

Abdelkrim Hasni et Hassane Squalli, CREAS, Université de Sherbrooke

Alain Bronner et Marie-Thérèse Nicolas, Université Montpellier 2

Mise en pages

Caroline Fortin, CREAS, Université de Sherbrooke

© CREAS (Université de Sherbrooke) – LIRDEF (Université Montpellier 2), 2011

TABLE DES MATIÈRES

L'ENSEIGNEMENT ET L'APPRENTISSAGE DE LA DIFFUSION ET DE L'OSMOSE AU SECONDAIRE : ÉTUDE DE CAS ___ **4**
ABDELKRIM HASNI, PATRICK ROY, SERGE FRANC ET NANCY DUMAIS

UN CADRE THÉORIQUE ET MÉTHODOLOGIQUE POUR ANALYSER LE TRAVAIL DU PROFESSEUR DE MATHÉMATIQUES DANS LA CLASSE ___ **26**
ALAIN BRONNER

ANALYSE DE PRATIQUES D'ENSEIGNANTS : EXEMPLE DE LA MESURE ___ **42**
PATRICIA MARCHAND ET MARIE-PIER MORIN

UN MODÈLE POUR L'ÉDUCATION À LA BIODIVERSITÉ À L'ÉCOLE PRIMAIRE : LES RELATIONS AFFECTS/SAVOIRS SCIENTIFIQUES CONCERNANT LES ARTHROPODES TERRESTRES ___ **58**
SERGE FRANC, MARIE-THÉRÈSE NICOLAS ET ABDELKRIM HASNI

LES DÉCALAGES ENTRE LE POTENTIEL DE LA TÂCHE MATHÉMATIQUE ET LES ATTENTES DE L'ENSEIGNANT : DES IMPLICITES À DÉCODER POUR L'ÉLÈVE ___ **75**
LAURENT THEIS ET CLAUDINE MARY

LA PRISE EN COMPTE DES ÉMOTIONS ET COMPÉTENCES ÉMOTIONNELLES EN CLASSE DE MATHÉMATIQUES ___ **90**
BÉNÉDICTE GENDRON

ÉTUDE CLINIQUE DE LA CLASSE DE MATHÉMATIQUES EN FRANCE : UNE POSTURE PARTICULIÈRE DU CHERCHEUR POUR IDENTIFIER DES « PROBLÈMES DE LA PROFESSION ». ___ **108**
MIRÈNE LARGUIER

L'ENSEIGNEMENT DE LA TECHNOLOGIE AU SECONDAIRE : ANALYSE D'UN COURS SUR L'APPRENTISSAGE DU SCHÉMA DE PRINCIPE ___ **131**
FATIMA BOUSADRA, ABDELKRIM HASNI, DOMINIQUE LEFEBVRE ET JEAN-MARC DROUET

L'ENSEIGNEMENT DE L'ESPACE DANS DEUX CONTEXTES DIFFÉRENTS D'APPRENTISSAGE : EN CLASSES DE SCIENCES ET DE MATHÉMATIQUES ___ **159**
VALÉRIE MUNIER, PATRICIA MARCHAND ET HÉLÈNE MERLE

ENSEIGNEMENT DE LA MÉDECINE ET PENSÉE COMPLEXE. L'EXEMPLE DE *SOWA RIGPA* (MÉDECINE TIBÉTAINE OU MÉDECINE AMCHI) ___ **174**
MARIE-THÉRÈSE NICOLAS, CLAUDE CAUSSIDIER, CHRISTIAN REYNAUD ET DANIEL FAVRE

ANALYSE DU POTENTIEL INTERDISCIPLINAIRE DE SITUATIONS D'APPRENTISSAGE CONÇUES PAR DES ENSEIGNANTS DE MATHÉMATIQUES ET DE SCIENCE ___ **194**
HASSANE SQUALLI ET GENEVIÈVE BARABÉ

L'ENSEIGNEMENT ET L'APPRENTISSAGE DE LA DIFFUSION ET DE L'OSMOSE AU SECONDAIRE : ÉTUDE DE CAS

Abdelkrim Hasni, Patrick Roy, Serge Franc et Nancy Dumais
CREAS, Université de Sherbrooke

Introduction

Au Québec, comme c'est le cas d'autres programmes ailleurs, la diffusion et l'osmose font partie des phénomènes biologiques à faire apprendre aux élèves. Ce contenu est prescrit particulièrement au premier cycle du secondaire[1] (MELS, 2004).

Plusieurs recherches montrent cependant que l'apprentissage de ces phénomènes pose de grands défis à l'école. La plupart de celles-ci s'inscrivent dans deux principales orientations : a) l'étude des conceptions que les élèves ont de ces phénomènes; b) la proposition de modes d'intervention visant à favoriser le changement de ces conceptions.

Les études portant sur les conceptions des élèves et la compréhension qu'ils ont des phénomènes de la diffusion et de l'osmose sont de loin celles qui prédominent (Exemples : Cooke, Carter et Wiebe, 2008; Friedler, Amir et Tamir, 1985, 1987; Market, Cowan et Cavallo, 1994; Johnstone et Mahmoud, 1980; Kelly et Odom, 1997; Marek, 1986; Odom, 1995; Odom et Barrow, 1995; Odom et Settlage, 1994; Rundgren et Tibell, 2010; Simson et Marek, 1988; Westbrook et Marek, 1991; Zukerman, 1993, 1994).

Dans ces recherches, on souligne qu'à plusieurs niveaux scolaires, les élèves ont des difficultés importantes à comprendre ces phénomènes ou ont des conceptions inadéquates[2] à leur égard. À titre d'exemple, l'étude réalisée par Friedler *et al.* (1987) montre que les élèves du secondaire ont de la difficulté à comprendre la relation entre l'équilibre dynamique (avec des concentrations différentes de part et d'autre de la membrane) et l'osmose dans les cellules des plantes ainsi que la relation entre les quantités du solvant et du soluté, d'une part, et la concentration, d'autre part. Odom (1995) fait des constats comparables auprès d'étudiants universitaires. Son étude, basée sur le développement et l'administration d'un outil diagnostic, le DODT (*The diffusion and Osmosis Dioagnostic Test*), a permis d'identifier cinq principaux domaines dans lesquels se classent une vingtaine de conceptions inadéquates sur l'osmose et la diffusion : 1) les particules et la nature aléatoire de leur mouvement; 2) la concentration et la tonicité; 3) l'influence des forces vitales; 4) le processus de diffusion; 5) le processus d'osmose en tant que tel. Pour interpréter les résultats obtenus dans

[1] Enfants d'âge de 12 à 14 ans.

[2] Dans cet article, l'expression « conceptions inadéquates » renvoie aux idées des élèves qui diffèrent de celles qui sont généralement acceptées par la communauté scientifique. Selon les auteurs, on les désigne par "misconceptions" (Fisher, 1985; Odom, 1995), "alternative conceptions" (Arnaudin et Mintzes, 1985), "preconceptions" (Gallegos, Jerezano et Flores, 1994), etc.

cette étude, l'auteur pointe du doigt l'accent mis dans l'enseignement non pas sur la compréhension des concepts de diffusion et d'osmose, mais plutôt sur l'acquisition des faits.

D'une manière générale, plusieurs conceptions inadéquates de ces deux phénomènes et des concepts qui leur sont associés ont été identifiées par les études des auteurs cités (Friedler *et al.*, 1987); Market *et al.,*1994; Odom, 1995; Odom et Barrow, 1995; Rundgren et Tibell, 2010; Westbrook et Marek, 1991). Parmi ces conceptions, nous pouvons citer les suivantes :

- Lors de la diffusion, les molécules (d'un colorant, par exemple) arrêtent de se déplacer lorsque l'équilibre de concentration est atteint. Il en est de même entre deux milieux de concentrations différentes jusqu'à l'obtention de l'isotonie;
- La diffusion est associée à la volonté des molécules du soluté d'occuper l'espace libre (vision anthropomorphique);
- C'est la quantité d'eau des deux côtés de la membrane et non pas la concentration qui est responsable de l'osmose;
- L'eau se déplace pour égaliser les concentrations des deux côtés de la membrane (vision anthropomorphique);
- La pression hydrostatique doit être égale des deux côtés de la membrane une fois l'équilibre atteint;
- La quantité de l'eau doit être égale de part et d'autre de la membrane à l'équilibre;
- L'eau ne peut pas traverser dans le sens inverse du gradient de la pression;

En outre, la structure de la membrane en bicouche lipidique, sa fluidité et son rôle dans les phénomènes de diffusion et d'osmose et sont peu comprises.

Par ailleurs, ces études démontrent aussi à quel point les étudiants n'arrivent pas à comprendre et à apprécier la signification contextuelle de ces phénomènes en biologie (Johnston et Mahmoud, 1980; Murray, 1983; Friedler *et al.*, 1987; Westbrook et Marek, 1991; Zuckerman, 1993; Marek *et al.*, 1994; Odom et Settlage, 1994, Odom et Barrow, 1995, Zuckerman, 1995).

Toujours en lien avec cette orientation de recherche, certains auteurs ont voulu démontrer que les élèves qui ont une meilleure compréhension des deux concepts sont capables de faire de meilleures explications des phénomènes observés qui leur sont rattachés. Ainsi, l'étude de Cooke *et al.* (2008) a permis de conclure que les élèves qui ont un niveau d'acquisition élevé du phénomène du transport cellulaire (incluant le transport transmembranaire) interprètent mieux les graphiques qui représentent ce phénomène. Zuckerman (1994) a montré que les élèves qui ont une meilleure compréhension de l'osmose parviennent mieux à résoudre des problèmes scientifiques associés au phénomène.

La deuxième orientation dans laquelle s'inscrivent les recherches sur la diffusion et l'osmose est en lien avec la proposition de modes d'intervention visant à changer les conceptions des élèves (Christianson et Fisher, 1999; Concannon et Brown, 2008; Lawson, 2000; Market *et al.*, 1994; Hohenshell et Hand, 2006; Matoussi et Simonneaux, 2007; Odom et Kelly, 2001; Rundgren et Tibell, 2010; Sanger, Brecheisen et Hynek, 2001; Tekkaya, 2003). Ces études traitent majoritairement de l'effet de la modélisation physique (la visualisation) des phénomènes sur l'apprentissage des élèves. C'est le cas de l'étude de Rundgren et Tibell

(2010) qui considèrent que les images, les diagrammes et les autres formes de visualisation comme les animations jouent un rôle important dans les apprentissages en biologie moléculaire et, par conséquent, des phénomènes considérés. En recourant à une recherche auprès d'élèves de secondaire et d'université, ils ont montré que l'utilisation de ces outils permet aux élèves une meilleure appropriation des savoirs en lien, entre autres, avec la structure de la membrane et son caractère sélectif ainsi que le comportement des molécules lors des échanges transmembranaires.

Sanger *et al.* (2001), comme la plupart des auteurs qui se sont intéressés à cette question, ont considéré le rôle de l'animation informatique dans la compréhension de la diffusion et de l'osmose. Après avoir été exposés à ces animations, les élèves qui ont participé à l'étude étaient moins nombreux à penser que les molécules arrêtent de bouger lorsque l'équilibre est atteint. Certaines de ces études, comme celle de Sanger *et al.* (*Ibid.*), soulignent cependant que l'animation risque de renforcer certaines conceptions inadéquates chez les élèves. Dans le même sens, la recherche de Matoussi et Simonneaux (2007) a permis de rappeler que, malgré son intérêt, l'utilisation d'un Cédérom sur la « cellule animale » pour l'étude des échanges cellulaires a été la source de nombreuses difficultés pour les élèves. Ces auteurs proposent la nécessité de mettre en place des stratégies didactiques permettant de remédier à ces difficultés. Lewalter (2003) de son côté, tout en soutenant l'importance des animations dans la visualisation des processus de diffusion et d'osmose dans l'espace, rappelle que dans plusieurs cas, des images pourraient être suffisantes.

Toujours en lien avec cette deuxième orientation, d'autres auteurs proposent, sans nécessairement étudier leurs effets en classe, des modes d'enseignement basés sur l'investigation scientifique (Concannon et Brown, 2008; Lawson, 2000) ou sur les techniques favorisant le changement conceptuel, comme le recours aux cartes conceptuelles (Tekkaya, 2003), afin de permettre aux élèves de développer un meilleur apprentissage des phénomènes de diffusion et d'osmose.

Tekkaya (2003) souligne avec regret le peu d'études portant sur les modes d'intervention visant le changement des conceptions des élèves : « Although the need to identify students' misconceptions concerning diffusion and osmosis concepts has been widely expressed in science education literature, there are few studies on how these misconceptions can be treated » (p. 6). Par ailleurs, nous pouvons ajouter qu'outre leur nombre limité, celles-ci se sont intéressées davantage à des outils (informatiques ou non) qu'à des approches d'enseignement et d'apprentissage propres aux sciences. Par ailleurs, les études recensées ne sont pas intéressées à ce qui se passe dans une salle de classe lorsqu'il s'agit de l'enseignement et de l'apprentissage de la diffusion et de l'osmose. C'est sous cet angle que nous souhaitons apporter notre contribution au débat en nous intéressant à la question suivante : comment les phénomènes de diffusion et d'osmose sont-ils abordés dans les pratiques d'enseignement au secondaire?

2. Cadre d'analyse : les pratiques d'enseignement en sciences

Les résultats présentés dans ce texte s'inscrivent dans le cadre des recherches que nous menons actuellement sur les pratiques d'enseignement, que nous distinguons, avec d'autres auteurs (Altet, 2001, 2002; Lenoir et Vanhulle, 2006), des pratiques enseignantes. La pratique enseignante englobe l'ensemble des activités reliées à la fonction enseignante, incluant la pratique d'enseignement et d'autres tâches qui se déroulent en dehors de la classe, durant le temps scolaire (la pratique de travail collectif avec les collègues, l'encadrement

des élèves dans la cour de l'école, etc.) ou à l'extérieur (la pratique d'échanges avec les parents, les pratiques de partenariat, etc.) (Altet, 2001). Quant à la pratique d'enseignement, elle renvoie à cet ensemble d'activités qui s'organisent autour du temps de classe, et qui peuvent être décrites par trois phases interdépendantes : préactive, interactive et postactive (Altet, 2002; Bru et Talbot, 2001).

De manière spécifique, du point de vue de la didactique, nos analyses des pratiques permettent de considérer quatre principales dimensions (Hasni *et al.,* 2009; Hasni *et al.*, 2005), comme l'illustre la figure 1.

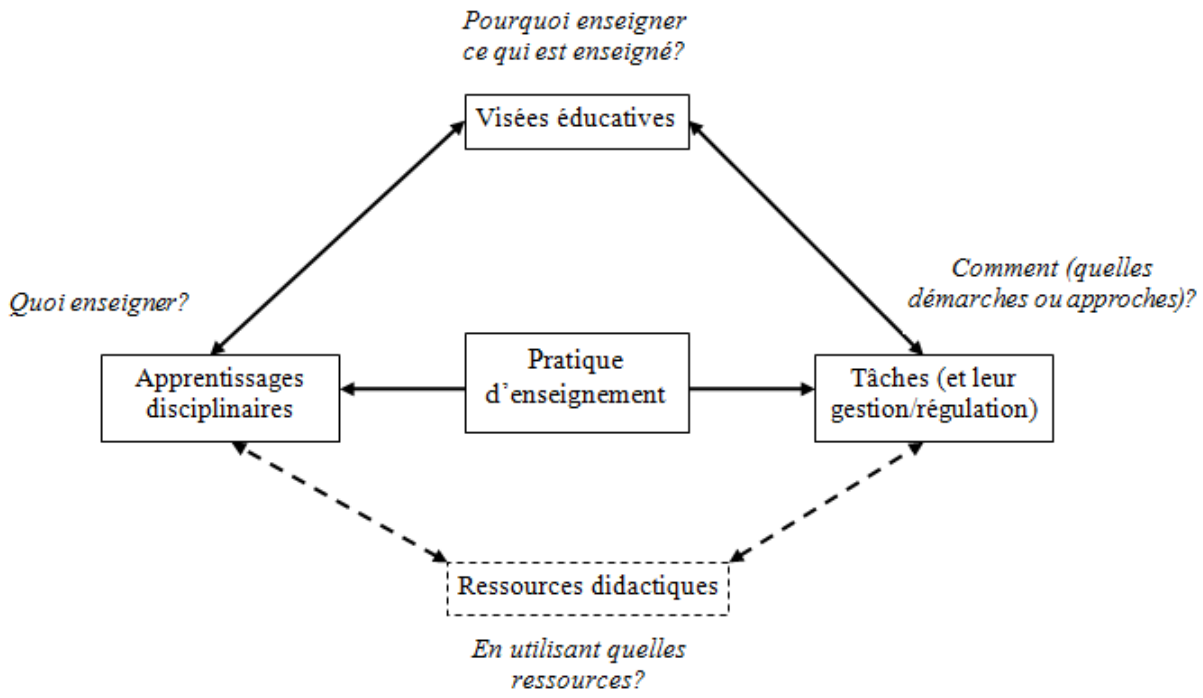


Figure 1. Principales dimensions didactiques considérées dans l'analyse des pratiques d'enseignement

2.1 Le *quoi* enseigner

Le quoi enseigner renvoie aux contenus que l'enseignant souhaite faire apprendre aux élèves dans le cours en question. Ces contenus peuvent être disciplinaires (concepts, habiletés, démarches, etc.) ou non disciplinaires (travail d'équipe, communication, etc.). Au regard des savoirs disciplinaires, et en considérant l'objet d'étude qui nous concerne de manière spécifique ici, il s'agit notamment de situer le discours qui circule dans la classe sur la diffusion et l'osmose par rapport aux savoirs scientifiquement admis, tout en tenant compte des conceptions des élèves, précédemment invoquées.

Dans ces analyses, la compréhension visée de ces deux phénomènes ne se manifeste pas uniquement lors de l'énonciation des définitions formelles, mais tout au long du cours à travers les énoncés formulés par l'enseignant et les élèves, ou ce que certains auteurs appellent des facettes de savoirs (Galili et Hazan, 2000; Minstrell, 1992; Ohlsson, 1996; Thiberghien, 2007).

2.2 Le *pourquoi* enseigner ce qui est enseigné?

Parmi la diversité des intentions éducatives associées à cet enseignement, une attention particulière devrait être apportée aux fonctions de la diffusion et de l'osmose sur le plan biologique ainsi qu'au rôle que joue la membrane cytoplasmique, par ses caractéristiques, dans ces phénomènes.

La membrane plasmique par ses caractéristiques et la sélectivité des échanges qu'elle assure joue un rôle important dans le maintien de l'équilibre intérieur de la cellule et, par conséquent, dans sa survie. Sa perméabilité sélective permet à certaines molécules indispensables (glucose, acides aminés, etc.) de pénétrer dans la cellule, aux métabolites intermédiaires de ne pas s'en échapper et aux déchets métaboliques de la quitter (Lodish, Berck, Matsudaira, Kaiser, Krieger et Scott, 2005). Trois types d'échanges transmembranaires sont connus : 1) le transport qu'on peut qualifier de passif ou diffusion passive (sans dépense d'énergie métabolique) : la perméabilité directe à l'eau et aux petites molécules hydrophobes et aux petites molécules polaires non chargées, comme les gaz (gaz carbonique et oxygène), l'urée et l'éthanol (la membrane est par ailleurs imperméable aux ions); le transport facilité (toujours passif) met en jeu des protéines spécialisées (perméases); 2) le transport réalisé par des transporteurs protéiques spécifiques (transport des ions et de petites molécules comme le glucose et les acides aminés) à travers la bicouche phospholipidique; 3) le phénomène d'endocytose et d'exocytose qui consiste en la capture de macromolécules et de particules par des vésicules membranaire et leur transport soit vers l'extérieur ou vers l'intérieur de la cellule.

Outre ces caractéristiques assurant un échange de substances par diffusion ou non, il est important d'insister sur l'équilibre dynamique qui résulte du fonctionnement membranaire et qui empêche dans certains cas l'atteinte de l'égalité de concentration de part et d'autre de la membrane. Plusieurs phénomènes biologiques dont la production de l'ATP ou la propagation de l'influx nerveux exigent que les cellules concernées parviennent à garder un gradient de concentration de part et d'autre des membranes biologiques, en dépensant de l'énergie. Le gradient osmotique entre les cellules racinaires est aussi à l'origine de l'absorption de l'eau par les plantes. Ce ne sont là que des exemples.

2.3 Le *comment* enseigner

Un des aspects didactiques importants auxquels renvoie la question du *comment* est celui des démarches et des approches d'enseignement, dans leur relation avec l'appropriation des savoirs disciplinaires (conceptuels et méthodologiques). Malgré la diversité de ces démarches, soulignons simplement ici l'importance de distinguer celles qui s'inscrivent dans une logique de transmission et celles qui s'appuient sur des fondements constructivistes.

Les démarches qui s'inscrivent dans la logique de transmission privilégient le rôle de l'enseignant, du manuel scolaire ou de tout autre agent externe dans la présentation des concepts scientifiques. En tant que détenteur du savoir, cet agent le transmet aux élèves selon des modalités diverses : explication, présentation de définitions, lecture de compréhension dans les manuels, consultation des dictionnaires et des glossaires, etc. L'élève a comme principal rôle de bien recevoir le message et de le mémoriser. Au mieux, il pourrait être amené à appliquer, dans le cadre d'exercices ou de laboratoire, par exemple, ce savoir à d'autres situations de manière à vérifier sa compréhension. Ainsi, après que les élèves sont exposés aux concepts de diffusion,

d'osmose, d'insecte, etc., illustrés à l'aide de situations particulières, des cas non abordés dans le cours pourraient leur être présentés pour vérifier s'ils peuvent les comprendre ou non.

Dans une perspective qu'on peut qualifier de constructiviste, il est question de recourir à des démarches qui permettent l'engagement intellectuel des élèves dans le processus d'apprentissage et de l'élaboration conceptuelle.

Les démarches, lorsqu'elles sont prises en charge par les élèves, ne consistent pas seulement à leur permettre de résoudre des problèmes proposés ou formulés par d'autres (les enseignants, les concepteurs des manuels, les vulgarisateurs, etc.). Dans le cadre de la mise en œuvre de ces démarches, ils doivent d'abord être amenés à construire des problèmes pertinents, à problématiser, avant de proposer et de mettre en œuvre des manières appropriées pour les résoudre.

Comme le dit Bachelard (2004), l'esprit scientifique nous interdit d'avoir une opinion sur des questions que nous ne comprenons pas, sur des questions que nous ne savons pas formuler clairement. Avant tout, il faut savoir poser des problèmes. C'est en ce sens que s'expriment Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint (1997) lorsqu'ils soulignent que dans le contexte scolaire « le problème [...] doit être construit avec la classe en cours d'activité. Car l'activité scientifique ne revient pas seulement à *résoudre des problèmes* [...], mais elle consiste d'abord à *apprendre à les poser* » (p. 81). Par conséquent, nous rappelle Fabre (1999), pour l'enseignant l'objectif n'est pas seulement que les élèves trouvent la solution au problème posé, mais bien qu'ils construisent une problématique pertinente par rapport à la question traitée.

Outre le fait que la construction d'un problème scientifique doit s'appuyer sur la présentation d'une situation qui interpelle les élèves et suscite chez eux le désir d'apprendre quelque chose de nouveau, deux autres caractéristiques, parmi d'autres, méritent d'être soulignées.

La première caractéristique est le fait qu'un problème scientifique ne peut pas naître spontanément d'un contact immédiat avec une situation, même soigneusement choisie. Celui-ci ne peut pas émerger dans un vide conceptuel. Si les représentations des élèves et leurs cadres de référence orientent leurs observations et la construction du problème scientifique, les savoirs préalablement acquis le font autant. Nous avons intérêt, lors du choix des mises en situation visant la problématisation, de se questionner si les élèves possèdent les savoirs nécessaires à l'élaboration du problème scientifique visé. Ce qui constitue un problème scientifique pour le chercheur ou pour l'enseignant ne l'est pas nécessairement pour les élèves. Ne sommes-nous pas souvent étonnés de voir qu'un problème qui nous paraît simple ne fait aucun sens pour les élèves?

Si la maîtrise de certains savoirs est nécessaire à la problématisation, le fait de connaître la réponse rend la formulation du problème inutile : si nous expliquons auparavant aux élèves les concepts et les mécanismes de diffusion et d'osmose, nous risquons de rendre l'observation des phénomènes banale et sans intérêt. Bref, l'absence des savoirs nécessaires à la formulation du problème rend l'obstacle infranchissable par les élèves; la présentation préalable des savoirs sur lesquels le problème est supposé déboucher enlève tout obstacle et éteint, par conséquent, tout désir de recherche. Vygotski (1997) nous suggère de proposer aux élèves des problèmes qui se situent dans leur zone proximale de développement (ZPD).

La deuxième caractéristique du problème scientifique que nous souhaitons rappeler ici et qui la distingue des autres sortes de problèmes qu'on rencontre dans la vie de tous les jours est que : a) sa résolution fait appel à une démarche de recherche et b) débouche sur une élaboration conceptuelle. Ainsi, les deux éléments du processus scientifique, la problématisation et la conceptualisation, s'inscrivent dans relation circulaire et féconde (Orange, 2005).

Un des éléments clés d'une démarche de recherche est l'établissement des faits : pour répondre scientifiquement à la question ou au problème retenu, quelles sont les données scientifiques convoquées et comment sont-elles obtenues, validées et interprétées? C'est la nature du problème qui oriente, sans les dicter de manière linéaire, les stratégies à mettre en place pour recueillir ces données : expérimentation avec contrôle de variables, observation (sans expérimentation), questionnaire, analyse documentaire, etc.

Si le recueil des données, c'est-à-dire la recherche des faits, constitue une des phases importantes de la démarche de recherche, leur analyse et leur interprétation représentent la clé pour la compréhension du phénomène et pour la formulation des énoncés scientifiques en lien avec le problème ou la question de départ. L'ensemble de ce processus permet aux élèves de recourir et des habiletés intellectuelles propres aux démarches à caractère scientifique. Dans le cadre scolaire, autant les savoirs conceptuels produits que les habiletés mises en œuvre dans le processus de recherche constituent des apprentissages visés. En lien avec ce processus, plusieurs auteurs (Buty et Plantin, 2009; Orange, 2005) soulignent, entre autres, la place centrale du débat et de l'argumentation dans l'élaboration des faits et dans leur utilisation pour produire une compréhension scientifique ou pour l'élaboration conceptuelle. Avec l'argumentation, le savoir n'a de légitimité que par le fait qu'il est en mesure d'être prouvé. Du coup, les élèves n'ont d'autres choix que de s'engager, avec les enseignants et avec les pairs, dans des pratiques discursives, appuyées par des faits, et fondatrices des savoirs. Dans le cadre des recherches sur les pratiques de classe, ces productions discursives constituent d'importants indicateurs de l'engagement des élèves dans le processus de problématisation et de la formulation d'énoncés scientifique (la conceptualisation).

2.4 Le *avec quoi*

Le *avec quoi* enseigner renvoie à la nature des ressources didactiques (écrites, numériques et autres) retenues et à leur utilisation par l'enseignant et les élèves en lien avec l'appropriation des savoirs disciplinaires (Hasni *et al.,* 2009).

3. Méthodologie

3.1 Recueil et analyse des données

Les données considérées ici s'inscrivent dans un processus de recueil général auprès de dizaines d'enseignants annuellement, dans le cadre d'un projet financé par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (Hasni *et al.*, CRSNG, 2005-2011). Ces données sont de deux sortes :

1. L'enregistrement vidéo en classe des situations d'enseignement-apprentissage;

2. La réalisation et l'enregistrement audio d'entrevues avec les enseignants avant et après l'enregistrement vidéo. Ces entrevues visent à accéder au sens que les acteurs donnent à leur pratique. Les questions de

l'entrevue pré renvoient à quatre dimensions retenues pour l'analyse des pratiques d'enseignement en classe (Hasni, 2005) :

a) Quoi enseigner? Exemples de questions : Quels sont les savoirs (ou les contenus) disciplinaires que vous souhaitez que les élèves apprennent dans le cours qui sera enregistré? Que souhaitez-vous que les élèves retiennent de ces contenus?
b) En se basant sur quelles démarches ou approches? Exemples : Pourriez-vous nous décrire le déroulement de la période qui sera enregistrée, en précisant vos tâches et les tâches que les élèves auront à réaliser en lien avec les apprentissages visés? Parmi ces tâches, lesquelles vous semblent mieux favoriser les apprentissages des élèves? Pourquoi?
c) Pourquoi? Exemples : Pourquoi l'enseignement des contenus annoncés? Pourquoi le recours aux démarches et aux approches retenues?
d) En recourant à quelles ressources didactiques (et comment)? Exemples : Quel matériel didactique avez-vous utilisé pour la préparation et pour l'enseignement de ce cours? Quelle composante de ce matériel didactique avez-vous utilisée et comment l'avez-vous utilisé?

L'entrevue postenregistrement est composée de questions qui visent à obtenir une rétroaction « à chaud » sur le cours enregistré. Il s'agit par exemple de voir si le contenu d'apprentissage et le déroulement de la situation ont changé par rapport à ce qui a été prévu dans la planification ou encore de dégager les défis et les difficultés que l'enseignant et les élèves ont rencontrés lors de la mise en œuvre de la situation.

3.2 L'analyse des données

L'analyse des enregistrements s'appuie sur un cadre général, en cours de validation, qui tient compte du discours et des tâches[3] de l'enseignant et des élèves autour d'objets disciplinaires (figure 2). Ainsi, les aspects liés à la gestion de la classe, malgré leur intérêt, ne sont pas considérés dans ce cadre d'analyse.

[3] Les mots tâches et actions sont utilisés ici de manière générique et renvoient à ce que font (et disent) les élèves et l'enseignant en lien avec l'apprentissage et ne sont pas considérés dans le sens spécifique qui leur est réservé dans certains travaux didactiques.

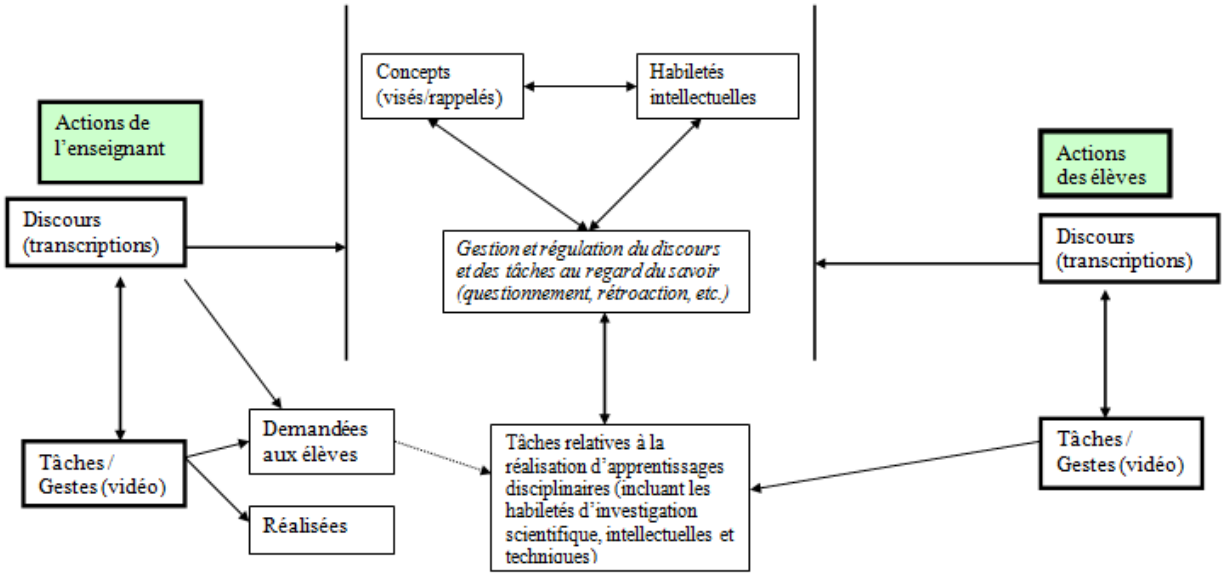


Figure 2. Aspects considérés dans l'analyse des pratiques d'enseignement du point de vue didactique

4. Résultats

4.1 Description générale

4.1.1 Intentions et contenus des cours

Les résultats, provisoires[4], que nous présentons ici portent sur un cas : celui d'un cours de secondaire 1 qui traite d'un module intitulé *La cellule et son milieu*. Ce cours est composé de 8 périodes dont les intentions pédagogiques et les contenus peuvent être brièvement décrits comme suit :

Périodes 1 et 2 : Rappel de certains concepts préalables à l'étude de la diffusion et l'osmose : *« Je réactive les concepts de mélange homogène, mélange hétérogène, substance pure… Après ça, je mets l'accent sur le mélange homogène. Quand j'ai mis l'accent sur le mélange homogène, je m'assure d'avoir avant les six notions bien remémorées (par les élèves) : soluté, solvant, solution, mélange homogène, saturé, non saturé, sursaturé. Ce qui fait que moi, il faut que ces concepts-là soient bien clairs pour me lancer dans la première information qui se trouve à être le laboratoire »* (extrait de l'entrevue pré avec l'enseignante).

Période 3 : Retour sur les notions précédentes; présentation de la mise en situation en lien avec l'osmose et discussion des règles de rédaction d'un laboratoire : *« C'est pas mal ça… que j'arrive à faire écrire le but, faire écrire le matériel et écrire le protocole »*. Il s'agit de la préparation de trois solutions différentes, de manière à les utiliser pour observer le comportement de cellules végétales dans chacune d'elles.

Période 4 : Réalisation du laboratoire fournie par l'enseignante : préparation de trois solutions de concentrations différentes et dépôts de tissus végétaux (oignon, carotte et céleri) dans chacune d'elles.

[4] Des analyses plus approfondies sont en cours.

Période 5 : Observation au microscope des tissus ayant séjourné dans les trois solutions.

Période 6 : Retour sur les observations microscopiques. Démonstration par l'enseignante, à l'aide d'un caméscope fixé à un oculaire, de cellules d'oignon déposées dans trois solutions de concentrations différentes.

Période 7 : Retour sur les observations et sur l'explication du phénomène observé (lecture de la section sur l'osmose dans le manuel de l'élève, accompagnée d'explications); réalisation d'un exercice de compréhension : changement de la longueur de bâtonnets de pommes de terres déposés dans des solutions de concertations différentes. Explication du phénomène de diffusion à l'aide de trois démonstrations.

Période 8 : Présentation des concepts d'intrant et d'extrant et leur explication en lien avec le fonctionnement des cellules animales et végétales (photosynthèse et respiration cellulaire).

La principale compétence disciplinaire retenue dans cette situation est celle qui vise à *Mettre à profit ses connaissances scientifiques et technologiques* (Gouvernement du Québec, 2004), comme le montre bien les entrevues qui portent sur les trois premiers cours et sur les trois derniers :

« Donc, pour moi, je l'évalue (le laboratoire) en compétence 2, mettre à profit, parce que ce n'est pas un exemple que je vais avoir déjà utilisé; ça va être un autre, mais ils vont devoir faire le transfert de leur compréhension »;

« Bien, c'est dans le but de voir la compétence 2 : Mettre à profit ses connaissances scientifiques. C'est que maintenant qu'on a vu l'aspect de la cellule dans le document, (il va) être capable de transférer dans d'autres situations, puis de se débrouiller et d'être capable de reconnaître des phénomènes à travers des mises en situation ».

La consultation de la planification remise par l'enseignante et l'observation des enregistrements vidéo montrent que le cours s'appuie en grande partie sur la planification tirée d'un manuel scolaire, *Univers*, à laquelle l'enseignante a greffé quelques ajouts.

4.1.2 Caractéristiques générales des périodes

Les périodes sont organisées principalement en grand groupe et, pour quelques-unes, en équipes (tableau 1).

Tableau 1 : Modalités d'organisation du travail en classe (GG : grand groupe; EQ : équipe; IND : individuel)

	Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5	Période 6	Période 7	Période 8
GG	62,01 %	94,40 %	97,15 %	56,29 %	44,55 %	99,29 %	96,13 %	99,76 %
EQ	37,74 %	5,24 %		42,76 %	54,63 %			
IND			2,75 %				1,35 %	

Mis à part les cours 4, 5 et 8 (correspondant principalement à la réalisation du laboratoire et de l'observation microscopique), le temps de parole revient majoritairement à l'enseignante (de 70 % à 86 % du temps de cours) (tableau 2).

Tableau 2 : Temps de parole de l'enseignant (PAR-P) et des élèves (PAR-E) en classe

	Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5	Période 6	Période 7	Période 8
PAR-P	70,04 %	83,93 %	84,67 %	51,25 %	49,76 %	87,34 %	85,96 %	57,99 %
PAR-Autre[5]					4,22 %			30,83 %
PAR-E	26,23 %	7,27 %	4,52 %	10,97 %	40,83 %	5,08 %	7,34 %	4,32 %

4.2 Tâches et discours associés à l'apprentissage du concept d'osmose

L'enchainement général des contenus abordés dans les huit périodes offre un potentiel pour l'appropriation du concept en question. D'une part, l'enseignante commence par un rappel des concepts préalables associés aux solutions et à la structure cellulaire. D'autre part, elle a prévu plusieurs moments de production de faits (laboratoire, démonstrations…) comme préalables à l'élaboration conceptuelle.

La gestion fine du déroulement, qui se manifeste à travers le discours et les tâches de l'enseignante et des élèves, montre la présence de moments offrant un potentiel d'apprentissage aux élèves et d'autres qui risquent davantage d'être problématiques, comme le montre l'analyse qui suit.

4.2.1 De la mise en situation à l'élaboration du problème

Deux mises en situation ont été présentées aux élèves dans ce cours. La première consistait à leur montrer dès la première période trois roses dont les tiges sont plongées dans trois solutions différentes : l'eau du robinet, une solution salée et une solution contenant le mélange fourni par le fleuriste. Cette mise en situation, montrée aux élèves au début de la plupart des périodes, malgré sa pertinence scientifique, n'a jamais été exploitée pour l'énonciation d'un problème. Elle avait comme principal rôle de susciter la curiosité des élèves et de les motiver, comme l'a annoncé explicitement l'enseignante à ces derniers. L'explication de l'état de ces trois roses sera donnée par l'enseignante lors de la 7e période. Les extraits suivants des interventions de l'enseignante illustrent le rôle de cette mise en situation :

« Qu'est-ce que je viens de recevoir? Un tas de belles cellules. C'est quoi notre titre du document? La cellule. Ha, ça donne bien (rire). Là vous comprenez un peu. Ce que je veux là, je veux juste que vous observez… Là, vous observez bien ce que je fais… Je veux t'amener à comprendre quelque chose de spécial par ça. Une fleur, une tige, c'est vraiment plein de cellules. Je vais plonger ma fleur…dans de l'eau… du robinet tout simplement. Là, vous ne comprenez pas le lien, hen? Où est-ce qu'elle (l'enseignante) veut aller avec tout ça? Ben, même si tu n'as pas la réponse aujourd'hui là, rendu au 6e cours, tu devrais l'avoir comprise la réponse. Dans mon autre (bécher), ça me tente d'essayer un truc : je vais mettre du sel. Puis je vais voir ma fleur à l'intérieur de l'eau salée. Qu'est-ce qu'elle va avoir…comme réaction… On verra bien. Et mon autre, ben là, mon monsieur j'ai vu qu'il m'a donné un petit sachet. J'essaie de lire ce qu'il y a sur l'étiquette. Non… On va être capable probablement à la fin de nos 6 périodes de trouver la composition de ce petit sachet là » (intervention de l'enseignante, cours 1, 7e minute).

[5] Il s'agit de l'intervention de la stagiaire.

En réaction à une intervention d'un élève qui souhaitait comprendre la mise en situation, l'enseignante continue :

« Aucune idée mon cher ami? Au moins tu vas t'en rappeler de cette situation là, de cet élément déclencheur là. Tu ne pourras pas dire qu'on est sauté directe dans la théorie sans avoir des petits trucs qui t'allument différemment… Peu importe si tu trouves ça quétaine ou non, moi je suis certaine que tu vas te rappeler…que j'ai eu trois fleurs, des cellules, des cellules, des cellules… ».

L'enseignante a continué à montrer les fleurs dans les autres périodes, pour les mêmes raisons, comme le montrent les extraits suivants :

« Les petites fleurs, je les ai encore, je vais vous les montrer encore …. En passant, je voulais juste vous montrer l'allure de mes fleurs… Qu'est-ce qui se passe l'intérieur des cellules? Mais ça va être à partir de la prochaine période qu'on va se questionner beaucoup plus loin là-dessus. Là, mais là, on voit bien qu'il y a une qui feel (se sent) moins bien que les autres. Je vous laisse réfléchir puis j'en reparle… » (cours 2; minutes 49 à 48).

« Pour le plaisir, sans trop vous expliquer pourquoi, je vais vous montrer mes fleurs… Vous aller voir qu'il y en a une qui, franchement, elle nous épate… » (période 5, 4e minute).

La deuxième mise en situation a été présentée aux élèves au 3e cours : *« Bon! À la page 5, je vous ai présenté l'idée générale du laboratoire. La page 5, c'est mon élément déclencheur, ma situation, ma grande question sous forme de mise en situation »*. Elle fait ensuite lire la mise en situation tirée du manuel scolaire :

« Vous êtes victime d'un écrasement d'avion, mais vous survivez. Vous vous trouvez sur une minuscule île déserte. Après une journée dominée par l'espoir et l'attente de secours, votre plus grand problème reste encore la soif. Vous souffrez déjà de la soif depuis un bon moment, à tel point qu'il vous prend soudain une terrible envie de boire l'eau de l'océan pour vous rassasier… Mais, c'est tellement salé! Après avoir réalisé l'expérience proposée dans cette situation d'apprentissage, vous devriez être en mesure de répondre à la question suivante : quel est l'effet des solutions salines sur les cellules? » (période 3).

Par la suite, l'enseignante a donné des explications aux élèves pour faire le lien entre cette mise en situation et le laboratoire qui, lui, propose une expérimentation sur des tissus végétaux :

Pour expérimenter avec « les cellules animales, il faudrait prendre la peau de Pierre, puis en donner pour tout le monde, pour être capable d'observer. Sauf que ce n'est pas doux de prendre le temps d'observer les cellules animales sur une personne vivante. Ben c'est pour ça qu'on va faire le parallèle… On va faire un parallèle avec les cellules végétales et on viendra faire notre confirmation d'explications avec des liens logiques pour les cellules animales ». « … si tu regardes les cellules végétales, ça va te permettre de parler ensuite des cellules animales » (période 3).

Deux constats importants peuvent être soulignés :

- L'abandon d'une mise en situation (les fleurs dans des concentrations différentes) dont la discussion aurait pu déboucher sur un questionnement scientifiquement pertinent aux dépens d'une mise en situation hypothétique (se trouver sur une île déserte à la suite de l'écrasement de l'avion) qui risque d'ouvrir sur d'autres débats liées à des choix personnels et à des problèmes qui n'ont pas de rapport

avec l'investigation scientifique; quitte à faire par la suite un détour pour proposer le retour à l'observation de tissus végétaux;

- Le peu d'exploitation des mises en situation. Celles-ci ont servi avant tout de déclencheurs et d'outils de motivation, sans qu'un débat de problématisation en découle. En outre, la question à laquelle a donné suite le laboratoire était déjà formulée dans la deuxième mise en situation.

4.2.2 Du problème à la production des faits

Dans un premier temps, l'enseignante a eu un échange avec les élèves sur la manière de rédiger un laboratoire. Lors de ces échanges, certains éléments ont été soulignés comme étant importants : un verbe d'action; une action par phrase; énoncés courts; pertinence pour la réalisation du laboratoire; etc. L'enseignante avait annoncé dans l'entrevue son intention d'utiliser le laboratoire pour travailler la compétence 3 du programme : *Communiquer à l'aide des langages utilisés en sciences et technologies* (Gouvernement du Québec, 2004). Les productions des élèves ont été ramassées pour évaluation et l'enseignante a remis une description du laboratoire à réaliser tirée du manuel scolaire :

« Il faut dire que je leur remets un protocole déjà tout prêt, utilisable… Je n'aurai pas le temps de corriger entre les minutes qui vont se dérouler; donc je leur ai préparé un protocole sur une feuille photocopiée qu'ils vont utiliser pour pouvoir vivre le laboratoire. Donc, moi je vais superviser le laboratoire, les élèves vont exécuter le laboratoire, puis la technicienne de laboratoire va être là avec moi pour voir au déroulement de tout ça » (extrait de l'entrevue pré).

Les élèves se sont engagés par la suite, en équipes, dans un ensemble de tâches associées à la réalisation du laboratoire : préparation de trois solutions de concentrations différentes; observations microscopiques de trois tissus gardées pendant quatre (4) jours dans ces solutions. Si cet engagement à permis aux élèves d'exercer plusieurs tâches associées à des habiletés techniques, ils ont manifesté une certaine incompréhension des tâches qui leur sont demandées, comme l'illustre l'extrait suivant d'une discussion entre deux élèves et entre ceux-ci et l'enseignante :

É1 : Ce qui est bizarre, c'est qu'on ne voit pas vraiment la cellule.
P : C'est peut-être juste parce qu'on peut aller chercher une meilleure place sur ta lame. Tiens, là pour moi on a enlevé pas mal de bulles d'air. Il y a trop de lumière… Oublie les genres de bulles d'eau là, de bulles d'air; puis attarde-toi sur la structure de la cellule.
É1 : Puis le quadrillé en arrière là?
P : Oui, un genre de quadrillé en arrière. Genre de mur de briques.
É1 :… C'est ça qu'il faut dessiner?
P : Oui, maintenant ça, est-ce que c'était pour ton eau très salée?
É1 : Non, eau de robinet.
P : Ok, bon ben places ta lame dans l'autre sens parce que…
É1 : C'est bon.
P : Moi je veux gauche : eau du robinet…
É1 : Ok.
P : Je la trouvais belle un peu pour de l'eau du robinet là…
É1 : Ben, elle a l'air correcte; elle n'est pas pire.
P : Ha oui c'est bon, laisse-moi montrer ça à E2.
É1 : C'est comme un mur de brique.
P : Oui c'est une structure de cellule, de pelure d'oignon.
É2 : Hey! C'est spécial.
P : Là quand tu vas te déplacer vers la droite, tu devrais voir des changements. Là ça reste à toi de voir.
É1 : Ok, va essayer E2. Ben vers la droite, comme ça.

É2 : On va faire le numéro deux?
É1 : Oui… Bon! Il faut essayer de dessiner ça là.
É2 : Ok , les cellules euh?
É1 : Non ben on dessine juste le quadrillé… qui est en arrière là, le mur de briques.
É2 : Ok, c'est l'mur de briques.
É1 : Ok, il est plus vertical on dirait. Je ne sais pas s'il faut dessiner ça, dessiner ça tout le long. Tu fais quoi toi?
É2 : Je fais… ça là vraiment; je ne veux vraiment pas faire tout le carreau, parce que…
É1 : Ha! Je ne sais pas moi, je ne sais pas trop ce qu'elle veut. Je ne sais pas ce qu'il faut faire. Je ne sais pas ce qu'il faut voir… Hey les filles, pensez-vous qu'il faut dessiner tout le carreau au complet (s'adresse à l'équipe d'en face). C'est bizarre…
É2 : Ben je trouve que les cellules sont vraiment collées ensemble.
É1 : Je ne sais pas trop ce qu'elle (l'enseignante) veut. Parce qu'elle a juste dit les dessins. Elle n'a même pas dit qu'il fallait dessiner un mur.
É2 : Je pense que je vais lui demander.
É1 : Oui, demandes-y.
É2 : Qu'est-ce qu'il faut que j'écrive?
Stagiaire[6] : Dessine!
É2 : Ok, c'est bon; mais il faut dessiner tout le carreau ou bien le mur de briques?
Stagiaire : Juste un petit bout… pourvu qu'on voie les trois différences là.
É1 : Ok, je vais en faire juste un peu plus moi…
P : C'était quoi votre question?
É : C'était, que s'il fallait qu'on…
P : Vous le dessinez.
P : C'est tout le carreau qu'il faut remplir.
É1 : Je suis rendue proche moi de remplir tout le carreau.

Cet extrait illustre un des obstacles intellectuels auxquels les élèves ont été confrontés lors de la réalisation du laboratoire : la compréhension de l'intention de l'observation et son lien avec la mise en situation de départ. Ils semblent ne pas savoir ce qu'il faut dessiner et pourquoi : *« Je ne sais pas moi, je ne sais pas trop ce qu'elle veut. Je ne sais pas ce qu'il faut faire. Je ne sais pas ce qu'il faut voir… »* (E1).

L'enseignante était consciente de la situation. À la fin du laboratoire, elle avait prévu un retour en grand groupe. Lors de ce retour, elle a montré, à l'aide d'un caméscope placé sur l'objectif du microscope et lié à un projecteur, des images de cellules d'oignon ayant séjourné dans les trois solutions de concentrations différentes.

L'analyse du discours et des tâches de l'enseignante et des élèves permet de soulever d'autres remarques sur la contribution du laboratoire à la compréhension de l'osmose :

- En l'absence d'une coloration des vacuoles, il était difficile pour les élèves d'identifier la différence entre les cellules dans les trois solutions. Les cellules leur paraissaient semblables.
- Les élèves (et l'enseignante) n'ont pas pu observer les cellules du tissu des carottes. Cette situation était prévisible, comme l'a bien mentionné l'enseignante aux élèves au début du laboratoire : *« C'est difficile pour la carotte d'avoir une tranche de carotte comme ça… Je vous avoue que j'ai vu deux fois seulement des cellules de carotte… ça va être difficile »*. Pourtant, l'enseignante a respecté le protocole proposé par le manuel et qui suggère la réalisation de cette expérience. Lors du retour sur le laboratoire, l'enseignante a jugé bon de détourner cette situation pour une autre visée, montrer aux élèves les pigments cellulaires : *« On*

[6] Une stagiaire était présente avec l'enseignante lors de la réalisation du laboratoire.

s'aperçoit d'une petite coloration teintée orange et teintée brune un peu là. Ben ça c'est les pigments de bêtacarotène; les pigments qui donnent la coloration à ta carotte. Donc, je ne veux pas, je ne vise pas comme objectif de vous expliquer (l'effet de) l'eau du robinet, de l'eau salée, de l'eau très salée. Je veux juste vous donner un renseignement supplémentaire… je fais juste vous la transmettre pour que vous ayez peut-être un mot de plus dans votre vocabulaire ou une image de plus dans votre tête sur la structure intérieure d'une carotte ».

4.2.3 Des faits à l'élaboration conceptuelle

L'analyse des résultats du laboratoire en vue d'appropriation des concepts (selon la formulation utilisée par l'enseignante dans la planification) démontre que le discours reste au niveau de la description des faits et ne porte pas sur la mise en relation du volet empirique (expérimentation, observation, etc.) et du volet théorique. Cette analyse vise avant tout à permettre aux équipes de « noter leurs observations sur l'apparence des légumes dans leur tableau de compilation des données » (en respectant l'intention déclarée par le manuel utilisé) et « de visualiser l'osmose à l'aide d'une technique qui permet de voir une cellule assez grande », selon l'intention exprimée par l'enseignante lors de l'entrevue.

Quelle idée de l'osmose est alors présentée aux élèves? Deux principales sources de définition sont présentées dans la classe. La première est celle du manuel scolaire. À cet effet, l'enseignante a invité les élèves à lire, à la fin du laboratoire, la définition que propose le manuel utilisé. Elle avait déjà annoncé dans l'entrevue pré qu'elle allait s'appuyer sur le manuel à cette étape : *« Pour les concepts, c'est la lecture du glossaire et des « fiches concepts »… « Moi je me suis rattachée à Univers pour les fiches concepts, pour le tableau de données…Oui. Je me suis vraiment accrochée à Univers ».*

Notons que pour cette partie du cours, le manuel était la référence principale. Celui-ci propose d'aborder avec les élèves, « à l'aide des explications (fournies), les concepts de diffusion et d'osmose », afin de leur permettre « d'analyser correctement les résultats de leur expérience ». Sous le titre, « Analyse des résultats de l'expérience », le manuel note : « le tableau de compilation des données et les connaissances que les élèves viennent d'acquérir sur l'osmose devraient leur permettre de faire une analyse assez juste des résultats de leur expérience et d'en tirer une ou plusieurs conclusions pertinentes » (Bélanger, Chatel et St-André, 2006*a*, p. 190). En d'autres termes, une fois que le laboratoire est terminé, les élèves sont invités à lire la définition de l'osmose dans le manuel scolaire afin de comprendre ce qu'ils venaient d'observer.

La définition fournie par le manuel scolaire est la suivante : « L'osmose est le mouvement suivi par des particules de solvant, du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré » (Bélanger, Chatel et St-André, 2006*b*, p. 100). Elle est complétée par la figure 3 et par un texte explicatif.

Si cette définition formelle reflète bien le sens accordé généralement au concept, le texte explicatif lu par les élèves et la figure qui l'accompagne risque de renforcer certains conceptions et obstacles à la compréhension du phénomène soulevés dans la problématique :

- Les flèches de la figure représentent la résultante du mouvement du solvant et donne l'impression qu'il est unidirectionnel. À l'équilibre, les flèches disparaissent, laissant croire à l'arrêt du mouvement des molécules du solvant.

- La concentration finale est réduite à une valeur intermédiaire de 4 % sans aucune explication. Ainsi, on fait comprendre aux élèves que si la concentration intracellulaire est initialement de 1 % et que la concentration du milieu extérieur est de 5 %, l'équilibre correspond à 4 %, et cela peu importe si c'est la cellule ou le milieu extérieur qui était initialement concentré!
- Le texte explicatif véhicule une vision anthropomorphique faisant appel à la volonté des particules à retrouver l'équilibre : « Si le soluté, le sel, ne peut **voyager** de part et d'autre de la membrane, c'est le solvant, l'eau, qui **doit voyager** pour **tenter d'équilibrer** les concentrations des deux côtés de la membrane. L'eau sort donc de la cellule **pour tenter de diluer** la solution à 5 % ».

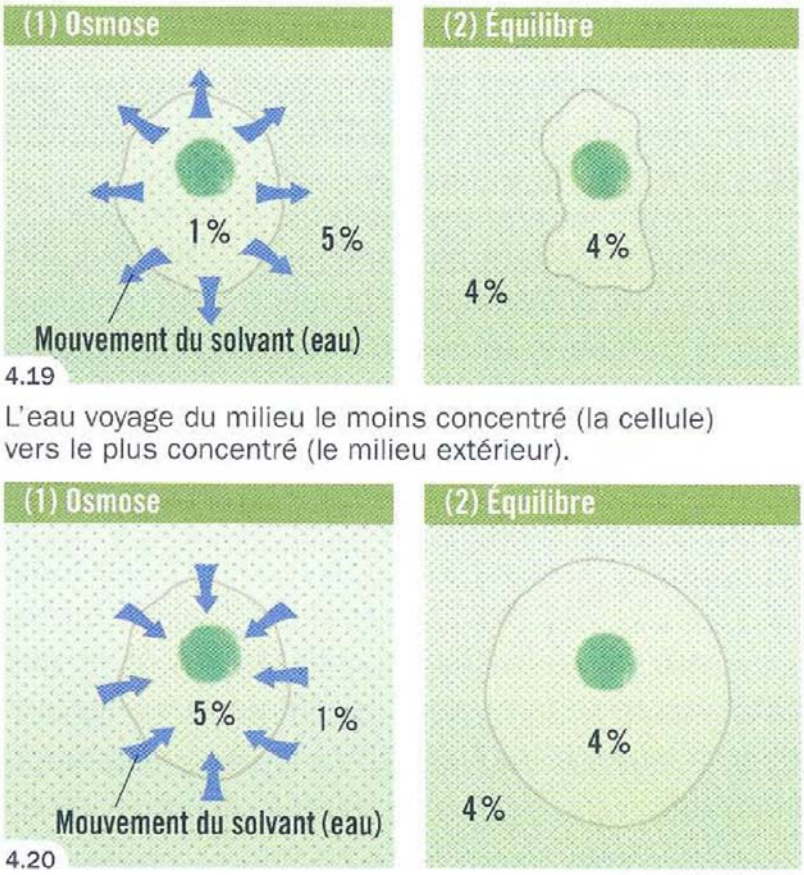


Figure 3. Explication du phénomène d'osmose selon le manuel Univers (Bélanger, Chatel et St-André, 2006b, p. 100)

Une fois les définitions des concepts lues par les élèves, l'enseignante passe à un exercice d'application dans lequel elle leur propose les résultats d'une expérience décrivant le changement de la longueur de bâtonnets de pommes de terre ayant séjourné dans trois solutions de concentrations différentes. Elle leur demande d'expliquer les résultats observés en fonction des définitions apprises.

La deuxième source d'explication de l'osmose à laquelle sont exposés les élèves est exprimée dans le discours de l'enseignante à diverses occasions, et qui rejoint en grande partie le sens accordé à ce concept

dans le manuel. Par exemple, avant d'aborder le concept de diffusion à la période 7, l'enseignante rappelle ce qu'elle entend par osmose :

« La diffusion est un phénomène différent de l'osmose parce que, si je me rappelle, l'osmose… c'est que lorsque j'ai ma cellule… (tout en dessinant, elle continue) Je la fais ronde c'est dans le but de penser à une cellule animale… puis si je lui avais donné un petit angle rectangle ou dans une allure rectangle… j'ai en tête une cellule végétale… Dans l'osmose rappelez-vous c'est quand le soluté ne passe pas. Alors, par exemple, quand j'ai du sel, le soluté aimerait bien passer, mais la membrane dit non, alors à ce moment-là ce n'est pas le soluté qui se permettrait de changer du milieu intérieur au milieu extérieur ou vice et versa; là c'est l'eau qui, à ce moment, fait le mouvement. Lorsque l'eau fait le mouvement, on avait notre phrase clé : du milieu le moins concentré vers le plus concentré ».

4.3 Tâches et discours associés à l'apprentissage du concept de diffusion

La présentation de la diffusion arrive à la 7e période après l'osmose et s'appuie sur des démonstrations réalisées par l'enseignante : *« Là je vous présente mon deuxième phénomène. En 25 minutes, je pense que je vais arriver à vous l'expliquer… correctement. C'est que je me suis équipée de trois démonstrations pour vous parler du 2e phénomène : la diffusion ».*

L'enseignante donne d'abord la définition de la diffusion avant de passer aux démonstrations :

« L'autre là (la diffusion), c'est quand la membrane accepte de laisser passer le soluté. C'est possible? Il y a des substances, des solutés qui vont réussir à passer à travers… Ici seulement ce n'est pas le sel, ce n'est pas le sucre, parce que ces deux substances-là ne passent pas à travers la membrane. C'est d'autres substances… Je vais vous en donner tantôt des exemples. Alors quand ça réussit à passer à travers la membrane, là c'est le phénomène de diffusion. Le phénomène de diffusion, je vous le présente avec trois démos ».

L'enseignante présente par la suite les trois démonstrations :

- Une goutte de colorant déposée dans un bécher rempli d'eau. Les élèves devaient observer la couleur se répartir dans tout le bécher.
- Un jet de parfum libéré dans l'air. Les élèves devaient sentir le parfum au fond de la classe.
- De la mélasse entourée d'une membrane perméable fermée aux deux bouts et déposée dans un bécher rempli d'eau. Les élèves devaient voir la couleur de la mélasse se répartir progressivement dans le bécher.

Même s'il s'agit de démonstrations, quelques questions ont été posées aux élèves par l'enseignante afin de vérifier leur compréhension. Leurs réponses montrent généralement des difficultés à appliquer les définitions énoncées par l'enseignante comme préalable à ces démonstrations, comme l'illustre l'extrait suivant d'un échange qui a donné suite au dépôt de la goutte du colorant dans l'eau :

P : Qui aurait une idée d'une petite phrase qui expliquerait le phénomène de diffusion? Je ne dirais ni oui ni non parce qu'après ça, j'ai un deuxième exemple.
É1 : Ben… c'est comme (si) la goutte du colorant est rentrée dans les cellules de l'eau.
P : La goutte du colorant est entrée dans la cellule de l'eau. Quelqu'un aurait une autre idée?
E2 : Du milieu le plus concentré au milieu moins concentré.
P : Ok, toi tu prends le même genre de phrase que là (en pointant la définition écrite au tableau).

Les deux élèves qui ont répondu à la question de l'enseignante ont simplement repris la définition énoncée par l'enseignante et écrite au tableau. Le premier a même repris l'énoncé qui concerne la diffusion à travers la membrane, alors que la démonstration était faite dans un bécher.

L'enseignante termine cette section en présentant, à l'aide d'un document écrit, des exemples de diffusion dans les cellules humaines. Il s'agit de la diffusion de l'oxygène et du gaz carbonique à travers la membrane des cellules des tissus musculaires :

« Je vais utiliser le verso de la page 10 pour faire une dernière partie qui est très très importante. Je ne veux pas bousculer; j'avoue que le temps est court pour pouvoir le faire, mais quand même je le commence parce que je trouve qu'on peut en comprendre une bonne partie. On va marquer comme titre : diffusion dans les cellules humaines (écrit au tableau). … un exemple de diffusion dans les cellules humaines… c'est le muscle, c'est la cellule de mon muscle de la main. Là on imagine, hen? Ok? On n'aura jamais la réalité. Mais quand on se l'imagine, ça fonctionne très bien pour comprendre ce qui se passe. Moi j'ai un muscle ici (indiquant la main qui fait un découpage avec un ciseau). Quand je fais du découpage, mon muscle a besoin d'oxygène pour pouvoir faire son travail et a besoin de rejeter ses déchets. Alors, ce phénomène là de transfert d'oxygène pour nourrir mon muscle… et le déchet produit par mon muscle qui ressort, c'est par le principe de diffusion. On va l'expliquer. Les particules d'oxygène vont se promener dans mon artère, dans mon vaisseau sanguin. Ma cellule qui a besoin de faire le travail en a peu à l'intérieur, peu d'oxygène. Donc quand j'en ai besoin pour faire mon travail, d'ouvrir puis de fermer mes ciseaux, il faut que l'oxygène rentre dans ma cellule. Qu'est-ce que j'ai ici? Une zone concentrée en oxygène. Qu'est-ce que j'ai ici? Une zone… moins concentrée en oxygène… Alors, je te confirme que l'oxygène et le gaz carbonique passent à travers la membrane. Donc, s'ils ne passaient pas, euh, ça serait de l'osmose probablement qui serait valable; mais là non, ces deux solutés-là passent à travers une membrane, donc je me ramasse dans la situation… d'une zone très chargée en oxygène à côté d'une cellule qui a besoin de faire un travail, mais qui contient peu d'oxygène… ».

5. Remarques conclusives

Quelques remarques importantes se dégagent de cette analyse :

- Même si le déroulement des huit périodes qui composent le cours semble offrir un potentiel d'apprentissage des phénomènes de diffusion et d'osmose, les élèves rencontrent des difficultés liées à la compréhension et à la gestion de tâches intellectuelles clés, notamment celles qui concernent l'expérimentation.
- Les mises en situation semblent davantage être utilisées comme des éléments déclencheurs introduisant le thème à étudier et comme moyen de motivation des élèves. Elles sont très peu exploitées pour amener ces derniers à formuler des problèmes et des questions d'ordre scientifique. Cette observation n'est pas ponctuelle, puisqu'elle marque fortement les situations d'enseignement proposées par les manuels scolaires. Elle soulève la nécessité de bien clarifier la tension et l'équilibre entre les pertinences épistémologique (production des savoirs), psychologique (intérêt des élèves) et sociale (utilité hors de l'école) des problèmes scientifiques abordés à l'école (Fabre, 1999).
- Le cas de l'observation du tissu de la carotte montre bien la prédominance des manuels scolaires dans le guidage des situations d'enseignement-apprentissage. Même si l'enseignante savait que ce tissu ne se

prêtait pas à l'observation du phénomène de l'osmose, elle l'a utilisé dans le laboratoire dans le respect de la proposition du manuel.

- Le passage de l'observation des manifestations macroscopiques (taille des bâtonnets de pommes de terre) à l'observation des manifestations microscopiques (rétrécissement de la vacuole) de l'osmose est passé sous silence, ce qui rend difficile la compréhension du phénomène.
- La gestion de la relation entre la problématisation, la production des faits (laboratoire) et l'élaboration conceptuelle, entre référent empirique et référent théorique (Martinand, 1992), pose de grands défis. Ces trois moments du processus scientifique ont été traités de manière indépendante et séquentielle. Peut-on percevoir là la résistance de l'ancienne conception du rôle du laboratoire qui consiste avant tout à apprendre des habiletés techniques et non pas à contribuer à l'élaboration conceptuelle?
- Même si la situation d'enseignement-apprentissage se prêtait bien au développement de la première compétence disciplinaire du programme, celle renvoyant à la démarche d'investigation scientifique, c'est la compétence visant l'apprentissage de la communication qui a prédominé le cours. Même lors de la réalisation du laboratoire, c'est cette compétence qui a été retenue (apprendre à écrire le protocole).
- L'étude permet de formuler une remarque importante : les défis pour l'enseignement du phénomène de l'osmose ne se situent pas du côté de la gestion pédagogique, mais plutôt du côté de la maîtrise des savoirs dans le domaine et de la relation entre l'établissement des faits et l'élaboration conceptuelle. La formation continue, particulièrement dans le cadre d'un enseignement intégré des S&T qui convoque des savoirs de plusieurs champs disciplinaires, doit prendre au sérieux cette question.

Références bibliographiques

Altet, M. (2002). Une démarche de recherche sur la pratique enseignante : l'analyse plurielle. *Revue française de pédagogie, 138*, 85-93.

Altet, M. (2001). *Demande de création d'un réseau présentée au ministère de la Recherche, MSU – DS7*. Réseau OPEN, réseau d'observation des pratiques enseignantes. Nantes : Université de Nantes.

Astolfi, J.-P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y. et Toussaint, J. (1997). *Mots clés de la didactique des sciences*. Repères, définitions, bibliographies. Paris : De Boeck.

Bachelard (2004). *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. Paris : Librairie philosophique (1re édition : 1938).

Bélanger, M., Chatel, Jean-Marc et Benoit, St-André (2006a). Univers – science et technologie. Guide d'enseignement 2, 1er cycle du secondaire. Saint-Laurent (Québec) : Éditions du Renouveau Pédagogique Inc.

Bélanger, M., Chatel, Jean-Marc et Benoit, St-André (2006b). Univers – science et technologie. Manuel de l'élève 2, 1er cycle du secondaire. Saint-Laurent (Québec) : Éditions du Renouveau Pédagogique Inc.

Bru, M. (2002). Pratiques enseignantes: des recherches à conforter et à développer. *Revue française de pédagogie*, *138*, 63-73.

Bru, M. et Maurice, J. J. (2001). Les pratiques enseignantes : contributions plurielles. *Les dossiers des sciences de l'éducation, 5*, 97-109.

Bru, M. et Talbot, L. (2001). Les pratiques enseignantes: une visée, des regards. *Les Dossiers des sciences de l'éducation*, *5*, 9-33.

Buty, C. et Plantin, C. (dir.) (2008). *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. Paris : Institut national de recherche pédagogique.

Christianson, R.G. et Fisher, K.M. (1999). Comparison of student learning about diffusion and osmosis in constructivist and traditional classroom. *International Journal of Science Education, 21*, 689–698.

Concannon, J. et Brown, P. (2008). Transforming "osmosis": Labs to address standards for inquiry. *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas*, *45*(3), 23-25.

Cooke, M., Carter, G. et Wiebe, N. (2008). The interpretation of cellular transport graphics by students with low and high prior knowledge. *International Journal of Science Education*, *30*(2), 241-263

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

Fisher, K. (1985). A misconception in biology: Amino acids and translation. *Journal of Research in Science Teaching*, *22*(1), 53-62.

Friedler, Y., Amir, R. et Tamir, P. (1987). High school students'difficulties in understanding osmosis. *International Journal of Science Education, 9*, 541–551.

Friedler, Y., Amir, R. et Tamir, P. (1985). Identifying students'difficulties in understanding concepts pertaining to cell water relations: An exploratory study. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, French Lick Spring, IN.

Galili, I et Hazen, A. (2000). The influence of an historically oriented course on students' content knowledge in optics evaluated by means of facets-schemes analysis. *American Journal of Physics, 68* (supplément), S3-S15.

Gallegos, L., Jerezano, M.E. et Flores, F. (1994). Preconceptions and relations used by children in the construction of food chains. *Journal of Research in Science Teaching*, *31*(3), 259–272.

Gouvernement du Québec (2004). *Programme de formation de l'école québécoise. Enseignement secondaire, 1er cycle.* Québec: Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. Document téléaccessible à l'adresse <http://www.mels.gouv.qc.ca/DGFJ/dp/index.htm>.

Hasni, A., Bousadra, F., Corriveau, A., Guillemette,C., El Bilani,R. et Roy, P. (2009). *Cadre conceptuel et méthodologique pour l'analyse des pratiques d'enseignement en sciences et technologies.* Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences. Université de Sherbrooke.

Hasni *et al.* (2005-2010, prolongation en 2011). Perfectionnement des compétences en enseignement des sciences, technologies et mathématiques du personnel enseignant au premier cycle du secondaire. Organisme subventionnaire : Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) – Programme de Centres de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences (Creas), 2005-2010.

Hasni, A. (2005). *Guide d'entrevue pour l'analyse des pratiques d'enseignement en sciences, technologies et mathématiques*. Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences (CREAS), Université de Sherbrooke.

Hohenshell, L. et Hand, B. (2006). Writing-to-learn strategies in secondary school cell biology: A mixed method study. *International Journal of Science Education*, *28*(2-3), 261-289.

Johnstone, A.H. et Mahmoud, N.A. (1980). Pupils' problems with water potential. *Journal of Biological Education*, *14*(4), 325-328.

Kelly, P.V. et Odom, A.L. (1997). The union of concept mapping and learning cycle for meaningful learning: diffusion and osmosis. Paper presented at the National Science Teachers Association, New Orleans: Louisiana.

Lawson, A. (2000). A learning cycle approach to introducing osmosis. *American Biology Teacher*, *62*(3), 189-96.

Lenoir, Y. et Vanhulle, S. (2006). Étudier la pratique enseignante dans toute sa complexité : une exigence pour la recherche et la formation à l'enseignement. *In* A. Hasni, J. Lebeaume et Y. Lenoir, *La formation à l'enseignement des sciences et des technologies au secondaire dans le contexte des réformes par compétences* (p. 193-245). Québec: Presses de l'Université du Québec.

Lewalter, D. (2003). Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*, *13*, 177–189.

Lodish, H., Berck, A., Matsudaira, P., Kaiser, C. A., Krieger, M., et Scott (2005). *Biologie moléculaire de la cellule*. Bruxelles : De Boeck.

Marek, E.A. (1986). Understandings and misunderstandings of biology concepts. *The American Biology Teacher*, *48*, 37–40.

Marek, E.A., Cowan, C.C. et Cavallo, A. M. L. (1994) Students' misconceptions about diffusion: How can they be eliminated? *The American Biology Teacher, 56*, 74–77.

Market, E.A., Cowan, C. C. et Cavallo, A. M. L. (1994). Students' misconceptions about diffusion: How can they be eliminated? *The American Biology Teacher,* 56, 74–77.

Matoussi, F. et Simonneaux, L. (2007). Apports des interactions langagières à l'intégration des TIC dans l'enseignement. *Revue permanente en ligne des utilisateurs des Technologies de l'Information et de la Communication.* Document téléaccessible à l'adresse <http://isdm.univtln.fr>.

Minstrell, J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In R. Duit, F. Goldberg et H. Niedderer (dir.), Research in pysics learning : theoritical issues and empirical studies (110-128). Kiel : INP.

Murray, D. L. (1983). Misconceptions of osmosis. In *Proceedings of the International Seminar in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, NY, pp. 428–433.

Odom, A.L. (1995). Secondary and college biology students' misconceptions about diffusion and osmosis. *American Biology Teacher 57*(7), 409–15.

Odom, A.L. et Barrow, L.H. (1995). Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching, 32*(1), 45–61.

Odom, A.L. et Kelly, P.V. (2001). Integrating concept mapping and the learning cycle to teach diffusion and osmosis concepts to high school biology students. *Science Education, 85*(6), 615–635.

Odom, A.L. et Settlage, J. (1994). Students' understanding of diffusion and osmosis in relation to their levels of cognitive development. Presented at the 1994 Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Anaheim: CA.

Ohlsson, S. (1996). Learning to do and learning to understand: a lesson and a challenge for cognitive modeling. *In* P. reiman et H. Spada (dir.), *Learning in humans and machine* (p. 37-62). Oxford: Pergamon Elsevier Science.

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.

Rundgren, C. et Tibell, L. (2010). Critical features of visualizations of transport through the cell membrane - an empirical study of upper secondary and tertiary students' meaning-making of a still image and an animation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *8*(2), 223-246.

Sanger, M.J., Brecheisen, D.M. et Hynek, B.M. (2001). Can computer animations affect college biology students'conceptions about diffusion & osmosis? *The American Biology Teacher, 63*(2), 104–109.

Simson, W.D. et Marek, E.A. (1988). Understandings and misconceptions of biology concepts held by students attending small high schools and students attending large high schools. *Journal of Research in Science Teaching*, *25*(5), 361–374.

Tekkaya, C. (2003). Remediating high school students'misconceptions concerning diffusion and osmosis through concept mapping and conceptual change text. *Research in Science & Technological Education*, *21*(1), 5-16.

Tiberghien, A., Malkoun, L., Buty, C., Souassy, N. et Mortimer, E. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. *In* G. Sensevy et A. Mercier (dir.), *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des des élèves* (p. 93-122). Rennes: Presses universitaires de Rennes.

Vygotski, L. (1997). *Pensée et langage*. Paris : La Dispute (1re éd. 1934).

Westbrook, S. et Marek, E.A. (1991). A cross-age study of student understanding of the concept of diffusion. *Journal of Research in Science Teaching, 28*(8), 649-60.

Zukerman, J.T. (1994). Problem solvers'conceptions about osmosis. *The American Biology Teacher, 56*(1), 22–25.

Zukerman, J.T. (1993). Accurate and inaccurate conceptions about osmosis that accompanied meaningful problem solving. Paper presented at the Annual meeting of the national association for research in science teaching. Atlanta: GA. 17 avril.

UN CADRE THÉORIQUE ET MÉTHODOLOGIQUE POUR ANALYSER LE TRAVAIL DU PROFESSEUR DE MATHÉMATIQUES DANS LA CLASSE

Alain Bronner
Laboratoire LIRDEF, Equipe ERES, Université Montpellier 2

Les recherches que j'ai menées m'ont conduit à construire des outils théoriques et méthodologiques permettant de décrire et d'analyser ce que peut faire et fait le professeur au cours de la gestion des situations didactiques dans la classe de mathématiques. Ces travaux de recherche s'inscrivent dans le cadre d'un *observatoire des pratiques enseignantes* dans l'enseignement secondaire en France. Je montrerai comment la théorie des situations didactiques de Guy Brousseau (1998) et la théorie anthropologique développée par Yves Chevallard (1992 et 1999) permettent de proposer une méthodologie d'analyse des *gestes d'étude* et des *gestes professionnels* relativement au *projet didactique* et aux *événements* qui se produisent dans l'espace-temps d'une situation didactique.

Dans le prolongement de diverses recherches pour des analyses à un grain plus fin que les curricula, notamment pour l'analyse de situations d'enseignement, j'ai utilisé divers concepts issus essentiellement des théories de la didactique des mathématiques et élaboré une méthodologie orientée tout d'abord sur les trois grandes questions :

- Quelles sont les caractéristiques mathématiques et didactiques des situations d'enseignement observées?
- De quelle manière l'enseignant installe-t-il et régule-t-il l'espace didactique « action – parole – pensée – relations »?
- Quels sont les gestes d'étude possibles, contraints, attendus, effectifs des élèves?

La Théorie Anthropologique du Didactique (Y. Chevallard, 1992, 1999), articulée avec la Théorie des Situations Didactiques (G. Brousseau, 1986), constitue mon cadre théorique et méthodologique principal pour mes analyses. Ce cadre a pour fonction de mettre en évidence les caractéristiques mathématiques et didactiques de la situation tout en faisant ressortir les événements saillants. La démarche d'analyse comporte quatre étapes :

- L'élaboration de la trame de la séance qui aboutit à une première lecture et un premier découpage de la séance;
- La description et l'analyse des organisations mathématique selon l'approche anthropologique;
- L'analyse de l'organisation didactique selon une méthodologie que nous qualifions des quatre composantes qui nous conduisent à une deuxième lecture et un deuxième découpage;

- Le repérage de gestes d'étude d'élèves et de gestes professionnels de l'enseignant, des évènements et des ajustements; ce qui conduit à mettre l'accent sur des évènements et épisodes significatifs d'un questionnement.

1. La trame de la séance : première description

Cette première étape dans l'analyse d'une séance a pour fonction de donner une première description de ce qui est observé et d'identifier des traces relativement objectives. On doit tout de suite remarquer que la tâche pose problème. En effet, le regard n'est pas neutre et la transcription des faits demande une sélection et un traitement de l'information. On retiendra cependant que c'est l'attitude d'objectivité qui conduit à considérer cette première étape comme une trace première. Je caractérise cette étape de la manière suivante : « Pour décrire les pratiques observées nous proposons de construire tout d'abord ce que nous appelons *la trame* de la leçon, qui fait apparaître des découpages de la séance selon de grandes unités rendant intelligibles chaque élément retenu relativement à un projet d'enseignement. Ce premier découpage en périodes est défini par les fonctions habituellement utilisées en classe (recherche ou mise au travail sur des exercices, mises en commun, bilans, cours, etc.). » (Bronner *et al.*, 2003) La trame permet de repérer de grandes phases dans le processus d'interaction à analyser, d'identifier les acteurs du jeu didactique, de dire à quel jeu ils jouent pour un observateur de la didactique. Ce découpage d'une situation ou d'une séance s'exprime à l'aide du répertoire de la profession par exemple : moment collectif, lecture et explicitation de la consigne, phase de travail de groupe, reprise de telle phase de travail, bilan, synthèse du professeur… Je m'appuierai dans ce texte sur une séance sur laquelle nous avons mis en œuvre notre méthodologie d'analyse (Bronner, 2006). La trame se présente ainsi pour cette séance dont l'enjeu est un travail sur les polyèdres réguliers en classe de cours moyen à l'école élémentaire en France :

1. **Un premier moment collectif** : lecture et explicitation de la consigne
durée : de 0 à 7'14.
2. **Une phase de travail de groupe** : le premier temps
durée : 7'14 à 13'07.
3. **Un deuxième moment collectif** : point intermédiaire au cours du premier temps
durée : de 13'07 à 15'19.
4. **Reprise du travail de groupe** : suite du premier temps
durée : de 15'19 à 19'01.
5. **Un troisième moment collectif** : mise en commun rapide et lancement du deuxième temps
durée : de 19'01 à 22'04.
6. **Nouvelle phase de travail de groupe** : le deuxième temps
durée : de 22'04 à 42'40.
7. **Un quatrième moment collectif**
durée : de 42'40 à 49'08.
8. **Travail de groupe** : réalisation d'une affiche
durée : de 49'08 à la fin de la séance

Ce type de découpage est rarement remis en question, même s'il ne correspond pas à des objets d'étude communs à tous les chercheurs, mais il semble être un passage obligé pour de nombreux chercheurs.

2. La description et l'analyse des organisations mathématiques selon l'approche anthropologique

Selon Chevallard (1999), deux objets sont à considérer – l'organisation mathématique et l'organisation didactique - et correspondent à deux questions différentes, l'une relative aux gestes d'étude des élèves des élèves et l'autre aux gestes professionnels de l'enseignant :

Que peut faire un élève afin d'étudier *une question de mathématique*?Que peut faire *un professeur* afin de diriger l'étude d'une question de mathématique par *l'élève* ou par *une classe*?

La théorie anthropologique de la didactique développée par Chevallard (1999) dans le cadre de la didactique des mathématiques offre des perspectives nouvelles et complémentaires à partir de la modélisation de l'activité sous le qualificatif de *praxéologies* :

« En toute institution, l'activité des personnes occupant une position donnée se décline en différents types de tâches T, accomplis au moyen d'une certaine manière de faire, ou technique τ *. Le couple [T,* τ *] constitue, par définition, un savoir-faire. Mais un tel savoir-faire ne saurait vivre à l'état isolé : il appelle un environnement technologico-théorique [*θ,Θ*], ou savoir (au sens restreint), formé d'une technologie* θ *, « discours » rationnel (logos) censé justifier et rendre intelligible la technique (tekhnê), et à son tour justifiée et éclairée par une théorie* Θ *, généralement évanouissante. Le système de ces quatre composantes, noté [T/*τ*/*θ*/*Θ*], constitue alors une organisation praxéologique ou praxéologie, dénomination qui a le mérite de rappeler la structure bifide d'une telle organisation, avec sa partie pratico-technique [T/*τ*] (savoir-faire), de l'ordre de la praxis, et sa partie technologico-théorique [*θ*/*Θ*] (savoir), de l'ordre du logos »* (Chevallard, 1997)

Cette approche permet dans un premier temps de décrire la séance en lien avec les différentes tâches dans lesquelles sont engagés élèves et maître, et d'analyser l'organisation mathématique, réponse à la question : « quels sont les apprentissages visés par la séance? » Avec Chevallard (1999), la modélisation des pratiques sociales en général et l'activité mathématique en particulier se déclinent en *type de tâches, techniques, technologies, et théorie*. L'analyse des organisations mathématique dans le cadre de la théorie précédente nous amène à poser aussi la question des liens du savoir-faire avec le savoir.

Les types de tâches

La mise en œuvre de cette approche nous conduit tout d'abord à traduire les consignes et le travail des élèves en *types de tâches* observés. Les tâches réelles des élèves n'apparaissent pas toujours dans le jeu didactique de manière transparente et dès le début d'une séance. La négociation s'effectue souvent à travers des premiers moments collectifs centrés sur la lecture et l'explicitation de la consigne. Elles peuvent être consignées dans un écrit distribué aux élèves par le professeur, mais des formes variées sont possibles et il est souvent nécessaire de sortir des formes habituelles pour exhiber le mathématique, enjeu de la situation. Dans la séance choisie classe dans le domaine géométrique un écrit donne le contrat didactique prévu :

<u>Un polyèdre régulier est un polyèdre</u> :
(1) convexe
(2) dont les faces sont des polygones réguliers
(3) deux à deux superposables
(4) tels qu'à tous les sommets corresponde un même nombre de faces

<u>Premier temps</u>
Construire un polyèdre régulier puis mettre en commun
<u>Deuxième temps</u>
Trouver tous les polyèdres réguliers.
1. Résoudre le problème
2. Faire une affiche présentant vos résultats, leur justification, la démarche de résolution et les difficultés éventuelles.

Je désigne par T1 le premier type de tâches rencontré par les élèves que nous caractérisons tout d'abord de la manière suivante : Construire un objet de l'espace satisfaisant à des contraintes. Il s'agit plus précisément dans cette séance de solides appelés en mathématique *polyèdre régulier*. Le type est donc plus précisément

T1 : Construire un polyèdre régulier.

Nous sommes dans l'espace à trois dimensions et ce type peut se généraliser aux espaces affines euclidiens de dimension n avec le type :

T'1 : Construire un polytope régulier.

En fait, un deuxième type apparaît dans la séance, amenant une complexité plus importante :

T2 : Construire tous les polyèdres réguliers.

Ceci inclut la question de l'exhaustivité, autrement dit montrer qu'il n'y en a pas d'autres que ceux qui seront mis en évidence ou construits. Ce type trouve aussi sa généralisation en dimension n :

T'2 : Déterminer tous les polytopes réguliers en dimension n.

Les techniques et l'environnement technologico -théorique

Répondre à la question des techniques, et surtout des technologies par exemple dans l'exemple évoqué précédemment, demande de s'interroger sur le type de rapport à l'espace dans lequel la situation fait interagir les acteurs et les types de géométrie qu'ils peuvent pratiquer. Houdement et Kuzniak (1999) proposent des axes d'analyses épistémologiques pour étudier les rapports entre géométrie et réalité, la géométrie étant vue comme modèle de l'espace : « D'après GONSETH , il existe trois modes de connaissance de l'espace que nous avons intégrés et revisités : Intuition, expérience, déduction ». Leur catégorisation se décline ainsi :

- L'intuition : c'est pour eux une sorte de théorie immédiate basée sur un lot d'évidences, qui peuvent être perceptives aussi bien que virtuelles. Bien sûr elle peut être aussi une source d'erreurs, car elle peut installer une cohérence artificielle entre les données pratiques et une théorie inadaptée. Mais elle est aussi une formidable source de découverte.

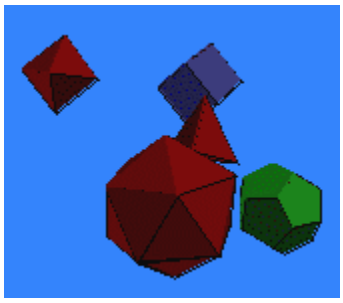
- L'expérience : elle n'est pas immédiate, elle nécessite action physique et mentale. À l'école, les résultats obtenus par pliages et découpages relèvent de ce champ, de même que l'utilisation de logiciels dynamiques tels que Cabri. L'expérience nourrit l'intuition, l'intuition structure l'expérience : elles sont parfois difficilement séparables, il existe un double mouvement de l'une vers l'autre.
- La déduction : elle consiste à tirer des informations comme conséquences d'autres, sans nouvelle expérience. Elle permet de réorganiser les apports de l'expérience. La déduction, au sens où nous l'entendons, est plus proche du raisonnement dans son ensemble. En aucun cas, elle ne se limite à la démonstration fondée sur une axiomatique de base

Autour de ces trois modes de connaissances, les auteurs précédents proposent une synthèse qui réorganise la relation avec l'espace et donne naissance à trois types de géométrie, trois paradigmes : Géométrie naturelle I, Géométrie axiomatique naturelle II, Géométrie axiomatique formaliste III :

	Géométrie naturelle l	Géométrie axiomatique naturelle II	Géométrie axiomatique formaliste III
Intuition	Sensible, liée à la perception, enrichie par l'expérience	Liée aux figures	Interne aux mathématiques
Expérience	Liée à l'espace mesurable	Liée à un schéma de la réalité	De type logique
Déduction	Proche du réel et liée à l'expérience	Démonstration basée sur des axiomes	Démonstration basée sur un système complet d'axiomes
Type d'espace	Espace intuitif et physique	Espace physico-géométrique	Espace abstrait euclidien
Statut du dessin	Objet d'étude et de validation	Support du raisonnement et « figuraI concept »	Schéma d'un objet théorique, outil heuristique
Aspect privilégié	Évidence et construction	Propriétés et démonstration	Démonstration et liens entre les objets.

Les trois paradigmes géométriques selon Houdement et KuzniaK (1999)

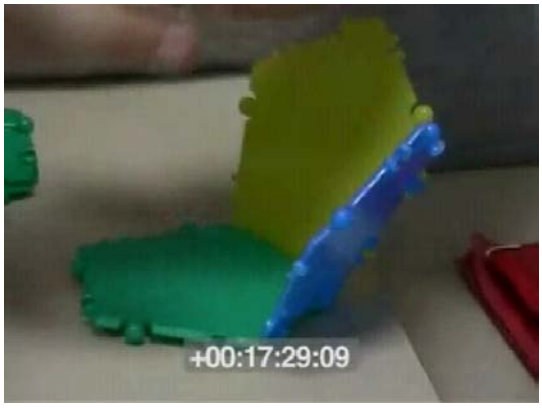
La situation proposée par le professeur se déroulait plus précisément dans un cours moyen 2e année (CM2) et elle positionne clairement les tâches dans une géométrie I, tout au moins dans la première partie de la séance dans laquelle les élèves disposent de matériaux polygonaux à assembler. Les élèves sont confrontés à un espace sensible et l'expérimentation dans une certaine réalité est possible. Ils peuvent toucher les objets, voir les formes, les percevoir aussi de manière tactile, les assembler, les désassembler… Toutes ces manipulations leur apportent une expérience directe avec des objets mathématiques et des intuitions se créent dans les constructions matérielles proposées. Une certaine validation est présente visuellement par la réussite des assemblages relativement à la tâche proposée.



Cependant, la géométrie II n'est pas absente. Les définitions qui sont proposées aux élèves relèvent de connaissances géométriques, et des relations avec la géométrie II doivent établies. Une deuxième partie de la séance demandera aux élèves de raisonner dans cette deuxième géométrie.Ces types de tâches appellent des techniques de résolution (des manières de faire, dit Chevallard, pour résoudre les tâches particulières), éventuellement embryonnaires ou en voie de constitution dans un processus d'enseignement-apprentissage. On peut décrire ainsi une technique σ_1 relative au type de tâche T1 dans la géométrie spatiale

Une technique σ_1 relative à T1

- Identifier les composants élémentaires : triangle, quadrilatère, pentagone… (règle 2);
- Prendre en compte le caractère régulier en dimension 2 : des polygones réguliers (règle 2);
- Les prendre superposables (règles 3);
- Commencer à en assembler 2, puis 3; On passera à 4 ensuite; …
- S'assurer d'avoir un début, un coin de « solide » : il doit tenir tout seul;
- Essayer d'avoir la même configuration à tous les sommets (règle 4);
- Contrôler la convexité en un sens intuitif et physique.



Cela ne veut pas dire que tous les élèves ont suivi cette technique pour réaliser la tâche, mais c'est un exemple de technique possible qui peut être mise en œuvre de manière plus ou moins spontanément ou réfléchie par les élèves dans l'accomplissement de la première tâche. De nombreuses variantes sont sûrement possibles, mais cette décomposition de la technique montre certains processus et pose aussi le problème de leur articulation.

Une technique (ou un couple Type de tâches-technique) est, en général, éclairée, voire justifiée par un discours plus ou moins théorisé, dans lequel Chevallard (1999) distingue deux niveaux : la technologie et la théorie.

Une technologieθ 1 relative à la technique σ1 serait nourrie par :

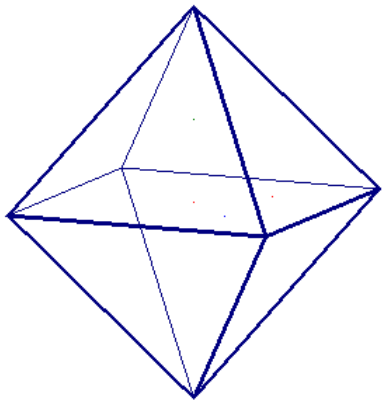
- Les notions de polygones et solides qui sont les éléments technologiques de base.
- La théorie des polygones réguliers (cas de la dimension 2).
- La notion de polyèdre comme composée de surfaces polygonales (exemple de la boite, du cube, de la pyramide, etc.).

Et c'est la géométrie I qui constituerait **une théorie** Θ_1 possible pour cette praxéologie.On peut envisager d'autres praxéologies relatives au type de tâches T1 dans le cadre de la géométrie II dont nous donnons succinctement quelques éléments pour mettre en relief les écarts entre les exemples.

Des techniques en géométrie II

σ_2 : En papier crayon

Partir d'un polygone régulier à n côtés et essayer de représenter un solide en respectant les procédures géométriques (cercle, intersection de droites, plan…) et les règles de la perspective au niveau du dessin



σ_3 : Avec un logiciel de géométrie dynamique comme Cabri Géomètre

Pour terminer ces éléments d'analyse au niveau des organisations mathématiques possibles, la tâche pourrait être envisagée aussi en géométrie 3 en nous plaçant dans la théorie des polyèdres convexes d'un espace affine euclidien de dimension 3. Berger (1978) signale la difficulté à définir un polyèdre :

« Qu'appellerait-on polyèdre (non nécessairement convexe)? Une définition : une réunion finie de polyèdres convexes compacts ».

En fait, la géométrie I n'est pas adaptée pour la réalisation de la tâche T2. Cette dernière pourra alors être convertie en une forme faible et se ramener en un examen des possibles avec le matériel. Les géométries II et III sont en fait les bons paradigmes pour résoudre complètement la question.

3. Une analyse de la séance selon la méthodologie des 4 composantes

Je commencerai tout d'abord par repérer les différents moments de l'organisation didactique selon Chevallard (1999). Ensuite pour analyser la réalisation de chaque moment, notamment ceux rassemblés ce que Chevalllard appelle les activités d'études et de recherche (AER), je présenterai ce que nous avons nommé *la méthodologie des 4 composantes,* méthodologie d'analyse de l'organisation didactique élaborée lors d'une recherche précédente[1] (Bronner *et al.*, 2003). Cette méthodologie s'appuie à la fois sur la théorie des situations de Brousseau (1986) et sur l'approche anthropologique de Chevallard (1999). Dans cette approche, quatre composantes liées seront systématiquement prises en compte pour analyser une situation didactique : l'organisation du milieu, le contrat didactique, le temps didactique et le topo de l'élève et du professeur. Cette *méthodologie des quatre composantes* s'articule avec la trame et la description en moments selon Chevallard. Cette analyse permet des granulations plus fines des phases de la trame pour comprendre le sens de ce qui se joue à différents moments de cette séance. Des subdivisions de certains secteurs de la trame sont introduites lorsque nous pourrons repérer au moins un changement d'état d'une des quatre composantes. Ces composantes focalisent le regard sur une dimension théorique. Mais c'est leur articulation qui donnera le sens véritable de la situation et des événements :

Première composante : le milieu et la mésogenèse

Le savoir, enjeu de la relation didactique, est mis en scène à travers les interactions des élèves avec un ensemble d'objets en relation avec ce savoir visé. Ces objets, présents dans la situation, au démarrage ou faisant leur apparition au fur et à mesure de l'interaction de l'élève avec la situation, forment un milieu : « C'est le système antagoniste que nous avons proposé d'appeler *milieu* » (Brousseau, 1990).

Deuxième composante : le contrat didactique

Des attentes réciproques entre élèves et enseignant se mettent en place, souvent sans être formulées, et sont, pour une large part, implicites, afin que la relation didactique puisse se poursuivre et qu'un apprentissage se réalise. Mais la plupart du temps la relation se rompt et ces attentes sont renégociées de part et d'autre. Brousseau (1990) a désigné par le terme « contrat didactique » ces attentes réciproques liées aux savoirs enjeux de la relation didactique.

Troisième composante : le temps didactique et la chronogenèse

La progression de l'enseignement est assurée par l'introduction de nouveaux objets en lien avec une notion mathématique. Ils seront à un moment considérés comme anciens, clause explicite ou implicite d'un nouveau contrat didactique. Cette dialectique ancien-nouveau rythme *le temps didactique* du processus d'enseignement (Chevallard, 1985), mais se heurte en général au *temps de l'élève*. Les élèves, le plus souvent en retard, vont alors entamer des négociations du contrat, qui se traduiront par des pauses et des reprises, pour modifier la progression du temps didactique.

---

[1] Recherche INRP-ADIREM sur l'évaluation des dispositifs d'enseignement des mathématiques

Quatrième composante : le topo des acteurs et la topogenèse

Dans une séance, chacun, élèves comme enseignant, occupera la place qui lui revient. La notion de *topos* (Chevallard 1999) a été introduite afin de préciser davantage les problèmes d'organisation didactique : « À côté de ces phases où l'élève opère ainsi en interaction didactique, il existe des phases où il est amené à opérer en autonomie didactique, accomplissant des tâches dont il est l'unique acteur, et dont l'ensemble constitue par définition son topo ». Ce topo de l'élève devra être en adéquation avec le contrat global ou local, sinon une rupture ou une évolution se mettra en place plus ou moins facilement.

La méthodologie permet d'analyser la séance en prenant un grain plus fin en utilisant les outils présentés précédemment. La méthode des quatre composantes permet de découper chaque section de la trame ou de l'organisation didactique en fonction d'un changement important de l'état d'une des composantes (milieu, contrat didactique, temps didactique, topos).

Éléments d'analyse de la séance par la méthodologie des 4 composantes

Je présente cette méthodologie sur les premières minutes de la séance de géométrie. L'entrée dans la situation constitue la première phase avec une fonction de première rencontre avec l'organisation mathématique visée et la mise en place des premiers éléments du milieu. Dans une première phase d'une minute, le contrat est assez clair, le maître organise la situation, donnent les premières consignes et les élèves doivent se les approprier. Dans cette première phase, c'est le moment didactique de la connaissance de la notion de polygone régulier, introduite dans des séances antérieures et de la prise d'information d'une nouvelle définition « polyèdre régulier ». Le topo de l'élève se limite à la compréhension de la tâche demandée. On peut dire qu'un premier événement, non problématique et non vraiment relevé par le maître, apparaît avec la remarque d'un élève : « Le maître s'est trompé ».

On peut dégager selon la méthodologie choisie une deuxième phase qui va jusqu'à l'instant 2'10. La fonction didactique est une discussion sur la consigne pendant laquelle apparaît l'événement remarquable provoqué par Mélanie : « La définition est mal écrite! ». Le milieu est modulé par le maître sommé de donner une précision sur la forme de la définition. Le maître doit rentrer dans un contrat d'explication qu'il doit respecter dans cette phase de présentation du problème, des consignes et des éléments de la situation. C'est à lui qui revient d'expliciter tout cela. Cet épisode a fait avancer le temps didactique. On doit savoir maintenant qu'une définition mathématique peut se mettre sous la forme choisie dans ce problème. Les élèves, du moins certains, ont bien pris la responsabilité de questionner le professeur sur l'énoncé du problème et la consigne.

Dans la phase suivante, un autre élément du milieu sera explicité : les faces sont des polygones et une référence explicite au matériel est soulignée.

Je propose une synthèse de ces changements d'état relativement aux quatre composantes et pour les premières phases dans le tableau suivant.

Phases	Début Instant	Fonctions/événement	Le milieu	Le contrat didactique	le temps didactique	Le topo de l'élève
1	0'00	Démarrage et mise en place des premiers éléments du milieu de la situation/ **E : Le maître s'est trompé**	Les consignes Le matériel potentiel	E : S'approprier les consignes pour entrer dans une situation M : organise la situation	Connaître les polygones réguliers. Introduction d'une définition et d'un problème	Responsabilité de comprendre la tâche demandée et de l'envisager
2	1'	Discussion sur la consigne/ **Mélanie : La définition est mal écrite!**	Précision du maître sur la forme de la définition	Le maître doit expliquer la consigne	Une définition peut se mettre sous une certaine forme	Questionner sur la consigne
3	2'10	Rencontre avec la loi didactique à travers la définition/ **Lambert : que des polygones comme faces**	Référence explicite au matériel imposé			

Tableau de changement de phase dans le début de la section 1

J'ai aussi caractérisé les phases par la fonction ou l'enjeu didactique local à l'aide d'une étiquette, elles sont indiquées dans la troisième colonne.

4. Le repérage du système gestes professionnels-gestes d'étude-évènements-ajustements

J'expose dans cette section les développements d'une réflexion (Bronner et Larguier, 2004*a* et 2004*b*; Bronner 2005) sur l'intérêt théorique et pragmatique de ce système pour l'étude de la coactivité du maître et de l'élève.

Les gestes professionnels et gestes d'étude

Nous concevons, au niveau du professeur, les *gestes professionnels* comme des *pratiques* de réalisation de tâches au sens de l'approche anthropologique. Cette théorie amène un autre regard sur le geste professionnel comme étant une *praxéologie* liée à un type de tâches d'enseignement ou à un agrégat de tels types. L'approche anthropologique invite à regarder un *geste professionnel* comme une pratique qui peut s'analyser et se décomposer selon les quatre dimensions proposées par Chevallard : *type de tâches, technique* (manière de réaliser les tâches), *technologie* (justification de la technique) et *théorie* (niveau supérieur de justification). Il existe des praxéologies professorales globales (comme celles qui se constituent autour des types de tâches « construire une séance » ou « construire une progression ») et des praxéologies plus ponctuelles (comme celles liées aux types de tâches « donner une consigne » ou « gérer des réponses d'élèves après un exercice »).

Quant à l'élève, le contrat demande qu'il assure son métier d'élève et mobilise les gestes d'étude adéquats.

Événements prévus – imprévus – incidents critiques

Je convoque ici une autre notion qui nous semble essentielle pour l'analyse de la pratique professorale en situation, celle d'*événement*. L'événement est un fait, qui certes peut être important, mais qui n'est pas lié nécessairement à de l'extraordinaire, et peut être heureux. Bien sûr, nous nous intéresserons aux faits marquants et significatifs relativement à des objets de recherche et d'analyse, mais pas forcément l'exceptionnel, le catastrophique…

Un événement portera sur des objets très divers, il peut être de nature relationnelle, cognitive, institutionnelle… Mais je me centre ici sur ceux qui peuvent être qualifiés de didactiques, au sens où un fait a une incidence sur le projet, les actions didactiques ou encore sur les connaissances des différents acteurs de la situation.

Un premier caractère est celui de prévisibilité. Une partie des événements est liée à la contingence en lien avec les interactions effectives dans la réalité de la situation didactique. L'événement est parfois prévisible, comme parfois imprévisible, pour l'observateur comme pour les acteurs, et c'est à travers le couple prévu-imprévu dans le cadre du contrat didactique, que les événements prennent leur signification. C'est par rapport à un projet ou à une analyse a priori qu'un sujet peut décider si un événement est prévu ou imprévu.

J'appelle ainsi *imprévu* tout événement non prévu par le professeur ou qui semble non prévu du point de vue du chercheur compte tenu des données empiriques, relativement au projet didactique.

Un deuxième caractère est celui de la problématicité. Qui dit imprévu ne veut pas dire problématique nécessairement! Il existe des imprévus qui ne sont pas problématiques, et l'on parle même parfois, on l'a vu, d'événement heureux, par exemple un élève qui donne une solution non prévue a priori à un problème, mais solution juste qui s'intègre aux autres réponses. Je dirai qu'un événement est problématique s'il semble provoquer une *perturbation didactique*, autrement dit s'il s'agit d'un événement qui provoque une perturbation au niveau du projet didactique de l'enseignant.

Lorsque ces deux caractères se croisent, nous pouvons avoir de l'imprévu problématique. Dans ces conditions, je parlerai alors d'*incident critique.*

Le geste professionnel entre intentionnalité et ajustement

Si l'action du professeur est un agir cela ne veut pas dire qu'il n'y a ni intentionnalité dans l'agir, ni rationalité, ni improvisation. L'intentionnalité relève de différents niveaux, dont certains peuvent être prévus. Intentionnalité ne veut pas dire rigidité, d'autant plus qu'elle se confronte nécessairement à des éléments contingents dans la situation de classe. L'agir humain est en fait un remodelage incessant d'actes et de pratiques, hérités, combinés, et métissés de collectif et de singularité (Gebauer et Wulf 2004). D'autre part, la modélisation que nous proposons n'exclut pas que le développement des gestes professionnels se réalise avec « une dimension symbolique dans laquelle les praticiens sont reconnus dans leur sensibilité émotive et affective. […] Loin d'apparaître comme un stratège de séquences de formation, le praticien envisage aussi son action avec son imaginaire, sa volonté, son désir, ses valeurs, ses incertitudes, ses croyances » (Jorro 2002). Le geste professionnel, comme toute pratique, est situé dans un rapport à un contexte et à l'action combinant des aspects opératoires, cognitifs, psychologiques et sociaux, et à ce titre les différentes dimensions de l'apprentissage vont modeler sa formation et son développement.

Les gestes professionnels d'un enseignant participeront à façonner son style propre et son rapport personnel (Chevallard 1992) relativement à l'aide à l'étude qu'il doit réaliser dans sa fonction : « *Le style est donc un « mixte » qui décrit l'effort d'émancipation du sujet par rapport à la mémoire impersonnelle et par rapport à sa mémoire singulière, effort toujours tourné vers l'efficacité de son travail* » (Clot *et al.*, 2000).

Nous pouvons voir ici le lien avec un autre versant du geste professionnel, celui lié à la notion d'*ajustement*. Un geste professionnel n'est pas une entité rigide, figée, mais constitue une structure dynamique qui doit faire l'objet d'adaptations permanentes, comme le sont ou devraient l'être les gestes d'étude d'un apprenant. L'ajustement est l'adaptation d'un geste professionnel par rapport à des contraintes de la situation. Il n'a de sens que par rapport à une intentionnalité, un projet, ou encore une analyse a priori de la situation, il ne peut se discerner que dans une confrontation entre le geste professionnel, prévu ou possible, et la réalisation effective de ce geste dans la dynamique de l'action. L'ajustement est une capacité à adapter le scénario de la séance à la contingence et aux contraintes de la situation de classe réelle, c'est une qualité du geste professionnel, qui doit être *par essence* ajustable. L'ajustement peut concerner différents niveaux, le projet didactique (le professeur peut décider de clôturer une situation en fonction d'un état de celle-ci) comme un geste lié à un épisode plus local (le professeur peut prendre en compte ou non la parole d'un élève). L'ajustement est aussi ce qui peut faire le lien entre plusieurs gestes professionnels, et notamment, il peut conduire à déclencher un geste professionnel non prévu a priori, mais nécessaire pour répondre à un événement imprévu dans la dynamique du déroulement du cours.

Les situations et les évènements vont contraindre les gestes à des adaptations, modifications, ajustements, plus ou moins importants, qui ouvrent des espaces d'incertitude et de prise de risque plus ou moins grands selon les décisions prises. Devant des évènements et des perturbations de nature très diverses, et parfois des incidents critiques, l'enseignant doit *réagir*, pour retrouver un nouvel équilibre au niveau de la situation et de son projet didactique. Ces réactions sont aussi de différentes natures, marquées par le style propre de l'enseignant, mais assujetties aux diverses contraintes de codétermination didactique (Chevallard, 1999).

Exemple d'étude d'évènements

À l'intérieur des différentes phases d'une séance de classe, des événements sont parfois significatifs. Nous présentons tout d'abord une identification des évènements lors des 7 premières minutes de la séance qui correspondent à un premier moment collectif consacré à la lecture et à l'explicitation de la consigne. Ces évènements apparaissent en gras dans la dernière colonne du tableau suivant :

Phases	Instant	Fonctions didactiques	événements
1	0'00	Démarrage	**E : J.P. tu t'es trompé**
2	1'	Discussion sur la consigne	**Mélanie :** ***La définition est mal écrite!***
3	2'10	Rencontre avec la loi didactique	**Lambert** ***: que des polygones comme faces***
4	2'25	Explicitation de certains termes	**Marine : C'est quoi convexe**
5	3'40	Explicitation de la deuxième règle	M : Donc Les polygones réguliers depuis hier vous savez ….
6	4'40	Explicitation de la troisième règle	M : Deux à deux superposables ça veut dire quoi?
7	5'30	Explicitation de la troisième règle	M : Tels que à tous les sommets corresponde un même nombre de faces **alors ça c'est un peu compliqué**

Évènements lors du premier moment collectif (durée : de 0 à 7'14)

Nous illustrons ici la poursuite de l'analyse sur deux évènements.

Évènement 1 : « Une définition qui n'en est pas une pour les élèves et les « deux points » (:) sur le devant de la scène »

L'évènement se situe dans la première phase de « mise en place du milieu de la situation ». Il se déroule dès le début de la séance et nous allons montrer qu'il s'agit d'un événement que nous qualifions d'imprévu-problématique, mais la problématicité est évacuée par le maître. Rappelons un élément sur la feuille de consignes « Un polyèdre régulier est un polyèdre » et donnons quelques échanges langagiers :

Corpus
E : « Jean Pierre tu t'es trompé tu as mis un polyèdre régulier et tu as mis un polyèdre » E : y'a pas une faute ici
deux points.
«Non, mais Il a mis deux points »
« Chut on va en parler donc chut on laisse à chacun le temps de lire on en parle ensemble en mise en commun ».
« Chut on va en parler donc chut on laisse à chacun le temps de lire on en parle ensemble en mise en commun ».
« pour l'instant on lit tout ça dans sa petite tête »
« Chutttttttttttt »

Un élève interpelle le maître pour dire « tu t'es trompé »; il semble que l'élève rencontre un conflit avec la structure langagière verbale écrite. La proposition est prise comme un tout, elle semble « close » : Un polyèdre régulier est un polyèdre. L'élève a fait une césure, une troncature syntaxique, dans la définition. La forme commence à faire l'objet d'échanges entre les élèves : « Non, mais Il a mis deux points » … Ces « deux points » arrivent sur le devant de la scène alors que dans d'autres scénarios ils seraient passés inaperçus. Le maître referme l'événement ici pour des raisons « pédagogiques » : « Chut on va en parler donc chut on laisse à chacun le temps de lire on en parle ensemble en mise en commun ». Ce point ne sera plus l'objet d'un échange dans la mise en commun. On peut dire ici qu'il s'agit en fait d'un événement imprévu et avec une problématique assez faible, ou du moins la problématicité ne se fait sentir immédiatement et est évacuée par le maître.

Le geste du maître consiste ici, face à une tâche de gestion d'une question d'élève, à rejeter pour des raisons de gestion ou d'organisation. On peut cependant se demander si la remarque, ironique, et légèrement moqueuse, « pour l'instant on lit tout ça dans sa petite tête » ne traduit pas une légère irritation en raison de la remarque ou de l'agitation désordonnée qui la suit. En effet, le calme régnant du début de la situation a fait suite à des réactions vives des élèves, poussant le maître à un « Chutttttttttttt » soutenu, puis à clore l'événement par la phrase rappelée précédemment.

Évènement 2 : « Mélanie et les 1, 2, 3 et 4 »

L'évènement se situe encore dans une phase de « mise en place du milieu de la situation ». Il se déroule aussi dès le début de la séance à la première minute et nous interpelle à propos du statut du mot « règle ». Un élément sur la consigne est à l'origine de cet événement. Rappelons la définition donnée et quelques échanges langagiers :

Un polyèdre régulier est un polyèdre :
(1) convexe
(2) dont les faces sont des polygones réguliers
(3) deux à deux superposables
(4) tels qu'à tous les sommets correspondent un même nombre de faces

Corpus
Mélanie : Euh il y a marqué un deux trois quatre moi je pensais que ça serait une phrase parce que quand on le lit ça s'attache
Maître : Donc en fait effectivement tu as raison c'est donc ça devrait faire une phrase un polyèdre régulier est un polyèdre convexe un c'est la première règle hein vous vous souvenez là l'autre jour on a essayé de voir ce que c'était qu'un polygone régulier on a mis deux règles là pour dire que c'est un polyèdre euh
« première règle…c'est la deuxième règle…troisième règle .. ».

Nous percevons, à travers cet échange langagier, une certaine conception de la notion de *définition* d'un objet mathématique : On devrait avoir une *phrase, avec tout qui s'attache*, et non cette forme d'organisation de l'écrit avec une nominalisation « polyèdre régulier », suivi des deux points, puis d'une liste numérotée d'items. On note ainsi au passage, ou on pointera encore s'il le fallait, que la forme de la définition, dans le registre de l'écrit, a une influence notable. Nous l'éprouvons ainsi encore dès les premières minutes de la séance. Le maître est ainsi amené à jouer sur le registre de l'oral en scandant « première règle…c'est la deuxième règle… troisième règle… », en faisant référence à un mot partagé : « règle ».

Notons aussi qu'une « règle » reste implicite, alors qu'elle est première dans la forme comme dans l'objet, c'est la règle 0 : « être un polyèdre ».

Cet événement produit alors un ajustement au niveau du maître qui se traduit par un travail de la structure syntaxique de la définition. Les évènements précédents interrogent le statut de l'objet *définition* à l'école et notamment celui dans cette séance. Il semble que le statut donné soit celui d'une conception poppérienne comme la caractérise Ouvrier-Buffet (2003) :

- Rejet l'essentialisme aristotélicien;
- Nominalisme; aspect abréviation favorisé;
- Ne rien dériver d'une définition;
- Résistance aux réfutations.

Le texte « consigne » et la définition font office de *texte de loi didactique,* et constituent le cadre des interactions langagières et non langagières. En dehors d'un aspect culturel, on peut se demander si la définition était utile, au moins au début, et ne parasite pas le travail effectif sur le type de tâches T1. Cet évènement fait ressortir un questionnement didactique à propos de la place d'une définition : quand faut-il l'introduire, comment et sous quelle forme? Les mots polyèdres, polyèdres réguliers, faces, convexes, etc. sont cependant nécessaires pour constituer une communauté de pratiques et discursives pour des géomètres en herbe. Mais la question du système minimal, éventuellement générateur, du vocabulaire est à la fois un problème de didactique et de théorie langagière.

Conclusion

J'ai essayé de montrer comment le cadre théorique et méthodologique présenté m'a permis d'analyser de ce qui se joue dans une séance d'enseignement des mathématiques et de caractériser les gestes professionnels de l'enseignant, les gestes d'étude des élèves et leurs interactions. À travers l'étude des interactions langagières et non langagières de cette séance, nous avons essayé de dégager la coactivité du maître et des élèves. Les échanges langagiers ont été ici décisifs pour les interprétations afin de dégager la complexité des gestes d'étude et des gestes professionnels. D'autres outils complémentaires sont parfois nécessaires pour fournir une grille adaptée à des types de savoirs, de situations ou de domaines particuliers. Nous avons ainsi mis en place un *filtre du numérique* (Bronner, 2007, Larguier 2009) pour spécifier davantage nos recherches dans un *observatoire des pratiques enseignantes du numérique* dont on pourra voir une mise en œuvre dans la communication de Mirène Larguier (à paraître) dans ce même colloque.

Références

Berger M. (1978), Convexes et polytopes, polyèdres réguliers, aires et volumes. Paris : Cedic/Fernand Nathan

Bronner A. (2005) L'analyse du travail (didactique) du professeur de mathématiques dans la classe; Apports des savoirs didactiques universitaires, Symposium « didactique comparée », REF 2005, Université Montpellier III

Bronner, A., (2006) « Installation et régulation par l'enseignant de l'espace parole-pensée-actions-relations. Gestes d'étude, Gestes professionnels, évènements et ajustements ». Journées d'études IVDA, Lyon 19-20 mai 2005, Presses Universitaires de Franche-Comté

Bronner, A. (2007). La question du numérique : Le numérique en questions. Mémoire d'HDR, université Montpellier II.

Bronner, A., (2009), L'analyse du travail didactique du professeur dans la classe, Ouvrage collectif sous la direction de Dominique Bucheton, L'agir Enseignant : Des gestes professionnels ajustés, Octarès

Bronner A., Bellard N., Girmens Y., Larguier M., Pellequer S., Roche M., Seco M. & Vergne C. (2003). Faire ou ne pas faire des mathématiques, Des outils d'étude, Exemple dans le cas de l'étude du signe du binôme. In J. Coulomb, J. Douaire et R. Noirfalise (Eds.) Faire des maths en classe? Didactique et analyse de pratiques enseignantes. Paris : INRP.

Bronner A. et Larguier M. (2004a), Analyse didactique de la séance carte de géographie, symposium « La réflexivité des langages, instruments de travail du professeur et des élèves: points communs et spécificités disciplinaires », Colloque AIRDF, 26, 27 et 28 août 2004, Québec.

Bronner A. et Larguier M. (2004b), Le rôle du langagier dans la construction des savoirs mathématiques, Communication, Colloque AIRDF, 26 , 27 et 28 août 2004.

Bronner, A. & Peltier-Barbier, M.L. (2003). « Un regard didactique ». In Blanchard-Laville C. (Ed.), Une séance de cours ordinaire, « Mélanie tiens passe au tableau… ». Paris : L'Harmattan.

Brousseau G. (1986), Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques RDM Vol. 7/2, La pensée sauvage.

Brousseau G. (1998). La théorie des situations didactiques. La Pensée Sauvage.

Chevallard Y. (1985), La transposition didactique. La pensée sauvage.

Chevallard, Y. (1992), Concepts fondamentaux de la didactique: Perspectives apportées par une approche anthropologique, RDM Vol 12/1, La Pensée Sauvage.

Chevallard Y. (1997), Familière et problématique, la figure du professeur, RDM vol17/3

Chevallard Y. (1999), L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique, RDM 19/2. La Pensée Sauvage.

Clot, Y. (1999), La fonction psychologique du travail, Paris, PUF.

Clot, Y., Faïta D., Fernandez, G., Scheller, L. (2000). Les entretiens en auto-confrontation croisée : une méthode en clinique de l'activité. Pistes, n° 2, www.unites.uquam.ca/pistes.

Gebauer G. et Wulf C. (2004), Jeux, rituels, gestes : Les Fondements mimétiques de l'action sociale, Collection : Anthropos-anthropologie, Economica

Houdement C. & Kuzniak A. (1999), Un exemple de cadre conceptuel pour l'étude de l'enseignement de la géométrie en formation des maîtres. Educational Studies in Mathematics 40 page 283-312. Kluwer

Jorro A. (2002), Professionnaliser le métier d'enseignant, ESF éditeur, collection pratiques & enjeux pédagogiques

Larguier, M. (2005). Les reprises des domaines numérique et algébrique en classe de seconde. Mémoire de DEA, Université Montpellier II.

Larguier, M. (à paraître). Étude clinique de la classe de mathématiques en France : une posture particulière du chercheur pour identifier des « problèmes de la profession ». Troisièmes Rencontres Scientifiques Universitaires Montpellier – Sherbrooke 6-8 octobre 2010, colloque « La classe de sciences, mathématiques et technologies comme objet d'étude : quels problématiques, cadres de références et méthodologies et pour quels résultats? ».

Ouvrier-Buffet, C. (2003) Construction de définitions/construction de concept : vers une situation fondamentale pour la construction de définitions. Thèse. Grenoble-Leibniz. France

ANALYSE DE PRATIQUES D'ENSEIGNANTS : EXEMPLE DE LA MESURE

Patricia Marchand et Marie-Pier Morin
CREAS, Université de Sherbrooke

1. Introduction

Ici comme ailleurs, les mathématiques occupent toujours une place centrale dans la formation primaire et secondaire des élèves. Par contre, son enseignement a récemment été bousculé par la mise en place du renouveau pédagogique. Chaque fois qu'une réforme est introduite dans les classes, les mêmes questions surviennent : Les pratiques des enseignants sont-elles modifiées ou enrichies? Si oui, dans quel sens? Les élèves réussissent-ils mieux dans ce nouveau contexte? Les intentions derrière l'implantation de la réforme, tant didactiques que pédagogiques, sont-elles visibles en classe? Ce renouveau pédagogique entraîne nécessairement de nouveaux enjeux pour les enseignants et également de nouveaux défis pour la recherche. Notre projet s'intéresse à la première question soulevée précédemment. Un des principaux volets de la réforme au Québec est l'importance attribuée à la résolution de problèmes tant en mathématiques, comme moyen d'apprentissage et objet d'étude, qu'en tant que compétence transversale, ouvrant la porte vers les autres matières.

Mais, qu'entendons-nous par pratique enseignante? Comment pouvons-nous décrire cette pratique? Sur quels cadres de référence pouvons-nous nous appuyer? Comment exploiter les cadres déjà existants? Pour notre part, nous avons opté pour le cadre de Robert et Rogalski (2002), partagé par plusieurs membres de notre centre de recherche, afin d'envisager une voie applicable dans d'autres contextes d'enseignement. Robert (2001) définit la « pratique enseignante », comme étant :

« …l'ensemble des activités de l'enseignant qui aboutissent à ce qu'il met en œuvre en classe. Nous tenons compte des projets plus ou moins implicites activés au moment de la préparation des séances. Ces projets correspondent à une actualisation des conceptions sur les mathématiques et leur enseignement et aux connaissances mathématiques qui sont celles de l'enseignant. » (p.66)

En ce sens, nous pouvons comprendre qu'une telle pratique n'est pas transparente et qu'il y aura fort probablement plusieurs zones grises inatteignables. L'origine de ces zones a deux sources plausibles selon Robert (dans Roditi, 2005). Elle peut relever des buts visés spécifiquement pour l'apprentissage des élèves ou encore, plus globalement, être en lien avec les conditions d'exercice du métier d'enseignant. Ces deux variables ne vont pas toujours de pair, il peut exister des tensions ou même des contradictions entre les deux. Par exemple, la variable temps peut parfois mener l'enseignant à terminer une tâche ou donner la réponse plus rapidement que prévu aux élèves. Cette décision, en action, est prise pour répondre aux conditions d'enseignement, mais elle n'est pas nécessairement cohérente avec la progression d'enseignement que préconise l'enseignant pour valoriser l'apprentissage des élèves. Ainsi, afin de mieux

comprendre et décrire la pratique enseignante, nous devrons tenir compte de ces deux sources d'explication.

Ce questionnement donne les grandes orientations de notre recherche. Ainsi, l'objectif général vise à décrire la pratique d'enseignement[1] de deux enseignants dans le cadre de l'enseignement de la mesure. Pour ce faire, nous déclinons cet objectif en deux catégories de questions :

1. Comment décrire cette pratique d'enseignement? Le cadre de Robert et Rogalski peut-il nous aider à décrire les pratiques des enseignants en mathématiques?
2. Quelle est la pratique d'enseignement des deux enseignants ciblés pour l'enseignement de la mesure dans un contexte de résolution de problèmes? Est-elle la même pour les deux enseignants?

Afin de répondre à ces questions, nous devons élaborer davantage les éléments repris du cadre de référence de Robert et Rogalski sur les pratiques enseignantes, ainsi qu'un cadre de référence mathématique. La section suivante est consacrée à ces précisions.

2. Cadre conceptuel

Le cadre conceptuel présenté ici est bidimensionnel; il repose sur deux volets distincts. Pour le premier choix conceptuel, nous avons opté de poursuivre l'exploitation du cadre de référence de Robert et Rogalski (2002) afin de décrire les pratiques d'enseignement de nos deux cas d'étude. Ce choix sera détaillé ci-après. Pour ce qui est du domaine mathématique ciblé, soit la mesure, nous devions également faire un choix de concept. Étant donné notre expertise, l'aire sera l'objet d'apprentissage visé par les leçons analysées. Nous décrivons, lors de la deuxième section de ce cadre, les grandes lignes de l'analyse conceptuelle de l'aire qui nous a servi de point de référence.

2.1 Cadre de référence pour l'analyse des pratiques enseignantes

Le cadre de référence que proposent Robert et Rogalski (2002) est fondé à la fois sur la psychologie ergonomique et la didactique des mathématiques. Cette dualité va spécifiquement nous permettre d'émettre des pistes d'inférence autant pour l'avancement potentiel des apprentissages des élèves que pour les contraintes et marges de manœuvre que possède l'enseignant en tant que professionnel dans l'exercice de son métier.

La dimension didactique du travail de l'enseignant est déterminée principalement par son projet d'avancement potentiel des apprentissages des élèves et sa réalisation en classe. Ainsi, pour analyser cette première dimension, nous devons nous attarder, a priori, à l'analyse de la planification de la leçon, ainsi qu'à sa réalisation effective de classe. Le but est de mieux comprendre comment l'enseignant effectue le lien entre son projet d'enseignement et sa pratique en classe. Il est, par conséquent, nécessaire d'entreprendre une analyse détaillée et précise, à la fois de la préparation de la leçon et du déroulement effectif de la leçon

[1] Le terme «pratique d'enseignement» sera utilisé pour la suite de cette étude, étant donné que nous pouvons qu'observer une seule séance pour chacun des enseignants, nous ne pouvons parler de «pratique enseignante», mais bien de la pratique de cet enseignement spécifique. Nous trouvions que le terme était trop fort pour la portée de cette étude exploratoire.

en classe en ciblant les tâches que propose l'enseignant, des activités que celles-ci engendrent chez les élèves et de l'accompagnement en termes de médiations que préconise l'enseignant pour chacune des tâches proposées. (Robert, dans Roditi, 2005)

La dimension ergonomique de ce cadre met en évidence le caractère professionnel en situation de travail de tout enseignant. Ainsi, Robert (dans Roditi, 2005) précise l'existence de contraintes globales liées à ce métier tels les facteurs sociaux (habitudes collectives, conditions de travail satisfaisantes, renforcement de la qualité des relations maître-élèves, la confiance et motivation des élèves, considérations des autres intervenants, implication personnelle, etc.) et institutionnels (programme de la classe, de l'école, de la commission scolaire, du ministère, etc.). À l'intérieur de cet environnement dynamique, l'enseignant dispose de certaines marges de manœuvre. Elles se manifestent habituellement par des constats différents ou divergents issus de l'analyse didactique précédente (dimension didactique).

Cette double approche de Robert et Rogalski repose également sur les notions de tâche et d'activité. Par tâche, nous entendons le but qui est à atteindre (Leplat, 1997) et plus spécifiquement l'énoncé du problème mathématique proposé à l'élève (Robert, 2001). Il y a différents types de tâches : les tâches prescrites du point de vue de l'institution et du programme qui doivent se dégager des textes officiels; les tâches attendues qui représentent les attentes plus spécifiques de l'enseignant en lien avec le contenu mathématique ciblé; les tâches redéfinies qui constituent la perception ou la représentation que l'enseignant se fait a priori; et, les tâches effectives que l'enseignant réalise, in situ, dans la classe ainsi que les tâches que les élèves réalisent effectivement et qui ne correspondent pas nécessairement aux tâches de départ ou implicitement visées par l'enseignant. (Rogalski, 2003) Ce projet se concentre majoritairement sur les tâches effectives, car l'analyse porte sur la pratique en classe des deux enseignants et touche sommairement aux tâches prescrites afin d'en extraire certaines sources d'explication. En contrepartie, la méthodologie retenue ne nous permettra pas d'étudier les tâches redéfinies et attendues des enseignants.

Ces tâches génèrent des activités autant du point de vue des élèves que de l'enseignant. Par activité, nous entendons « ce que développe un sujet lors de la réalisation de la tâche : non seulement ses actes extériorisés, mais aussi les inférences, les hypothèses qu'il fait, les décisions qu'il prend, la manière dont il gère son temps, mais aussi son état personnel. » (p.349, Rogalski, 2003) Du point de vue de l'enseignant, l'activité est définie par son projet d'enseignement visant l'avancement des apprentissages des élèves pour un contenu mathématique donné. Ainsi, l'analyse de l'activité de l'enseignant suppose que nous observions comment il traduit son projet d'enseignement en classe en mettant en lumière les invariants, les contraintes et les marges de manœuvre de son enseignement. Il y a des contraintes fortes à considérer dans un tel contexte : des contraintes externes comme le programme en vigueur pour cet enseignement, les horaires exigés par l'école et le ministère, la composition des classes ordinaires et les divers us et coutumes des institutions d'enseignement (école, commission scolaire et ministère) et, des contraintes internes comme les conceptions personnelles de l'enseignant quant au contenu et son enseignement, ses compétences et expériences, ses habitudes quotidiennes, la recherche d'une zone de confort, de satisfaction et la nécessité d'une insertion sociale (p.61, Robert, 2001). Du point de vue de l'élève, son activité « se compose de son action (ce qui est fait, dit, écrit, mais encore ce qui est vu ou entendu) et de la pensée qui accompagne cette action (aussi bien ce qu'il a pensé pour faire, ce qu'il pense en faisant et ce qu'il pensera juste après l'avoir

fait) » (p.23, Roditi, 2005). L'activité effective de l'élève n'étant donc pas également transparente, nous devrons avoir recours à des inférences et une reconstitution de cette activité a posteriori. Par contre, dans le cadre de ce projet, notre attention sera tournée vers l'enseignant et l'activité de l'élève sera analysée dans le but de mieux comprendre la pratique de l'enseignant. Il ne fera donc pas l'objet d'une analyse systématique.

Afin de pouvoir analyser les activités et tâches de l'enseignant et des élèves, nous devions faire une analyse a priori des leçons, une analyse de la séance de classe et un retour sur cette séance avec l'enseignant. Ces étapes seront détaillées lors de la méthodologie, mais la deuxième phase de cette démarche implique une caractérisation des médiations en classe et pour ce faire nous avons défini six catégories d'indicateurs. Certains de ces indicateurs recoupent les incidents identifiés par Roditi (2005), mais étant donné que nous ne pouvons pas, avant l'étape de l'analyse, caractériser ces médiations d'incidents ou non, nous retenons le terme « indicateur » qui nous semble plus neutre pour ce projet. De plus, étant donné que nous nous intéressons à la pratique d'enseignement, nous ne voulons pas retenir que les incidents, mais plutôt caractériser toutes les médiations en lien avec l'apprentissage mathématique ciblé de chacun des enseignants afin d'en dégager un portrait global. Il est à noter également que chacun de ces indicateurs peut être initié soit par l'enseignant ou les élèves. Le tableau qui suit décrit brièvement chacun des indicateurs retenus afin de caractériser les médiations en classe :

Indicateurs	Elève	Enseignant
Engagement	L'élève démontre verbalement ou gestuellement qu'il est engagé dans la tâche. Ex. : l'élève pose une question à l'enseignante dès le début de la tâche.	Gestion de l'enseignant. Ex. :l'enseignant décide de ne pas répondre immédiatement à l'élève car sa question porte directement sur l'obstacle de la tâche visée.
	Réaction de l'élève. Ex. : l'élève reprend son travail ou encore manifeste son enthousiasme (youpi!).	L'enseignant encourage les élèves. Ex. : «C'est parfait, continue!», «Je vous donne un nouveau défi!».
Ajustement	L'élève demande une précision sur la tâche ou la consigne. Ex. : l'élève demande s'il doit utiliser l'équerre pour trouver la hauteur de son triangle.	Gestion de l'enseignant. Ex. : l'enseignant répond qu'il doit plutôt se fier aux mesures déjà inscrites sur la figure.
	Réaction de l'élève. Ex. : l'élève acquiesce la précision et poursuit son travail.	L'enseignant apporte une précision sur la tâche. Ex. : l'enseignant précise que les parties de la feuille ne sont pas congrues.
Difficulté	L'élève exprime une difficulté. Ex. : l'élève mentionne qu'il a un blocage et ne sait plus comment continuer sa résolution.	Gestion de l'enseignant. Ex. : l'enseignant décide de relancer la question de l'élève aux autres membres de son équipe.
	Réaction de l'élève. Ex. : les élèves répondent à cette question en comparant la réponse proposée et celle qu'ils ont obtenus.	L'enseignant provoque une discussion en présentant une difficulté d'un élève. Ex. : l'enseignant donne un résultat intermédiaire et relance la classe - Il a trouvé 2% pour l'espace réservé aux photos, qu'en pensez-vous?
Solution	L'élève exprime sa solution, sa stratégie ou son raisonnement (adéquate ou non). Ex. : l'élève explique comment il a utilisé les mesures de la figure pour trouver son aire.	Gestion de l'enseignant face à cette solution adéquate ou non. Ex. : l'enseignant écoute la solution de l'élève et le motive à poursuivre.
	Réaction de l'élève. Ex. : l'élève commente la solution proposée en lien avec la sienne et sa validité.	L'enseignant présente une solution plausible. Ex. : l'enseignant mentionne qu'un élève d'un autre groupe a procédé d'une façon différente et il expose cette procédure aux élèves.
Validation	L'élève cherche à faire valider sa solution auprès de l'enseignant. Ex. : l'élève demande explicitement si sa solution est adéquate.	Gestion de l'enseignant. Ex. : l'enseignant décide de lui relancer sa question.
	Réaction de l'élève. Ex. : l'élève répond à l'enseignant en décrivant son raisonnement mathématique.	L'enseignant demande une validation de la part des élèves. Ex. : l'enseignant demande à un élève de justifier son raisonnement ou le résultat obtenu.
Institutionnalisation	L'élève exprime un savoir construit, soit celui visé par la leçon ou la séquence d'enseignement. Ex. : l'élève verbalise le raisonnement permettant de découvrir la formule de l'aire du trapèze.	Gestion de l'enseignant. Ex. : l'enseignant acquiesce ou non l'explication fournie par l'élève.
	Réaction de l'élève. Ex. : l'élève répond à l'enseignant en donnant une explication à cette formule d'aire.	L'enseignant expose des savoirs construits aux élèves ou encore, il en fait la demande aux élèves. Ex. : l'enseignant demande aux élèves d'expliquer la formule de l'aire du losange.

Tableau 1. Les six catégories d'indicateurs considérées pour cette étude

L'aspect didactique étant plutôt absent à ce grain d'analyse; ce premier niveau n'est pas satisfaisant, selon nous, pour décrire les pratiques d'enseignement des deux enseignants. Par conséquent, nous avons décrit chacun des indicateurs à l'aide de mots-clés. Voici les principaux mots-clés retenus : donne des consignes, explique, reformule, redirige le travail, ajoute une tâche, fait un retour, oriente, questionne, verbalise,

précise, exprime une solution, exprime une difficulté, écoute, motive, raisonne, répond, identifie, dessine et construit.

Ce deuxième niveau d'analyse permet de décrire la nature des médiations réalisées en classe lors de l'identification à l'aide des indicateurs. Mais, sur quoi l'explication porte-t-elle? Comment l'enseignant oriente-t-il l'élève?… Pour répondre à ces questions, il nous a semblé pertinent d'étendre notre analyse à un troisième et dernier grain d'analyse, soit celui de l'identification du contenu didactique de l'ensemble des médiations pour un même mot-clé. Par exemple, si l'analyse met en évidence que l'enseignant gère majoritairement les difficultés des élèves en expliquant, il nous faut retourner aux transcriptions afin de préciser le contenu de ces explications. Ainsi, il pourrait expliquer à nouveau les consignes du problème, il pourrait expliquer la démarche de résolution, il pourrait expliquer la solution d'un autre élève, il pourrait expliquer la solution d'un problème similaire que les élèves ont déjà résolu… Plusieurs voies didactiques peuvent être envisagées et par conséquent, la description de la pratique de cet enseignant ne peut être réduite qu'à l'analyse du contenu de ces médiations. Avec ce troisième niveau, nous pouvons décrire la pratique d'enseignement des deux études de cas, autant du point de vue de la didactique que du point de vue de l'ergonomie.

2.2 Analyse conceptuelle de l'aire

Une analyse conceptuelle sur l'aire a préalablement été réalisée. Elle comportait cinq aspects :

1. Les aspects mathématiques de la notion d'aire : définitions, formules et principaux raisonnements. La définition la plus élémentaire étant que l'aire représente la mesure de la surface. Les formules des quadrilatères, du triangle, du disque, de l'ellipse, des polygones réguliers et des divers solides ont été énoncées et illustrées. Pour les raisonnements, nous avons fait référence au dénombrement, à la déduction et à l'estimation.

2. Les aspects historiques : Chronologie et obstacles. Dans ce volet, les premières formules d'aire trouvées par les mathématiciens sont expliquées (par exemple, les premières formules de l'aire du disque sous ses diverses déclinaisons). De plus, les principaux obstacles historiques sont soulevés, comme le concept de pi, celui de l'infini, le système standard ou encore la quadrature du cercle.

3. L'aspect de l'enseignement : progressions d'enseignement possibles, étapes importantes, principales verbalisations liées à ce concept, diverses contextualisations pertinentes, matériel à valoriser et, plus globalement, divers modèles de développement de la pensée géométrique. Nous avons illustré globalement le type de progression à envisager pour ce concept et, par la suite, l'ordre éventuel d'introduction des formules en classe. Pour chaque formule, nous avons explicité les possibles afin d'augmenter la compréhension de la formule et non simplement son application systématique. Le matériel usuel pour ce concept est présenté, par exemple, les tuiles d'une salle de bain. Enfin, ces choix sont appuyés par différents cadres de référence exprimant le développement de la pensée géométrique : nous pensons à Herscovics et Bergeron (1988), van Hiele (1959), Hoffer (1977), De Villiers (2003) et Dion, Pallascio et Papillon (1985).

4. L'aspect de l'élève : idées intuitives du concept, fausses conceptions, obstacles, difficultés et erreurs les plus fréquentes commises par ces derniers. (Piaget, Inhelder et Szeminska, A. 1948; Piaget, 1973; Héraud, 1991; Brousseau, 1987)

5. Finalement, un regard curriculaire a été considéré pour décrire l'évolution du concept à travers les divers programmes de formation et ses liens avec d'autres domaines mathématiques, liens intradisciplinaires, et les liens que nous pouvons envisager avec d'autres matières, et donc les liens interdisciplinaires.

2.3 Objectif général et questions de ce projet

Les composantes conceptuelles présentées nous ont permis de préciser notre objectif et nos questions de recherche. Notre but, pour ce projet, vise donc de décrire la pratique d'enseignement d'enseignants sur le concept d'aire dans un contexte de résolution de problèmes selon deux dimensions, soit didactique et ergonomique.

1. Comment décrire la pratique d'enseignement de ces deux enseignants à l'aide du cadre de référence de Robert et Rogalski en termes de tâches, d'activités et de médiations? L'exploitation de ce cadre peut-elle être adaptée à d'autres études de cas en mathématiques et en sciences?
2. Quelle est la pratique d'enseignement de ces enseignants en lien avec le concept d'aire en résolution de problèmes? Quelles sont les catégories de médiation les plus fréquentes? Quelle est la nature didactique de ces médiations et à quel contenu mathématique se réfèrent-elles? Quelles sont les contraintes et les marges de manœuvre que possèdent ces enseignants dans un tel contexte? Les deux enseignants possèdent-ils des pratiques d'enseignement convergentes ou non?

3. Méthodologie

La démarche méthodologique retenue afin de répondre aux questions précédentes est maintenant brièvement présentée.

Pour notre échantillon, nous avons choisi deux enseignants volontaires. Il faut noter qu'il n'y a pas de critères de sélection. Au début de chaque année, les enseignants intéressés sont rencontrés par le chercheur principal; les objectifs de recherche et de développement ainsi que le déroulement des activités leur sont présentés. Après quoi, ils décident de participer ou non au projet.[2] Ils ont tous deux préparé une leçon traitant du même concept géométrique (l'aire), lesquelles ont été filmées.

Pour chacun de ces enseignants, nous disposons des préentrevues et les postentrevues liées à chacune des leçons des enseignants (voir Hasni, sous presse), le document de base de chacune des leçons (extrait de la planification) et les leçons, captées sur les enregistrements vidéo.

La démarche d'analyse se déploie en quatre phases, soit l'analyse a priori, l'analyse a posteriori, la comparaison de ces deux analyses et l'analyse croisée des deux leçons ciblées.

---

[2] Ce recueil des données s'inscrit dans le cadre d'une recherche plus vaste menée par Hasni et collaborateurs intitulée *Compétences professionnelles en enseignement des sciences, technologies et mathématiques au secondaire*, subventionnée par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG, *2005-2011,* nº 319745-2005).

Phase 1 : Analyse a priori

Dans le cadre de ce premier niveau d'analyse, nous avons étudié le contenu et le champ mathématique visés par la leçon selon la reconstruction du projet de l'enseignant à partir des données brutes et de notre analyse conceptuelle. Ensuite, l'analyse du document de travail fut réalisée et les aspects suivants ont été caractérisés : la nature du problème proposé, les tâches demandées, les ressources mises à la disposition des élèves, les résolutions plausibles et erronées et les variables didactiques (découpage de la tâche, matériel, nombres, formes, chronologie…). Pour cette analyse, nous nous basions sur l'information fournie par l'énoncé initial de la tâche proposée par l'enseignant et dans les deux cas, cette étape a nécessité également une reconstitution à partir des données brutes. Cette dernière composante n'a pu être approfondie autant que désiré, car nous n'avions pas à notre disposition toutes les informations pertinentes pour faire un portrait exhaustif de chacun des enseignants pour les deux leçons visées.

Phase 2 : Analyse a posteriori

Cette deuxième phase de l'analyse est celle qui a pris le plus de place pour ce projet étant donné qu'elle apporte des pistes de réponse pour nos deux questions de recherche. Ainsi, nous y apportons davantage d'attention dans ce présent article.

L'analyse de chacune des leçons a d'abord nécessité une transcription des enregistrements vidéo. Pour ce faire, le découpage en épisodes proposé par Roditi (2005) fut l'outil valorisé pour notre première étape. Un épisode est « un enchaînement d'actes pédagogiques et d'échanges entre le professeur et les élèves en vue de parvenir à un but donné qui est en général la réalisation d'une tâche. » (p. 34, Roditi, 2005). La transcription réalisée représente une narration des échanges de nature didactique (Roditi, 2005) et ergonomique (Rogalski, 2003). Un verbatim des parties portant plus spécifiquement sur le contenu mathématique effectué est venu compléter la narration au besoin. Par ce mode de fonctionnement, ce sont les épisodes qui nous ont servi de point de référence pour le découpage chronologique des leçons. Les titres des épisodes ont été choisis selon la personne qui commence l'épisode et ils décrivent sommairement l'action qui se passe dans l'épisode. La narration décrit ce qui se passe en lien avec le contenu mathématique. Dans un tel contexte, l'analyse porte sur le projet effectif de l'enseignant (en pratique de classe). Il fallait donc reconstituer ce projet (Roditi, 2005), tout comme aux phases précédentes. Voici un exemple d'un épisode :

4 (7:10)	**Utilisation obligatoire de l'expression algébrique** (E1.1) {inaudible} (Manon) T'as juste besoin d'équerre. (Manon) {en s'adressant à tout le monde} Je le répète pour trouver l'aire, vous devez obligatoirement utiliser l'expression algébrique. Je ne veux pas voir un rectangle se construire. Vous devez utiliser l'expression algébrique. On est rendu là maintenant, vous savez comment. (E1.1) il ne faut pas… (Manon) Non. On prend les mesures et vous ne construisez pas les rectangles et toutes les figures.

Figure 1. Exemple d'épisode

Une fois cette première étape de transcription réalisée, l'analyse des médiations à l'aide des catégories d'indicateurs fut entreprise. Pour chacun des épisodes, nous avons qualifié les médiations autant de la part de l'élève que de l'enseignant. Prenons un exemple pour illustrer notre mode de fonctionnement :

4 (7:10)	**Utilisation obligatoire de l'expression algébrique** (E1.1) {inaudible} (Manon) T'as juste besoin d'équerre. (Manon) {en s'adressant à tout le monde} Je le répète pour trouver l'aire, vous devez obligatoirement utiliser l'expression algébrique. Je ne veux pas voir un rectangle se construire. Vous devez utiliser l'expression algébrique. On est rendu là maintenant, vous savez comment. (E1.1) il ne faut pas… (Manon) Non. On prend les mesures et vous ne construisez pas les rectangles et toutes les figures.		
	Tâche(s) T2: Calculer l'aire avec les expressions algébriques.	**Activité des élèves** * A1 (AJU): L'élève **questionne** à propos d'une précision technique. A2 (AJU) : L'élève commence à **répondre** à l'enseignante.	**Médiation de l'enseignant** M1 (AJU): Manon **précise** à l'élève qu'elle a seulement besoin de son équerre. * M2 (AJU) : Elle **oriente** davantage la tâche en insistant sur la consigne d'utiliser les expressions algébriques pour calculer l'aire (ne pas utiliser la construction graphique).
	Commentaires D : ici, nous observons un décalage entre le raisonnement que l'élève veut utiliser, soit le calcul de l'aire à l'aide d'un raisonnement géométrique (en comptant le nombre d'unités ou encore en partant de la formule de l'aire du rectangle) et les attentes de l'enseignante qui est davantage en lien avec la manipulation algébrique de la formule déjà construite.		

Figure 2. Exemple d'épisode analysé

Dans cet exemple, l'astérisque identifie l'acteur qui initie la médiation. Par la suite, nous avons caractérisé les tâches et les activités survenues lors de cet épisode par les indicateurs et nous les avons décrites à l'aide des mots-clés. Ce processus a été repris pour tous les épisodes des deux leçons. Il s'agit, en réalité, d'une analyse des échanges entre l'enseignant et les élèves. Par échange, nous entendons « toutes les aides apportées par l'enseignant ou l'enseignante notamment dans son discours ou au tableau qui sont visées, dans leur fond et éventuellement dans leur forme. » (p. 511, Robert et Rogalski, 2002). De plus, tout comme nous l'avions mentionné lors du cadre conceptuel, nous avons analysé les échanges allant dans les deux directions. Ainsi, les interventions émanant des élèves ont également été analysées, toujours dans l'optique de mieux comprendre la pratique d'enseignement. L'analyse de ces échanges possède deux facettes : une plus locale lorsque nous analysons en détail la nature et la forme des médiations de la classe grâce à nos mots-clés et notre description des voies didactiques effectives, et une plus globale en termes de fréquence des indicateurs et des mots-clés pour un même enseignant. (Robert et Rogalski, 2002)

En marge de cette analyse fréquentielle et descriptive, une place a été réservée pour émettre nos commentaires de nature logistique, didactique et interprétative. Pour l'exemple précédent, nous avions noté le décalage entre le raisonnement visé par l'enseignante et celui des élèves. Ces commentaires nous ont grandement aidés lors de nos discussions pour alimenter nos inférences en lien avec les régularités, les contraintes et les marges de manœuvre de la pratique de chacun des enseignants.

Phase 3 : Comparaison des analyses a priori et a posteriori

Cette étape de comparaison s'est faite de manière simultanée lors de l'analyse a posteriori. Nous mettions nos documents a priori et a posteriori en confrontation et plusieurs éléments ont pu être ressortis afin

d'observer les régularités, les contraintes et les marges de manœuvre. Dans le cadre de cet article, les éléments soulevés par cette phase d'analyse seront intégrés dans la discussion.

Phase 4 : Analyse croisée des deux leçons

Cette phase représente une mise en parallèle des résultats obtenus par les analyses précédentes afin d'observer les régularités et les variantes (contraintes, marges de manœuvre) de chacun des enseignants. Dans ce contexte, les marges de manœuvre représentent les différences entre les pratiques des deux enseignants. Pour faciliter la lecture des résultats obtenus par ces différentes analyses, ces derniers seront présentés selon l'optique de l'analyse croisée. Ils seront présentés, dans la section suivante, comme un tout et non comme des résultats relevant d'une telle ou telle phase d'analyse.

4. Résultats

La présentation des résultats débute par un résumé du déroulement des deux leçons proposées, pour ensuite exposer les résultats globaux de nos analyses. Nous présenterons les différents niveaux de grain que nous avons exploré pour étudier les deux études de cas. Enfin, les limites analytiques de ce projet seront exposées.

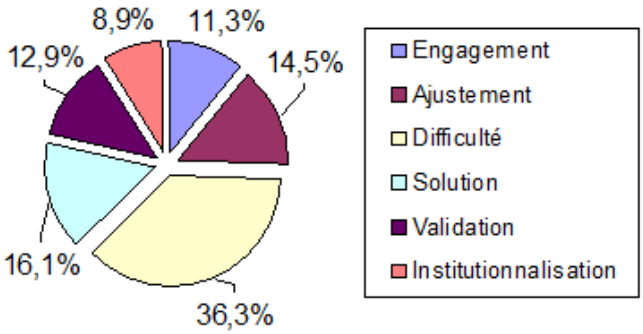
Les deux leçons ciblées par cette étude traitent du concept d'aire pour les quadrilatères. Manon, nom fictif de la première enseignante, propose des tâches en lien avec l'application des formules d'aire de différents quadrilatères à la suite de la découverte de ces diverses formules par les élèves lors d'une précédente séance (élèves de 12-13 ans). Elle commence la leçon en rappelant la construction des formules trouvées et elle indique au tableau les quadrilatères ainsi que leur formule d'aire respective. Les élèves doivent trouver l'aire de plusieurs quadrilatères, plus ou moins complexes, à l'aide des formules inscrites au tableau. La leçon est divisée en deux étapes, soit une première où le calcul de l'aire est réalisé à l'aide des instruments de mesure et une deuxième, où les mesures sont déjà inscrites et où les élèves doivent en déduire d'autres afin de trouver l'aire recherchée. La question exprimant le but visé par cette leçon est indiquée au tableau : Comment trouver l'aire des quadrilatères à partir des expressions algébriques trouvées au dernier cours? Il s'agit d'un travail réalisé en équipe.

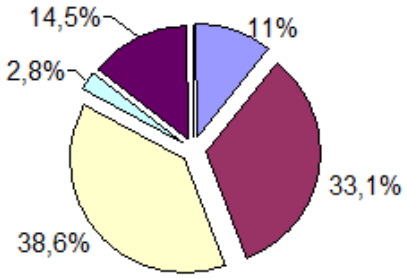
De son côté, Guillaume, nom fictif du deuxième enseignant, propose un problème aux élèves de sa classe (12-13 ans) dans lequel ils doivent trouver l'aire d'une partie rectangulaire d'une feuille à partir de données précises sur les autres parties de la feuille. Voici l'énoncé du problème : Maryse a photographié des gens et des paysages pendant son voyage. À son retour, elle fait un collage de photos sur un carton rectangulaire. Elle sépare son carton en trois sections rectangulaires. Ces sections ne sont pas congrues et elles n'ont pas la même surface. La section du titre a une aire de 900 cm^2. Celle des paysages a une aire de 6300 cm^2. Il s'agit d'une situation d'évaluation pour les élèves (évaluation de la compétence qui consiste à « résoudre une situation-problème »). Les élèves reçoivent une feuille avec d'autres données venant compléter celles présentées par l'énoncé et ils doivent répondre aux deux questions suivantes : Quelle est l'aire de la section réservée aux photos de personnes? Quel pourcentage de l'aire totale est réservé aux photos de paysages? L'enseignant a prévu un temps de travail individuel suivi d'un temps de travail d'équipe. Il présente également une démarche de résolution pour encadrer les élèves dans cette tâche (ce que je sais, ce que je cherche, les formules et la relecture).

4.1 Résultats globaux de l'analyse croisée des deux leçons

Notre point d'ancrage pour la présentation des résultats de ce projet est l'analyse a posteriori, mais comme ceci fut mentionné précédemment, les résultats des autres analyses viendront alimenter ces derniers.

Notre premier niveau d'analyse pour les médiations en classe des deux enseignants était la caractérisation par les indicateurs et leur fréquence. Voici le portrait de nos deux enseignants :





On remarque que pour les deux enseignants, la catégorie d'indicateurs qui revient la plus souvent est celle en lien avec les difficultés des élèves. Pour Manon, nous retrouvons ensuite celle en lien avec les solutions des élèves tandis que pour Guillaume, les indicateurs liés aux ajustements sont deuxièmes. Ce premier niveau d'analyse nous a permis de cibler les types de médiations les plus fréquents, mais en quoi consistent ces médiations? Ces deux enseignants traitent majoritairement des difficultés des élèves, mais comment? Le font-ils de la même manière? Les réponses à ces questions ont pu être abordées grâce aux deuxième et troisième niveaux d'analyse. Les résultats les plus pertinents tirés de ces niveaux de grains sont exposés à présent.

Concernant l'indicateur en lien avec les difficultés des élèves, 40 % des médiations de Manon traitent de la progression d'enseignement de ce concept; de la découverte des formules à l'application de ces dernières. Soit que les élèves expriment des difficultés dans l'application de la formule, qu'ils demandent des explications en lien avec le raisonnement géométrique sous-jacent aux formules ou encore que l'enseignante amène les élèves vers l'application des formules ou qu'elle doive réaliser graphiquement le lien entre la construction géométrique de la formule et son expression algébrique. Autrement, l'objet de la majorité des médiations liées aux difficultés, soit 51 % de ces derniers, se centre sur des difficultés mathématiques indirectes, comme le concept de hauteur ou les conventions algébriques.

Le portrait est tout autre pour Guillaume, pour qui 52 % des médiations « difficulté » font référence au concept de pourcentage. Il questionne, précise, explique et oriente les élèves pour les aider à surmonter leurs difficultés. Trente-huit pour cent (38 %) des médiations de Guillaume, en lien toujours avec les difficultés des élèves, mettent en jeu la démarche de résolution de problèmes, en termes d'étapes à suivre ou encore des données manquantes afin de trouver l'aire recherchée.

Si nous comparons la nature des médiations des deux enseignants pour cette première catégorie d'indicateur dans les deux cas, l'accent est mis sur un concept indirectement visé par la tâche proposée (comme le pourcentage ou les conventions algébriques). Sinon, nous remarquons que pour Manon, la deuxième centration, en termes d'importance, est mise sur les concepts mathématiques en jeu (raisonnements géométriques et algébriques en lien avec les formules d'aire), alors que pour Guillaume, l'accent repose plutôt sur l'application d'une démarche de résolution. Ces différences font partie des marges de manœuvre des deux enseignants. Deux autres particularités des pratiques de ces enseignants ont pu être observées par l'analyse des médiations précédentes :

1. Manon a plutôt tendance à verbaliser les démarches impliquées dans la résolution du problème qu'elle a proposée aux élèves – elle se centre sur le processus derrière la construction de la formule et verbalise les bons et mauvais chemins que les élèves utilisent. Quant à Guillaume, il opte plutôt pour une pratique plus directive puisqu'il mentionne souvent aux élèves où sont leurs erreurs, il a tendance à donner la réponse aux élèves et il réalise fréquemment le raisonnement à la place des élèves en expliquant et en les questionnant.

2. Devant une erreur récurrente, Guillaume a choisi de modifier sa planification et de faire une « clinique sur le pourcentage » voyant que plusieurs élèves étaient en difficulté (ce concept n'était pas l'objet mathématique visé par la leçon; il s'agit plutôt de la résolution d'une situation-problème). De son côté, Manon n'a pas voulu déroger de sa planification et elle a opté pour répondre de manière individuelle aux difficultés des élèves (33,3 % des médiations la notion de hauteur).

Une deuxième catégorie d'indicateur a attiré notre attention pour ces deux enseignants, il s'agit de la nature des ajustements qu'ils ont réalisés durant la leçon. Pour Guillaume, les ajustements sont les médiations les plus fréquentes après les difficultés, pour un total de 33,1 % de toutes les médiations. Ce pourcentage est deux fois moindre pour l'autre enseignant, soit de 14,5 %. Mais qu'en est-il exactement?

Ce qui caractérise la majorité des ajustements réalisés par Guillaume, soit 65 % de tous les ajustements identifiés, est leur nature logistique « extra-mathématique ». Cet enseignant réalise plusieurs médiations pour préciser les consignes, les méthodes de travail, le déroulement et l'organisation du travail. Dans ce cas précis, l'orientation est mise sur la démarche de résolution de problèmes ainsi que sur les détails factuels pour la remise du travail. De plus, si nous situons ces médiations dans le cadre de la résolution de problèmes, 73 % des ajustements que réalise cet enseignant se retrouvent dans la phase d'appropriation du problème; la plus critique pour les élèves. La pratique directive de cet enseignant ressort également ici lorsqu'il reformule, précise, oriente ou répond aux élèves sous forme d'analogies ou d'indices. Par exemple, un élève lui demande le nombre de calculs nécessaires pour résoudre la situation-problème (il y a huit lignes sur la feuille et l'élève pense donc qu'il y a huit calculs à faire) et il répond en disant qu'il aura besoin entre 3 et 5 calculs.

Pour la classe de Manon, le deuxième type de médiations le plus fréquent est celui lié aux solutions, nous les examinons rapidement dans ce qui suit, mais avant, comme point de comparaison, observons les résultats en lien avec les ajustements que cette enseignante réalise en classe. Les médiations observées dans ce cas sont cohérentes avec celles mentionnées pour les difficultés des élèves. Manon doit, à plusieurs reprises, resituer

les élèves dans leur progression d'enseignement-apprentissage. Étant donné que les élèves ont tendance à vouloir revenir à la construction géométrique des formules d'aire, elle est souvent obligée, dans 56 % des ajustements, de rappeler l'objectif de cette tâche qui est d'appliquer les formules (ex. : « Alors, je le répète, vous utilisez juste l'expression algébrique »).

Enfin, pour les médiations liées aux solutions des élèves, nous constatons que la moitié des médiations de Manon sont initiées par les élèves et donc ce simple fait pourrait vouloir dire que la pratique de cette enseignante valorise ce type d'échange. L'autre moitié est, par conséquent, initiée par l'enseignante; elle questionne, verbalise ou précise les éléments présentés par les solutions des élèves. Si nous observons ce résultat en corrélation avec les précédents, nous pouvons présumer que la pratique de cette enseignante prend en compte les démarches des élèves autant adéquates qu'erronées. Nous ne pouvons pas dire la même chose de la pratique de l'autre enseignant, qui ne semble que poser des questions lorsque la solution est erronée. Seulement 2,7 % des médiations de Guillaume ont trait aux solutions et aucune n'est initiée par cet enseignant.

4.2 Limites de cette analyse

Une des plus grandes limites de ce projet est la courte présence en classe, soit une seule séance en classe pour chacun des enseignants. Cette limite engendre plusieurs répercussions :

- Il nous est difficile d'étudier « la pratique enseignante » avec comme matériel une seule séance de classe; c'est pour cette raison que nous préférons nous référer à la pratique d'enseignement, ici de la mesure, pour nos deux études de cas.
- Plus spécifiquement, un de nos indicateurs fait appel à l'institutionnalisation, qui est très difficile à observer en une seule séance.
- Nous avions accès à la préentrevue et la postentrevue de ces deux enseignants, mais pas à leur projet d'enseignement. Nous avons dû le reconstruire et, par cette extrapolation, il y a plusieurs hypothèses qui n'ont pu peuvent être confirmées par les enseignants. Nous n'avions pas, non plus, accès aux suites des séances filmées.

Une autre source des limites de cette analyse réside dans l'application du cadre de référence lors de l'opérationnalisation des concepts, du découpage des épisodes et des inférences liées aux pratiques des enseignants. Malgré ces limites, le cadre possède plusieurs forces : une souplesse et une rigueur nous permettant des comparaisons qui laissent place à l'identification des indicateurs et des mots-clés selon l'objet d'étude, une double dimension didactique et ergonomique et une transparence du cadre méthodologique et de son opérationnalisation. Enfin, plusieurs réflexions demeurent entières pour le moment : Quel degré du grain d'analyse devrait être préconisé pour ce type de projet? Comment faire ressortir des régularités et contraintes des « pratiques enseignantes »? Comment pouvons-nous transférer l'exploitation de ce cadre à d'autres thèmes mathématiques ou scientifiques?

5. Discussion

En guise de conclusion, nous présentons quelques inférences liées à nos études de cas. Ces inférences déduites à partir des régularités et en interprétant les irrégularités en termes de contraintes nous ouvrent la

porte sur les pratiques d'enseignement de ces deux enseignants en termes de contraintes et de marges de manœuvre.

Dans les deux cas, nous avons identifié des contraintes et marges de manœuvre entre l'approche personnelle d'enseignement et l'approche valorisée en classe émanant soit de la réforme actuelle ou des formations continues reçues. En ce sens, la séance de Manon faisait partie intégrante d'une séquence d'enseignement valorisant la découverte de la formule, mais pour cette enseignante, l'objectif terminal de cette séquence demeure la mémorisation des formules d'aire. L'insistance sur le fait que les élèves devront apprendre par cœur les formules, même après leur construction, montre bien cette rupture de point de vue. De plus, il semble manquer un maillon à la suite des tâches proposées par cette enseignante, puisqu'entre le moment où les élèves découvrent la construction d'une formule d'aire géométriquement et celui où ils doivent l'appliquer algébriquement, il y a un travail de généralisation à réaliser sur la formule obtenue avec les élèves. Ces ruptures dans l'enseignement de cette enseignante pourraient s'expliquer par des contraintes du métier (raison ergonomique), mais l'analyse des médiations en classe semble plutôt attribuer ce constat à des choix didactiques explicites de l'enseignante. Retrouverons-nous ce type de rupture pour d'autres concepts géométriques ou métriques? Est-ce une particularité de ce domaine des mathématiques? Ici, nous nous situons du point de vue du chercheur pour affirmer qu'il y a eu rupture, mais l'enseignante voit-elle ces événements comme des ruptures? La postentrevue réalisée avec cette enseignante nous indique qu'elle ne fait pas la même analyse de cette séance et que, de son point de vue, la leçon s'est déroulée comme prévu, sans embuche.

Dans le cas de Guillaume, cette dualité se situe à un autre niveau : il propose une situation-problème aux élèves, mais son approche d'enseignement directif vient court-circuiter l'engagement des élèves dans un tel contexte. Il ne leur laisse pas de place pour émettre des hypothèses et s'engager dans une résolution mathématique; il les oriente vers l'application d'une démarche de résolution de problèmes indépendante des enjeux mathématiques de la situation. Ce type de glissement métacognitif n'a pas toujours les effets escomptés chez les élèves (Mary, 2003). La résolution de situation-problème étant aussi considérée, par le programme de formation de l'école québécoise, comme une compétence transversale, nous ne croyons pas que ce type de rupture est spécifique à l'enseignement-apprentissage de la géométrie et de la mesure. Il s'agit d'une rupture que nous pourrons retrouver dans le cadre de pratiques enseignantes autres que géométriques ou même mathématiques. Mais s'agit-il d'une rupture ergonomique ou didactique? Les résultats ne nous permettent pas de nous prononcer sur cette question pour cet enseignant.

D'autres contraintes et marges de manœuvre ont pu être remarquées dans les deux cas. Le but visé par les deux séances était l'étude du concept d'aire des quadrilatères, mais en observant davantage les choix didactiques des enseignants, nous réalisons qu'il y a eu des glissements. Dans le cas de Manon, elle vise davantage une application algébrique (trouver la valeur d'une inconnue dans l'expression algébrique présentée) et les élèves n'ont pas réussi à suivre l'enseignante dans cette direction; ils l'ont ramenée au raisonnement géométrique sous-jacent à l'expression algébrique. Pour Guillaume, la séance a plutôt porté sur l'application de la règle de trois afin de trouver le pourcentage de l'espace occupé par une certaine donnée du problème. Le glissement, dans ce deuxième cas, est vers un concept arithmétique et l'enseignant ne semble pas traiter des raisonnements géométriques entourant cette situation avec les élèves. Est-ce qu'un

tel glissement est spécifique à l'enseignement-apprentissage de la géométrie et de la mesure? Des études ont montré que les enseignants réalisaient fréquemment un glissement des connaissances spatiales vers les connaissances géométriques (Berthelot et Salin, 1993-1994). Ici, nous nous trouvons devant un glissement des connaissances géométriques vers les connaissances arithmétiques et même techniques. Est-ce que ce type de glissement est commun? Existe-t-il d'autres glissements de ce type? Encore une fois, nous identifions cet événement comme un glissement, mais les enseignants le perçoivent-ils ainsi? Les postentrevues montrent que pour eux, la séance a traitée des notions visées, sans modification et qu'ils pourront poursuivre leur enseignement.

Enfin, plus spécifiquement en lien avec ce projet de recherche, plusieurs questions potentiellement pertinentes pour la suite des travaux se posent :

- Pour ce qui est du cadre : Pouvons-nous systématiser l'exploitation du cadre de référence de Robert et Rogalski (2002) pour l'enseignement des mathématiques? L'enseignement des sciences?
- Pour ce qui est de la pratique enseignante en elle-même : Y a-t-il des contraintes et des marges de manœuvre propre à l'enseignement de la géométrie et de la mesure? Existe-t-il une cohérence interne à la pratique de la géométrie et de la mesure? Et est-ce que les contraintes et marges de manœuvre identifiées sont perçues de la même manière par les chercheurs et les enseignants?

Bibliographie

Brousseau, G. (1987). La situation fondamentale pour la géométrie élémentaire en tant que modèle de l'espace. Les sciences de l'éducation, 1-2, 86-100.

De Villiers, M. (2003). Rethinking proof with Geometer's Sketchpad 4. Emeryville: Key Curriculum Press.

Dion, D., Pallascio, R. et Papillon, V. (1985). Perception structurale d'objets polyédriques. Bulletin AMQ, octobre, 10-21.

Hasni, A. (2011). Problématiser, contextualiser et conceptualiser en sciences : point de vue d'enseignants du primaire sur leur pratique de classe. *In* A. Hasni et G. Baillat. (dir.). *Pratiques d'enseignement des sciences et technologies : Regards sur la mise en o euvre des réformes curriculaires et sur le développement des compétences professionnelles des enseignants* (105 - 140). Reims : Éditions et presses universitaires de Reims.

Héraud, B. (1991). Difficultés conceptuelles liées à l'apprentissage des mesures de longueur et d'aire, Actes du deuxième Congrès des Sciences de l'éducation de langue française du Canada, vol.2 (supplément), Sherbrooke, novembre, 640.1-640.8.

Herscovics, N. et Bergeron, J. C. (1988). An Extended Model of Understanding. Proceedings of the tenth Annual Meeting PME-NA, Dekalb, Illinois,November, 15-22.

Hoffer, A. R. (1977). Mathematics resource Projet : Geometry and Visualization. Californie, Palo Alto : Creative Publications.

Leplat, J. (1997). Regard sur l'activité en situation de travail. Contribution à la psychologie ergonomique. France, Paris : Universitaires de France (PUF).

Mary, C. (2003). Interventions orthopédagogiques sous l'angle du contrat didactique. Éducation et Francophonie, vol. XXXI, 103-124. www.acelf.ca

Piaget, J. (1973). La géométrie spontanée de l'enfant. France, Paris : PUF.

Piaget, J., Inhleder, B. et Szeminska, A. (1948). La représentation de l'espace chez l'enfant. France, Paris : PUF.

Robert, A. (2001). Les recherches sur les pratiques des enseignants et les contraintes de l'exercice du métier d'enseignant. Recherches en didactique des mathématiques, vol. 21, no.1.2, 57-80.

Robert , A. et Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants en mathématiques : une double approche. Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies, vol. 2, no.4, 505-528.

Roditi, E. (2005). Les pratiques enseignantes en mathématiques. Entre contraintes et liberté pédagogique. France, Paris : L'Harmattan.

Rogalski, J. (2003). Y a-t-il un pilote dans la classe? Recherches en didactique des mathématiques, vol.23, no.3, 343-388.

Van Hiele, P. M. (1959). La pensée de l'enfant et la géométrie. Bulletin de l'APMEP, 198, 199-205.

Un modèle pour l'éducation à la biodiversité à l'école primaire : les relations affects/savoirs scientifiques concernant les arthropodes terrestres

Serge Franc, Marie-Thérèse Nicolas et Abdelkrim Hasni

Introduction

Les relations entre les affects et les savoirs sont un phénomène à considérer dans l'enseignement-apprentissage des sciences et plus particulièrement des sciences de la vie comme l'atteste la documentation scientifique à ce sujet. En France, cette dimension est négligée ou tenue à distance par les textes scolaires institutionnels. Les pratiques d'enseignement des disciplines scientifiques n'en tiennent pas toujours compte.

Notre étude qui concerne les élèves de l'école élémentaire française a pour cadre institutionnel les directives ainsi que les instructions et programmes du Ministère de l'Éducation Nationale au regard de la biodiversité comme entrée pour l'éducation au développement durable dans le cadre de l'éducation à l'environnement.

L'étude de la documentation scientifique consultée fait souvent apparaître que les relations entre les affects et les savoirs scientifiques peuvent être mises en lumière par l'étude des animaux et notamment celle des arthropodes terrestres. Ces invertébrés suscitent des réactions affectives importantes et ils représentent une composante significative de la biodiversité. Étudier les relations entre affects et savoirs scientifiques dans un modèle d'enseignement de la biologie s'appuyant sur les arthropodes terrestres et de leurs relations avec les êtres humains pourrait éclairer un angle original de l'éducation à la biodiversité.

Problématique

Relation entre les affects et les savoirs scientifiques

Nous nous sommes intéressés à ce que la documentation indique au sujet des relations entre les affects et les savoirs dans le contexte de l'éducation à la biodiversité. La plupart des données empiriques soulignent que si une dimension affective est mise en valeur dans les apprentissages, elle permet de mesurer un effet sur a) les savoirs (Bowd, 1984; Kellert, 1993; Littledyke, 2008), b) l'esprit critique (Hofreiter, Monroe et Stein, 2007), c) la responsabilité (Dimopoulos, Paraskevopoulos et Pantis, 2008; Kellert, 1998), d) les comportements (Littledyke, 2008). De nombreux auteurs (Alsop et Watts, 2000; Kaplan, 1985; Zembylas, 2007) s'accordent à dire que les affects et les émotions sont indissociables de la cognition et des apprentissages, en particulier en sciences. S'opposant épistémologiquement au point de vue réductionniste, Alsop (2005) propose d'aller au-delà du cartésianisme et de relier affects et apprentissages scientifiques.

De façon générale, de nombreuses recherches montrent qu'il existe des relations entre les affects et les savoirs scientifiques en éducation à l'environnement notamment en ce qui concerne la biodiversité. La

dimension affective, en relation avec les savoirs scientifiques se décline en : affects (Horelli, 2007; Reiss, 2005), émotion, (Bixler *et al.*, 1994; Looy et Wood, 2006), motivation (Darner, 2009; Turner, Thorpe et Meyer, 1998).

L'étude et la prise en considération des affects avec les animaux sont un axe de recherche important en ce qui concerne l'éducation à la biodiversité (Westerveld et Lewellyn, 1985). Les animaux concernés sont souvent des arthropodes (Looy et Wood, 2006; Shepardson, 2002). La plupart de ces études empiriques, qui restent cependant peu nombreuses, montrent que les réactions affectives initiales des apprenants souvent négatives envers ces animaux peuvent être modifiées par les savoirs scientifiques apportés par l'école.

Ainsi, le bilan de cette synthèse des travaux publiés montre que de nombreuses publications traitent de la place et du rôle des affects, des émotions, et de la motivation en liaison avec les apprentissages scientifiques particulièrement en ce qui concerne la biodiversité.

Une recension des textes officiels qui ne sera pas développée ici nous permet de constater que a) pour les textes prescriptifs, les références aux affects se cantonnent essentiellement à la maternelle et s'amenuisent quand l'élève grandit, b) les références aux affects sont essentiellement attribuées aux domaines de la maîtrise de la langue française, des arts, de l'éducation physique et sportive, c) dans le socle commun elles n'apparaissent pas dans le chapitre consacré à la culture scientifique et technologique ni dans celui de la maîtrise des TIC, d) pour les sciences, seulement deux occurrences apparaissent concernant approche sensible, responsabilité et démarche d'investigation.

Si les recherches que nous avons recensées ont porté comme nous l'avons analysé sur affects, émotion, motivation et cognition, savoirs scientifiques chez les étudiants ou les élèves du secondaire, nous avons trouvé peu de documents ayant trait à l'école primaire. À la lumière de notre analyse de la documentation scientifique considérée, il nous semble que notre objet de recherche pourrait combler un manque en matière de connaissances dans ce domaine et amener une façon d'éclairer la multidimentionnalité des apprentissages en proposant un modèle d'enseignement pour l'école primaire.

Il est intéressant, dans un deuxième temps d'identifier, dans les intentions gouvernementales, les attendus en matière de savoirs scientifiques en ce qui concerne la biodiversité comme entrée thématique du développement durable en éducation à l'environnement. Une analyse du corpus nous permet de voir apparaître deux catégories. La première regroupe les unités de sens qui relèvent des savoirs disciplinaires (biologie, écologie, etc.) et la seconde celle qui catégorisent les savoirs et relations de responsabilité citoyenne homme/environnement (savoirs, gestion, protection, conséquences, etc.). Globalement, sur l'ensemble des textes, les références aux savoirs scientifiques sont minoritaires, mais la dimension citoyenne y prend beaucoup de place, sauf dans le cas de la biodiversité où il y aurait un équilibre entre science et citoyenneté. À l'instar de Girault *et al.* (2008) nous relevons qu'en ce qui concerne la biodiversité, les contenus sont orientés de façon naturaliste soit vers la classification du vivant soit vers la gestion de la biodiversité.

Un regard sur les intentions gouvernementales françaises en matière d'éducation à l'environnement consacrées à la biodiversité montrent que d'une façon générale, a) les textes de référence basent les savoirs sur l'angle disciplinaire de l'écologie avec peu de références aux savoirs scientifiques sur la relation homme-

environnement, b) les prises de positions et d'action des élèves sont prescrites, c) le regard critique et la prise en compte des valeurs sont peu évoqués, d) la mise en relation des savoirs avec les affects est basée sur des prescriptions d'action et d'attitudes.

Contexte

« Éduquer à » dépasse le simple cadre des disciplinaires scolaires en s'inscrivant dans un contexte économique, politique et idéologique (Désautels, 1999; Guilbert et Gauthier, 1999, Gayford, 2000; Lebeaume, 2004; Lenoir, 2005; Sauvé, 2005). Girault et Sauvé (2008) avancent que l'éducation à l'environnement est apparue dans le débat concernant l'éducation scientifique comme la prise en compte d'une dimension écocitoyenne en intégrant cette dimension dans les curriculums de sciences. Hasni (2010), en ce qui concerne l'éducation à l'environnement, propose un cadre qui s'appuie notamment sur les travaux de Meirieu (2001). Dans une perspective pédagogique, ce dernier propose quatre classes de justifications. La première tendance renvoie à l'irruption de l'environnement dans les préoccupations scientifiques et institutionnelles, la deuxième à des réflexes et des comportements conditionnés, la troisième à une manière de penser par soi-même la multidimentionnalité du réel et la quatrième à une dimension citoyenne critique. Le cadre développé par Hasni (2010) propose une double perspective du savoir et de l'action dans laquelle se pose à la fois la question du savoir en relation avec les taches scolaires et de l'autonomie des élèves quant aux prises de décision et de choix d'action vis-à-vis de l'environnement et de sa relation avec l'Homme. Ce cadre s'articule autour de quatre pôles (figure 1). Ces quatre pôles déterminent quatre domaines : (1) un domaine constructiviste et citoyen : savoirs construits, débats et regard critique; (2) un domaine constructiviste orienté vers des choix guidés de l'extérieur : savoirs construits et adhésion behavioriste; (3) un domaine transmissif et des prises de positions et d'actions guidées : savoirs imposés et comportements dictés; (4) un domaine transmissif déconnecté des valeurs : savoirs imposés et débats et regards critiques qui peuvent tenir à l'écart les savoirs scientifiques. Ce cadre d'analyse permet de mettre en perspective trois dimensions relatives aux savoirs, correspondant à trois questions : Pourquoi? (justification et finalités exprimées) – Quoi? (apprentissages et savoirs à acquérir) – Comment? (démarches et approches à suivre) (*Ibid.*)

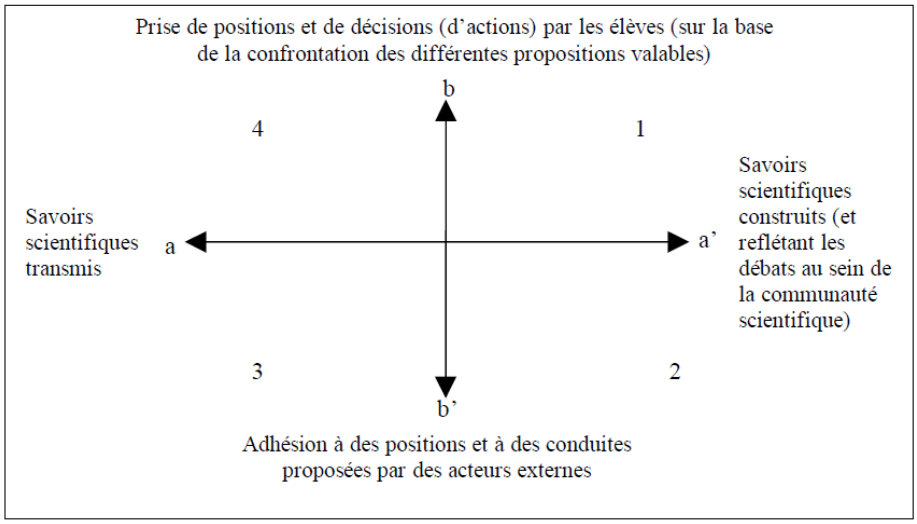


Figure 1. Quatre tendances d'opérationnalisation de l'ERE dans les pratiques d'enseignement en fonction du rapport au savoir et du rôle des élèves dans la prise de position et le choix des actions, tirée de Hasni (2010)

Notre intention est de considérer les possibilités offertes par la biodiversité dans le cadre institutionnel du développement durable. En effet, le développement durable est actualisé dans les textes officiels par de nombreuses composantes, dont la biodiversité (M.E.N., 2004; M.E.N., 2007a; M.E.N., 2009a; M.E.N., 2009b). Dans les textes officiels, la biodiversité est définie comme étant synonyme de diversité biologique (Journal Officiel de la République Française, 2009). Cependant, certains économistes (p. ex. Aubertin, Boisvert et Vivien, 1998) et biologistes (p. ex. Blondel, 2005) considèrent la biodiversité comme une construction sociale, prenant en compte économie et politique, dans le sens où la variété des espèces sert de ressource économique aux sociétés humaines. Ce saut épistémologique comme l'affirme Blondel (2005) suivi par Micoud (2005), fait passer la biodiversité du registre unique des sciences de la nature à un statut partagé avec les sciences humaines.

En ce qui concerne les intentions et prescriptions ministérielles présentées dans les programmes d'enseignement, Girault *et al.* (2008) considèrent que l'approche est centrée sur *les relations entre la biodiversité et l'homme qui apparaissent à la fois comme l'élément perturbateur et comme l'élément « régulateur » qui va gérer, préserver, et prévenir. L'éthique est le plus souvent anthropocentrée : il faut préserver la biodiversité pour sa valeur instrumentale. » (Ibid.).*

Les programmes officiels présentent la biodiversité soit comme un entrée ou thème de mise en œuvre de l'éducation au développement durable (M.E.N., 2004; M.E.N., 2007a); M.E.N., 2009b); soit comme une problématique du développement durable (M.E.N., 2009a) soit enfin comme une activité pédagogique pour aborder le concept de développement durable (M.E.N., 2009a; M.E.N., 2009b). Dans tous les cas, la biodiversité apparaît comme une dimension du développement durable en éducation à l'environnement. Nous considérerons a) que l'enseignement apprentissage des questions environnementales est une opportunité pour une éducation scientifique pour tous (Bowen et Roth, 2007), b) que le développement durable est lui-même inclus dans l'éducation à l'environnement et plus largement qu'une de ses justifications institutionnelles est d'opérationnaliser l'éducation scientifique (Girault et Sauvé, 2008; Lange et Martinand, 2010; Versailles, 2003), c) que la biodiversité est présentée comme un élément conceptuel et pédagogique de l'éducation au développement durable (M.E.N., 2004; M.E.N., 2007*a*; M.E.N., 2009*a*; M.E.N., 2009*b*). Ainsi, nous pensons que les cadres d'analyse de ces trois derniers concepts sont valides pour la biodiversité. Si l'on se réfère d'une part à la définition de la biodiversité donnée par Blondel (2005) qui considère les dimensions scientifique, économique, politique et citoyenne et d'autre part aux définitions de l'« éducation à » proposées par Lebeaume (2004) et Lenoir (2005), nous nous placerons pour la suite de notre étude dans une perspective d'éducation à la biodiversité fondée à la fois sur des savoirs scientifiques, sur une pertinence sociale et sur une participation citoyenne telle qu'elle est présentée par Girault *et al.* (2008).

Place des arthropodes terrestres

Nous considérons comme arthropodes terrestres les insectes, les araignées et scorpions et les mille-pattes. Les concepts qu'ils permettent de mettre en jeu tels que diversité, équilibre, protection semblent être intéressants pour aborder les savoirs scientifiques qui soutiennent l'éducation à la biodiversité.

Outre l'éclairage qu'ils peuvent apporter sur la plupart des concepts scientifiques concernant la biodiversité, ces invertébrés ont une histoire ancienne en relation avec les êtres humains. Les arthropodes sont très présents par exemple dans les textes religieux fondateurs (Coutin, 2005*a*, Coutin, 2005*b*). Notre expérience d'enseignant nous donne à penser que certaines conceptions et représentations des élèves pourraient y trouver leur origine. Dans de nombreuses cultures, ces animaux sont l'objet de croyances et traditions populaires (Boujot, 2001). Drouin (2006), par exemple relève les positions moralisatrices véhiculées par les insectes dans la littérature française depuis le XVIIe siècle. Une étude empirique a permis de documenter la façon dont les élèves de l'école primaire se représentent les arthropodes (Shepardson, 2002).

Une dimension particulièrement intéressante pour la suite de ce travail est le fait que les arthropodes terrestres ont un pouvoir émotionnel très élevé. Cependant, le fait que ces animaux véhiculent souvent des sentiments d'angoisse ne les prédispose pas à être considérés à leur juste valeur au regard de l'étude de la biodiversité (Kellert, 1993). Nous avons analysé certaines publications concernant les émotions positives ou négatives ressenties envers les arthropodes terrestres au regard de l'éducation à la biodiversité (Armfield, 2007; Bixler *et al.*, 1994; Knight, 2008). La prise en compte de la dimension émotionnelle a fait l'objet de plusieurs études empiriques mettant en relation la compréhension et les attitudes envers les arthropodes (Kellert, 1993; Looy et Wood, 2006; Shepardson, 2002). Ces études montrent a) les changements d'attitude des apprenants envers ces animaux lorsqu'il y a apport de savoirs scientifiques, b) que les élèves apprennent mieux au sujet des animaux lorsque les apprentissages s'appuient sur une dimension affective.

D'après nos recherches, peu d'études empiriques s'intéressent précisément à la place des arthropodes dans l'enseignement de la biodiversité, de l'environnement, et plus largement de la biologie à l'école primaire. Une analyse du site LaMap[1] montre que les arthropodes seraient plutôt instrumentalisés dans le cadre d'élevages sans grand rapport avec une réflexion sur la diversité du vivant et l'environnement ni avec la relation homme-environnement. La démarche d'investigation n'est pas toujours scientifique. Enfin, les réactions émotionnelles se rattachant à ces séances d'enseignement seraient plutôt du registre de la peur ou du dégoût.

L'originalité de notre recherche est de montrer que la prise en compte de la dimension affective dans l'apprentissage des savoirs scientifiques, par une entrée concernant les arthropodes terrestres, pourrait favoriser une approche de l'éducation à la biodiversité à l'école élémentaire en France.

---

[1] *La main à la pâte* a été lancée en 1996, à l'initiative de Georges Charpak, prix Nobel de physique 1992, Pierre Léna, Yves Quéré et de l'Académie des sciences dans le but de rénover l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école primaire en favorisant un enseignement fondé sur une démarche d'investigation scientifique. La démarche préconisée par *La main à la pâte* s'appuie sur dix principes et articule apprentissages scientifiques, maîtrise des langages et éducation à la citoyenneté. Pour cela, les enseignants soumettent à la curiosité de leurs élèves des objets et des phénomènes du monde qui les entoure, suscitant le questionnement scientifique. Celui-ci conduit à la formulation d'hypothèses destinées à être testées par l'expérimentation ou vérifiées par une recherche documentaire. Ainsi, les élèves s'approprient progressivement concepts scientifiques et techniques opératoires et consolident leur expression orale et écrite. De nombreux acteurs, enseignants, formateurs, conseillers pédagogiques, inspecteurs, ingénieurs, scientifiques, étudiants en sciences, etc. participent aux différents dispositifs d'accompagnement mis en œuvre par *La main à la pâte*. Voir le site internet à l'adresse : http://www.lamap.fr/

Cadre conceptuel

Le cadre de référence repose sur une analyse des écrits s'intéressant à l'éducation et à la culture scientifique. L'énoncé de la problématique de recherche appuyée par une analyse de la documentation scientifique identifie plusieurs notions : dimension affective, motivation, cognition et savoirs scientifiques. Nous inscrirons leur mise en relation dans le cadre théorique du changement conceptuel ('conceptual change').

Savoirs scientifiques

Hasni (2005) propose un cadre d'analyse concernant les savoirs scientifiques qui s'appuie sur trois dimensions. La première concerne les 'objets disciplinaires'. Dans ce sens, Schwab (1964) fait référence à la fois aux hypothèses, aux variables, à l'ensemble des concepts et à leur mise en relation dans une discipline (*substantive structure*) et à la validation des savoirs dans cette discipline (*syntactical structure*). À l'issue d'une synthèse documentaire, Roth *et al.* (2006) constatent que les savoirs scientifiques sont souvent l'objet d'une simple mémorisation, mais que les concepts ne servent ni à résoudre de nouveaux problèmes ni à expliquer des phénomènes quotidiens. Pour ces auteurs, l'implication des apprenants dans l'enseignement des sciences repose sur deux raisons incluant les questions relatives à la vie quotidienne. La première raison met en regard les représentations premières des étudiants et les savoirs scientifiques. La deuxième est que les applications pratiques des sciences au quotidien motivent les élèves à s'intéresser davantage à l'apprentissage des sciences. (*Ibid.*)

La deuxième dimension se rapporte aux 'rapport des savoirs aux problématiques de la vie quotidienne' dans deux perspectives. La première est la contextualisation en dehors de l'école comme moyen de conceptualisation. Dans cette perspective, Roth *et al.* (*Ibid.*) s'appuient sur les travaux de Driver *et al.* (1994); Hewson, Beeth et Thorley (1998); Posner *et al.* (1982) et avancent que les étudiants ont besoin de transférer les concepts scientifiques dans des contextes réels multiples pour en comprendre la signification. Cette perspective permet aussi de motiver les apprentissages en montrant leur intérêt et leur utilité (Brown, Collins et Duguit, 1989; Moje *et al.*, 2001; Posner *et al.*, 1982; Roth, 1995). Edelson (1998) fait remarquer que pour que les apprentissages puissent être utiles aux élèves hors de la classe, il faut au-delà des outils et des techniques, prendre en compte les attitudes et les interactions sociales qui caractérisent les pratiques scientifiques.

La seconde perspective est la mobilisation des savoirs scientifiques dans un cadre personnel et social. Fourez (1988) évoque les « savoirs de la vie quotidienne » dont les disciplines scientifiques « utilisent un certain nombre de concepts de base qui sont courants dans l'existence quotidienne » (p. 160). L'autre volet des savoirs de la vie quotidienne est la capacité de donner aux personnes des connaissances suffisamment pratiques pour qu'en tant que citoyen, ils puissent prendre part aux débats et décisions concernant les rapports entre la science et la société (Fourez, 1988).

La troisième dimension se réfère au 'savoir sur la nature du savoir scientifique'. Il s'agit de compétences d'ordre épistémologique, sur la manière dont se construisent les sciences (Engelbert-Lecomte, Fourez et Mathy, 1998, cités par Hasni (2005); Fourez, 1988).

Les savoirs scientifiques concernés par l'éducation à la biodiversité prennent en compte l'apprentissage des savoirs disciplinaires, notamment conceptuels, de plusieurs manières (conceptualisation, contextualisation,

mobilisation). L'appropriation des concepts permet des prises de positions, de décisions et d'actions. Dans notre contexte de recherche, nous retiendrons les dimensions relatives aux concepts dans le sens où elles nous semblent pertinentes pour définir les savoirs scientifiques visés. Ce sont : a) la conceptualisation, b) la mobilisation des concepts dans la sphère privée et citoyenne. Nous nous placerons dans la perspective où les indicateurs afférents à ces dimensions sont des mesurables en situation d'apprentissage et se réfèrent à l'observation et l'analyse des discours et des gestes des élèves. Une synthèse des dimensions et indicateurs identifiés est présentée dans le tableau 1.

Dimensions	Composantes	Indicateurs
Savoirs disciplinaires	Savoirs conceptuels	- nombre de concepts abordés, nombre de concepts définis, liens entre les concepts
Savoirs liés aux problématiques de la vie quotidienne	Mobilisation des savoirs	- prises de position et leur expression (regard critique, choix d'une position, expression de point de vue) - expression de mode d'action (choix d'une manière d'agir)

Tableau 1: Dimensions et indicateurs considérés au regard des savoirs scientifiques, d'après Hasni, 2010; Hasni, s.d.

Dimension affective

Le domaine affectif est un registre mental assez difficile à circonscrire qui se distinguerait des croyances, des perceptions, des désirs, des sensations, des épisodes imaginatifs et des souvenirs (Deonna et Teroni, 2008). Vigotsky (1997, 1998) soutient l'importance des affects dans la nature humaine et refuse l'opposition cartésienne entre affect et intellect. Ce point de vue a été repris par Roth (2008) dans une étude consacrée au rôle des émotions en éducation à l'environnement. Frijda (2003) voit dans les affects une dimension motivationnelle caractérisée par l'expérience du « plaisir » et de la « peine » liée aux états fonctionnels qui en résultent. Dans l'apprentissage des sciences tel que rapportée par la documentation scientifique, nous nous intéresserons aux concepts de motivation et d'émotion en ce qu'ils agissent sur le comportement personnel. Nous allons définir ces deux concepts et ensuite voir les relations qui les lient.

Le concept de motivation a donné lieu à des développements théoriques issus de cadres d'analyse différents : behavioriste (Skinner, 2005), physiologique (Maslow, 1954), attribution causale (Weiner, 1979), cognitiviste (Viau, 1994), psychologique (Ryan et Deci, 2000), psycho-neurobiologique (Favre, 2007).

S'appuyant sur un cadre cognitiviste, Viau (1994), définit la motivation en contexte scolaire en précisant cependant que les émotions « jouent un rôle secondaire dans la dynamique motivationnelle, car, dans la plupart des cas, leur effet est transitoire et diminue avec le temps » (*Ibid.*, p. 101). Dans une approche psychologique de la motivation, Ryan et Deci (2000) proposent une théorie de l'autodétermination dans laquelle le contexte social est capable d'accroître ou de diminuer l'automotivation. Le facteur prépondérant est la motivation intrinsèque présentée comme un construit essentiel au développement cognitif et social, comme une tendance à recherche l'innovation, le défi, l'exploration et l'apprentissage de ses capacités personnelles (*Ibid.*). Dans cette perspective, la motivation est guidée par l'intérêt et le plaisir et non par la contrainte. Se référant en partie aux études de Deci et Ryan, Favre (2007) apporte un autre éclairage. Ces travaux, issus d'une recherche interdisciplinaire associant psychologie et neurobiologie permettent

d'appréhender la motivation à travers un ensemble de trois systèmes en interaction qui se développement au cours de la formation du sujet. Favre (2007) souligne que *Les deux premiers [systèmes de motivation], complémentaires, se relaient au cours du développement d'un être humain. Ils comprennent toute la gamme des émotions allant de la frustration au plaisir et correspondent à divers fonctionnements possibles des circuits nerveux de renforcement positif et négatif. Le troisième intervient en cas de détournement de la finalité première du premier système de motivation. Ainsi, le système de motivation de sécurisation permet de satisfaire les besoins biologiques et psychologiques fondamentaux; le système de motivation d'innovation autorise l'accès progressif à l'autonomie et à la responsabilité; le système de motivation de sécurisation parasitée est lié à une dépendance excessive.* (p. 46)

Dans ce modèle, l'auteur montre que la motivation serait étroitement liée au registre émotionnel interne de l'élève en situation d'apprentissage.

Le concept d'émotion présente plusieurs niveaux d'analyse : biologique, physiologique, cognitif et social. Scherer (2001) précise que pouvons identifier deux courants opposés. Le premier concerne l'approche physiologique défendue par James et Lange au XIXe siècle. Il est construit sur les réactions aux stimuli extérieurs perçus par le système nerveux périphérique. Les changements corporels seraient la cause du déclenchement d'une émotion. Le deuxième courant propose une approche cognitive faisant appel à une évaluation cognitive (apparaisal) de la relation du sujet avec son environnement suivie d'une action d'adaptation (coping) (*Ibid.*, Lazarus, 1991). Dans cette perspective, nous nous intéresserons ici aux émotions en identifiant deux cadres théoriques différents : la perspective évolutionniste (innéiste et universelle) et la perspective constructiviste (sociologique, historique et culturelle). Ekman, (1993) délimite ce qu'il appelle des émotions de base (joie, tristesse, dégoût, peur, colère, surprise). À la suite des travaux de LeDoux (1998) et Ekman (1984), Lotstra (2002) propose une approche évolutionniste et neuroanatomique des émotions. Averill (1998) et Averill et Nunley (1988), pour leur part, affirment que l'émotion est un construit social s'appuyant sur les croyances et les valeurs et dans lequel le langage a une place tout à fait importante. De façon synthétique, Frijda (2003) et Ryan (2007), précédés de Lazarus (1991) proposent l'idée que les émotions nécessitent de la part de l'individu une évaluation cognitive liée à la fois à ses caractéristiques biologiques et aux caractéristiques sociales de son environnement.

Ces points de vue contrastés se rejoignent cependant sur deux points : a) les émotions procèdent d'une dimension affective et sont déterminées par de multiples composantes, b) les émotions sont liées une évaluation cognitive. Nous pouvons adopter une définition multidimensionnelle construite en référence à la fois à l'aspect affectif, cognitif, physiologique, adaptatif et motivationnel. Suivi par Frijda (2003) et Scherer (2009), Lazarus (1991) avance que l'émotion, au-delà d'un réflexe ou un changement physiologique, est un état provoqué par l'appraisal (évaluation cognitive d'un événement qui surgit lorsqu'il y a un enjeu concernant le bien-être personnel). La définition du concept d'émotion résumée par Scherer (2009) pourrait rassembler ces divers aspects : « Emotion is conceptualised as an emergent, dynamic process based on an individual's subjective appraisal of significant events. It is argued that theoretical models of emotion need to propose an architecture that reflects the essential nature and functions of emotion as a psychobiological and cultural adaptation mechanism » (p. 1).

La relation entre la motivation et les émotions est au centre de nombreuses recherches, notamment dans la manière d'intégrer les affects dans les modèles de motivation et de processus cognitifs existants ou dans la proposition de modèles théoriques prenant en compte ces trois domaines en éducation (Linnenbrink, 2006).

Lazarus (1991) considère que la motivation est liée à des buts à atteindre en réponse à des événements auxquels il faut s'adapter. L'appréciation de ces événements (*appraisal*) conduit à des réactions émotionnelles qui permettent d'évaluer personnellement ce que ces événements produisent et quelles en sont les conséquences en terme de préjudice ou d'avantage. Prenant en compte une dimension neurophysiologique, Scherer (2009) voit dans la motivation un des éléments de l'*appraisal* relatif à l'implication de la personne vis-à-vis d'un événement. Celui-ci va déclencher une appréciation qui va permettre de façon émotionnelle une adaptation vis-à-vis de cet événement, vers des besoins, des buts à atteindre ou des valeurs.

Favre (2007) propose un modèle qui met en relation motivation et émotions dans le sens où le registre émotionnel serait la traduction observable de la motivation. Le registre émotionnel permet d'identifier les émotions relatives aux trois systèmes identifiés par cet auteur. Quels pourraient être les indicateurs rattachés à ces dimensions dans le contexte de l'éducation à la biodiversité? Nous nous placerons dans la perspective offerte par Searles (1986) qui avance que « la maturation affective qui s'accomplit depuis l'enfance se traduit […] par une aptitude à ressentir des émotions de plus en plus complexes. » (p. 107), « ce sentiment fondamental peut s'exprimer en un seul mot : apparentement (relatedness[2]). » (*Ibid.*, p. 108). L'apparentement est une caractéristique de la maturité affective. C'est une attitude psychologique qui lie les émotions et la maturation affective et qui pourrait se résumer comme le sentiment d'une parenté intime avec l'environnement non humain et en même temps, le maintien de la conscience de sa propre individualité en tant qu'être humain. Dans une idée d'autonomie construite, nous pensons pouvoir rapprocher l'apparentement et le système de motivation d'innovation (Favre, 2007). Deux attitudes psychologiques différentes coexistent avec l'apparentement : la fusion et la coupure par rapport à l'environnement non humain. La fusion apparaît comme un état d'indistinction avec l'entourage non seulement humain, mais aussi non humain. C'est une attitude perceptible chez le jeune enfant. La fusion pourrait être le reflet du système de motivation de sécurisation (Favre, 2007). Par ailleurs, Searles (1986) analyse le « conflit entre l'aspiration à se fondre totalement dans le monde non humain et l'angoisse d'y parvenir et de perdre ainsi sa singularité d'être humain. » (p. 110). La notion de coupure pourrait trouver sa source dans cette angoisse à perdre dans la fusion avec l'environnement son statut d'être humain et pourrait être rapprochée du système de motivation de sécurisation parasitée (Favre, 2007). Concernant les relations humain/environnement non humain, une observation de l'évolution des émotions pourrait être effectuée au travers des trois composantes apparentement, fusion, coupure considérées comme des indicateurs. Nous inspirant d'une recherche menée par Hagège *et al.* (2007) avons déjà utilisé ce type d'indicateurs (Franc, 2008). Une synthèse des dimensions et indicateurs identifiés est présentée dans le tableau 2.

[2] Précisé par nous

Dimensions	Composantes	Indicateurs
Système de motivation de sécurisation Système de motivation d'innovation Système de motivation de sécurisation parasité	Émotions	- apparentement - fusion - coupure

Tableau 2. Dimensions et indicateurs considérés au regard de la motivation, d'après Favre (2007); Franc (2008); Hagège *et al.* (2007)

Mise en relation des concepts

Afin de construire la relation entre la dimension affective et les savoirs scientifiques pour élaborer un modèle d'enseignement, nous devons préciser dans quel cadre de référence nous situons celui-ci. Nous pensons pouvoir considérer les effets de la relation entre la dimension affective et les savoirs scientifiques sous l'angle du changement conceptuel. La question des changements conceptuels nécessaires aux apprentissages en sciences mobilise la recherche en didactique des sciences depuis 30 ans notamment dans le cadre du 'conceptual change' (Duit et Treagust, 2003). Quatre conditions sont nécessaires au changement conceptuel : que la conception utilisée soit insatisfaisante, que la nouvelle conception soit intelligible, qu'elle soit plausible et enfin fructueuse. Devant l'insuffisance de données empiriques, la notion de changement conceptuel a été remodelée et déclinée de plusieurs façons. Une des critiques formulées par Pintrich (1999) est que cette théorie trop cognitiviste ne tient pas compte de la motivation des élèves. De même, Mercer (2007, 2008), affirme que le changement conceptuel doit prendre en compte l'émotion, l'identité, le conflit cognitif et l'interaction sociale. Nous adopterons pour notre cadre méthodologique a) la perspective offerte par le changement conceptuel en mettant en relief la dimension motivationnelle dans le sens de Duit et Treagust (2003) qui affirment « teachers who ignore the social and affective aspects of personal and group learning may limit conceptual change » (p. 679) ou de Lee et Brophy (1996) qui mettent en évidence cinq modes de motivation liées au changement conceptuel.

Pour opérationnaliser notre cadre de référence, nous avons choisi de bâtir et tester un modèle d'intervention.

Méthodologie

Cadre opératoire : le type de modèle d'enseignement

Notre étude s'intéresse à la relation entre les affects et les savoirs scientifiques dans un modèle d'enseignement spécifique. Pour cela, nous nous attacherons à considérer deux niveaux d'approche interreliés : d'une part, mesurer l'évolution de la dimension affective (émotions, motivation), d'autre part mesurer l'évolution des connaissances (conceptualisation, mobilisation) dans le modèle du changement conceptuel. Afin d'évaluer les effets de la relation entre la dimension affective et les savoirs scientifiques, nous tenterons de mettre en évidence une corrélation entre ces deux évolutions.

La variable considérée sera la présence ou l'absence d'une dimension affective explicite, mise en relation ou non avec les savoirs scientifiques dans la séquence d'enseignement issue de notre modèle. Ceci nécessite une

étude comparée entre des classes expérimentales et des classes témoins et nous oriente vers des pré et posttests. Pour cela, il est nécessaire de construire une séquence dans un modèle d'enseignement que nous allons définir dans le cadre de l'intervention éducative.

Dans une perspective constructiviste, Lenoir (2009), propose de définir l'intervention éducative comme une médiation interactive entre enseignants et apprenants dans un contexte socio-éducatif et socio-culturel spécifiques. Partant de deux logiques d'apprentissage antagonistes : centration sur le curriculum et centration sur l'élève, Not (1979, 1984, 1987) dépasse les conceptions simplificatrices d'hétérostructuration ou d'autostructuration en mettant en évidence quatre modèles d'intervention éducative (MIE). S'inspirant de ces travaux, Lenoir (1991) adapte ces modèles et les redéfinit. Nous nous appuierons sur le modèle d'interstructuration cognitive (MIE4), grâce auquel le sujet élabore lui-même ses savoirs en agissant sur les objets du réel dans une reconstruction opératoire de la réalité associée à une démarche d'investigation spontanée, puis structurée suivie d'une structuration régulée. Cette résistance au réel occasionne des ruptures entre des conceptions premières et de nouvelles conceptions rejoignant en cela le cadre du changement conceptuel.

Nous souhaitons construire un modèle d'enseignement se référant au modèle d'interstructuration cognitive. Pour cela, l'approche par projet nous semble être adaptée à notre méthodologie dans le sens où elle permet d'actualiser le modèle d'intervention auquel elle se réfère. Cette approche prend en compte la construction des savoirs par le sujet, l'interaction et la médiation d'experts (enseignants, scientifiques…) dans un contexte social, culturel et éducatif (Huber, 2000; Krajcik, Blumenfeld, Marx et Soloway, 2000; Moje *et al.*, 2001; Perrenoud, 1999).

Source, recueil et analyse de données

Les données empiriques proviendront de deux sources. Certaines, concernant la dimension affective, seront recueillies auprès des élèves par dépouillement de questionnaires. Lors d'une recherche précédente, nous avions utilisé cette méthode pour étudier les effets d'un projet sur la relation affective à l'environnement (Franc, 2008). Les données concernant les savoirs scientifiques seront collectées a partir de l'analyse de vidéogrammes. Suivant la méthodologie de Roth *et al.* (2006), il s'agira tout d'abord, repérer et isoler les apprentissages disciplinaires (des autres formes d'apprentissage), pointer les tours de parole (qui parle? pour dire quoi?), sous quelle forme? (dialogue avec l'enseignant, débat), etc.

Nous prévoyons un échantillon de 4 à 10 classes avec un appariement des classes témoins et expérimentales.

La méthode d'analyse des données n'est pas encore stabilisée. En ce qui concerne les questionnaires, nous avons déjà utilisé, pour des enquêtes de ce type, une analyse statistique multivariée inspirée des travaux de (Bogner et Wiseman, 2002; Hagège *et al.*, 2007; Munoz, Quessada et Clément, 2007) qui nous semble la plus pertinente.

Un questionnaire en cours de construction permettra de mesurer l'apparentement, la fusion et la coupure envers les arthropodes concernés. Cette mesure devrait nous indiquer les émotions exprimées liées à la motivation d'accéder à des savoirs scientifiques les concernant. Pour les vidéogrammes, la méthode est en cours de réflexion et dépendra beaucoup du type et de la quantité de données recueillies.

Conclusion

Une revue de la documentation scientifique ainsi qu'une exploration des textes institutionnels a permis de faire un état de la recherche et de dégager les prescriptions concernant les affects et les savoirs scientifiques en éducation à la biodiversité. L'intérêt de l'étude de la diversité biologique des arthropodes terrestres a été exposé. Notre cadre de référence s'articule autour de deux axes correspondant aux deux concepts-clés principaux : affects et savoirs scientifiques que nous avons définis et situés au plan théorique avant de les mettre en relation à l'aide de séquences d'enseignement basées sur un modèle d'intervention éducative privilégié. Une étude expérimentale nous servira à vérifier si cette mise en relation a une action sur l'éducation à la biodiversité à l'école primaire en France. L'analyse des données devrait apporter des résultats sur les effets de la relation entre les affects et les savoirs scientifiques dans l'éducation à la biodiversité. Ces résultats pourraient par exemple montrer dans ce contexte précis que les affects accroissent la construction des savoirs, que les savoirs scientifiques permettent une maturité affective, enfin qu'une corrélation existe entre ces deux dimensions.

Références bibliographiques

Alsop, S. (éd.) (2005). Bridging the cartesian divide : science education and affect. *In* S. Alsop (éd.), *Beyond Cartesian Dualism Encountering Affect in the Teaching and Learning of Science* (3-16). Dordrecht (NL) : Springer.

Alsop, S. et Watts, M. (2000). Interviews-about-scenarios Exploring the affective dimensions of physics education. *Research in Education*, (63), 21-32.

Armfield, J. M. (2007). Manipulating perceptions of spider characteristics and predicted spider fear: Evidence for the cognitive vulnerability model of the etiology of fear. *Journal of Anxiety Disorders*, (21), 691-703.

Aubertin, C., Boisvert, V. et Vivien, F. D. (1998). La construction sociale de la question de la biodiversité. *Nature Sciences Sociétés*, *6*(1), 5-19.

Averill, J. R. (1998). What Are Emotions, Really? *Cognition and emotion*, *12*(6), 849-855.

Averill, J. R. et Nunley, E. P. (1988). Grief as an Emotion and as a Disease: A Social Constructionist Perspective. *Journal of Social Issues*, *44*(3), 79-95.

Bixler, L. D., Carlisle, C. L., Hammit, W. E. et Floyd, M. F. (1994). Observed fears and discomfort among urban students on field trips to wildland areas. *Journal of Environmental Education, 26*(1), 24-33.

Blondel, J. (2005). Biodiversité et sciences de la nature. *In* P. Marty, F.-D. VIvien, J. Lepart et R. Larrère (éds.), *Les biodiversités : objets, théories, pratiques* (p. 23-36). Paris : CNRS-éditions.

Bogner, F. X. et Wiseman, M. (2002). Environmental perception of French and some Western European secondary school students. *European journal of Psychology of Education*, *17*(1), 3-18.

Boujot, C. (2001). Corps à corps de bêtes et de gens : envenimation et représentations du corps dans le folklore français (XIXe-XXe siècles). [En ligne]. Consulté le 20 janvier 2009 sur le site internet : http://ruralia.revues.org/document244.html.

Bowd (1984). Fears and understanding of animals in middle childhood. *The Journal of Genetic Psychology*, 145, 143-144.

Bowen, G. M. et Roth, W. M. (2007). The Practice of Field Ecology: Insights for Science Education. *Res Sci Educ*, (37), 171–187.

Brown, J. S., Collins, A. et Duguit, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher*, *18*(1), 32-42.

Coutin, R. (2005a). Insectes et arthropodes de la Bible - 1re partie. *Insectes*, (137), 35-36.

Coutin, R. (2005b). Insectes et arthropodes de la Bible - 2e partie. *Insectes*, (138), 34-36.

Darner, R. (2009). Self-Determination Theory as a Guide to Fostering Environmental Motivation. *The journal of environmental education*, *40*(2), 39-49.

Deonna, J. A. et Teroni, F. (2008). *Qu'est-ce qu'une émotion?* Paris : Vrin.

Désautels, J. (1999). Rapport au savoir et éducation relative à l'environnement. *Éducation Relative à l'Environnement Regards Recherches Réflexions*, 1, 179-185.

Dimopoulos, D., Paraskevopoulos, S. et Pantis, J. D. (2008). The Cognitive and Attitudinal Effects of a Conservation Educational Module on Elementary School Students. *The Journal of Environmental Education*, *39*(3), 47-61.

Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., Scott, P. et Mortimer, E. (1994). Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, *23*(7), 5-12.

Drouin, J. M. (2006). *Autour de Jean-Henri Fabre La vie des insectes dans la littérature de langue française 1668-1907*. [En ligne]. Consulté le 19 novembre 2008, sur le site internet : http://www.ifjkansai.or.jp/IMG/culture/nov07/insects.pdf..

Duit, R. et Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, *25*(6), 671-688.

Edelson, D. C. (1998). Realising Authentic Science Learning Through the Adaptation of Science Practice. *In* B.J. Fraser and K.G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (p. 317-331). Dordrecht (NL) : Kluwer Academic Publishers.

Ekman, P. (1984). Expression and nature of emotion. *In* K. Scherrer et P. Ekman (éds), *Approaches to emotion* (p. 319-343). Hillsdale (NJ) : Erlbaum.

Ekman, P. (1993). Facial expression and emotion. American psychologist, 48(4), 384-392.

Favre, D. (2007). Transformer la violence des élèves Cerveau Motivation et Apprentissages. Paris : Dunod.

Fourez, G. (1988). La Construction des Sciences - Intoduction à la Philosophie et à l'Éthique des Sciences. Bruxelles : De Boeck-Wesmael.

Franc, S. (2008). Impact d'un projet scolaire sur la relation affective à l'environnement pour des élèves de huit à douze ans. Mémoire de Master HPDS. Université Montpellier II, France.

Frijda, N. H. (2003). Passions : les émotions comme motivation. *In* J.M. Colletta et A. Tcherkassof (Eds), *Les émotions - cognition, langage et développement* (p. 5-11). Sprimont (Belgique) : Mardaga.

Gayford, C. (2000). Biodiversity Education: a teacher's perspective. *Environmental Education Research*, *6*(4), 347-361.

Girault, Y. et Sauvé, L. (2008). L'éducation scientifique, l'éducation à l'environnement et l'éducation pour le développement durable. *Aster*, (46), 7-30.

Girault, Y., Quertier, E., Fortin Debart, C. et Maris, V. (2008). L'éducation relative à l'environnement dans une perspective sociale d'écocitoyenneté. Réflexion autour de l'enseignement de la biodiversité. In Gardiès A., Fabre I., Ducamp C., Albe V. (Éds), Education à l'information et éducation aux sciences : quelles formes scolaires? (p. 88-120). Rencontres Toulouse Educagro, Enfa.

Guilbert, L. et Gauthier, B. (1999). La réflexivité en éducation environnementale : l'émergence d'une nouvelle orientation? *Éducation Relative à l'Environnement Regards Recherches Réflexions*, 1, 217-223.

Hagège, H., Reynaud, C., Caussidier, C. et Favre, D. (2007). Evaluer l'impact d'une éducation à l'environnement pour un développement durable en mesurant la coupure, la fusion et l'apparentement par rapport à l'environnement. Colloque Education à l'Environnement pour un Développement Durable : Informer, former ou éduquer? Montpellier : CD-ROM.

Hasni, A. (2005). La culture scientifique et technologique à l'école : de quelle culture s'agit-il et quelles conditions mettre en place pour la développer? *In* D. Simard et M. Mellouki (Dir), *L'enseignement profession intellectuelle* (p. 105-134). Québec : Les Presses de l'Université de Laval.

Hasni, A. (dir.) (2010). L'éducation à l'environnement et l'interdisciplinarité: de la contextualisation des savoirs à la scolarisation du contexte? In A. Hasni et J. Lebeaume (dir.), Nouveaux enjeux de l'éducation scientifique et technologique : visées, contenus, compétences, pratiques (p. 179-222). Ottawa : Presses de l'Université d'Ottawa.

Hasni, A. (s.d.). Cadre conceptuel et méthodologique pour l'analyse des pratiques d'enseignement en sciences et technologies. Document de travail, Manuscrit non publié.

Hewson, P. W., Beeth, M. E. et Thorley, N. R. (1998). Teaching for Conceptual Change. In B.J. Fraser et K.G. Tobin (Eds), International Handbook of Science Education (p. 199-218). Dordrecht (NL) : Kluwer Academic Publishers.

Hofreiter, T. D., Monroe, M. C. et Stein, T. V. (2007). The effect of nature documentaries on students' environmental sensitivity: a case study. *Applied Environmental Education & Communication*, *6*(2), 149-157.

Horelli, L. (2007). Constructing a Framework for Environmental Child-Friendliness. *Children, Youth and Environments*, *17*(4), 267-292.

Huber, M. (2000). Une modélisation de la pédagogie du projet-élèves dans une perspective de professionnalisation des formateurs. [En ligne]. Consulté le 9 septembre 2010, sur le site internet : http://www.inrp.fr/biennale/5biennale/Contrib/Long/L191.htm.

Journal Officiel de la République Française (2009). Vocabulaire de l'environnement (liste de termes, expressions et définitions adoptés). [En ligne]. Consulté le 10 novembre 2009, sur le site internet : http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000020506972&fastPos=1&fastReqId=1513112959&categorieLien=id&oldAction=rechTexte.

Kaplan, S. (1985). Cognition and affect in environmental learning. *Children's Environments Quarterly*, *2*(3), 19-21.

Kellert, S. R. (1993). Values and perception of invertebrates. *Conservation biology*, 7(4), 845-855.

Kellert, S. R. (1998). *A national study of outdoor wilderness experience*. Rapport établi pour School of Forestry and Environmental Studies. Yale University.

Knight, A. J. (2008). ''Bats, snakes and spiders, Oh my!'' How aesthetic and negativistic attitudes, and other concepts predict support for species protection. *Journal of Environmental Psychology*, (28), 94-103.

Krajcik, J., Blumenfeld, P., Marx, R. et Soloway, E. (2000). Instructional, Curricular, and Technological Supports for Inquiry in Science Classrooms. *In* J. Minstrell et E. Van Zee (Eds), *Inquiry into inquiry : Science learning and Teaching* (p. 283 -315). Washington (DC) : American Association for the Advancement of Science Press.

Lange, J. M. et Martinand, J. L. (2010). Éducation au développement durable et éducation scientifique : Balises pour un curriculum. *In* A. Hasni et J. Lebeaume (dir.), *Nouveaux enjeux de l'éducation scientifique et technologique : visées, contenus, compétences, pratiques* (p. 125-154). Ottawa : Presses de l'Université d'Ottawa.

Lazarus, R. S. (1991). Progress on a Cognitive-Motivational-Relational Theory of Emotion. *American Psychologist*, *46*(8), 819-834.

Lebeaume, J. (2004). *« Education à… » et formes scolaires*. [En ligne]. Consulté le 01 septembre, 2010, sur le site internet : http://www.versailles.iufm.fr/colloques/sante/pdf/lebeaume.pdf.

LeDoux, J. E. (1998). *The emotional brain*. London : Weidenfeld & Nicolson.

Lee, O. et Brophy, J. (1996). Motivational Patterns Observed in Sixth-Grade Science Classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, *33*(3), 303-318.

Lenoir, Y. (1991). Relations entre interdisciplinarité et intégration des apprentissages dans l'enseignement des programmes d'études du primaire au Québec. *Sociologie* Université Paris 7.

Lenoir, Y. (2005). L'éducation à la citoyenneté: un processus sociohistorique de mutation de l'université à l'école primaire. *In* B. Mabilon-Bonfils (dir.), *Violences scolaires et culture(s)* (p. 145-187). Paris : l'Harmattan.

Lenoir, Y. (2009). L'intervention éducative, un construit théorique pour analyser les pratiques d'enseignement. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, *12*(1), 9-29.

Linnenbrink, E. A. (2006). Emotion Research in Education: Theoretical and Methodological Perspectives on the Integration of Affect, Motivation, and Cognition. Educ. Psychol. Rev., (18), 307-314.

Littledyke, M. (2008). Science education for environmental awareness: approaches to integrating cognitive and affective domains. Environmental Education Research, 14(1), 1-17.

Looy, H. et Wood, J. R. (2006). Attitudes Toward Invertebrates: Are Educational "Bug Banquets" Effective? The journal of environmental education, 37(2), 37-48.

Lotstra, F. (2002). Le cerveau émotionnel ou la neuroanatomie des émotions. *Cahiers critiques de thérapie familiale et de pratiques de réseaux*, *29*(2), 73-86.

M.E.N. (2004). Généralisation d'une éducation à l'environnement pour un développement durable (EEDD). *Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale*, (28), 1473-1475.

M.E.N. (2007a). Éducation au Développement Durable-Seconde phase de généralisation de l'éducation au développement durable(EDD). [En ligne]. Consulté le le 7 août 2010, sur le site internet : http://www.education.gouv.fr/bo/2007/14/MENE0700821C.htm.

M.E.N. (2009a). Encart du Bulletin officiel n° 10 du 5 mars 2009 Note de service n° 2009-034 du 25-2-2009 « L'École agit! Pour le développement durable ». *Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale*.

M.E.N. (2009b). *La mise en œuvre de l'éducation au développement durable dans les écoles et les établissements*. [En ligne]. Consulté le 7 août 2010, sur le site internet : http://eduscol.education.fr/cid47659/education-au-developpement-durable.html.

Maslow, A. (1954). *Motivation and personality*. New-York : Harper.

Meirieu, P. (2001). *Éduquer à l'environnement : Pourquoi? Comment? Du monde-objet au monde-projet*. Communication présentée dans le cadre du 2e Sommet francophone d'éducation à l'environnement, PLANET'ERE, Unesco, Paris, 18-23 novembre.

Mercer, N. (2007). Commentary on the Reconciliation of Cognitive and Sociocultural Accounts of Conceptual Change. *Educational Psychologist*, *42*(1), 75-78.

Mercer, N. (2008). Changing our minds: a commentary on 'Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education'. *Cult Stud of Sci Educ*, (3), 351-362.

Micoud, A. (2005). La biodiversité est-elle encore naturelle? *Écologie & Politiques*, (30), 17-25.

Moje, E. B., Collazo, T., Carillo, R. et Marx, R. W. (2001). ``Maestro, What is `Quality'?": Language, Literacy, and Discourse in Project-Based Science. *Journal of Research in Science Teaching*, *38*(4), 469-478.

Munoz, F., Quessada, M. P. et 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'Évolution*. Communication présentée aux 5es Rencontres de l'ARDIST, Montpellier, 17-19 octobre.

Not, L. (1979). *Les pédagogies de la connaissance*. Toulouse : Privat.

Not, L. (dir) (1984). *Une science spécifique pour l'éducation?* Toulouse : Université de Toulouse-le-Mirail.

Not, L. (dir) (1987). *Enseigner et faire apprendre. Eléments de psychodidactique générale*. Toulouse : Privat.

Perrenoud, P. (1999). Apprendre à l'école à travers des projets: pourquoi? Comment? [En ligne]. Consulté le 5 septembre, 2010, sur le site internet : http://www.formiris2.org/medias/.

Pintrich, P. R. (1999). Motivational beliefs as resources for and constraints on conceptual change. *In* W. Schnotz, S. Vosniadou et M.Garretero (Éds.), *New perspectives on conceptual change* (33-50). Oxford : Pergamon.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. H. et Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception : toward a theory of conceptual change. Science education, 66(2), 211-227.

Reiss, J. (2005). The importance of affect in science education. *In* S. Alsop (éd.), *Beyond Cartesian Dualism Encountering Affect in the Teaching and Learning of Science* (p. 17-26). Dordrecht (NL) : Springer.

Roth, K. J., Drucker, S. L., Garnier, E. H., Lemmens, M., Chen, C., Kawanaka, T., Rasmussen, D., Trubacova, S., Warvi, D., Okamoto, Y., Gonzales, P., Stiegler, J. et Gallimore, R. (2006). *Teaching Science in Five Countries : Results From the TIMSS 1999 Video Study Statistical Analysis Report. Rapport établi pour The National Center for Education Statistics (NCES)*. U.S. Department of Education - Institute of Education Sciences.

Roth, W. M. (1995). *Authentic School Science Knowing and Learning in Open- Inquiry Science Laboratories*. Dordrecht (NL): Kluwer Academic Publishers.

Roth, W. M. (2008). Knowing, Participative Thinking, Emoting. Mind, Culture and Activity, (15), 2-7.

Ryan, R. M. (2007). Motivation and Emotion: A New Look and Approach for Two Reemerging Fields. *Motivation and Emotion*, (31), 1-3.

Ryan, R. M. et Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American psychologist*, *55*(1), 68-78.

Sauvé, L. (2005). Repères pour la recherche en éducation relative à l'environnement. *In* L. Sauvé, I. Orellana et E. Van Steenberghe, *Éducation et environnement - Un croisement des savoirs* (p. 27-49). Montréal : Fides.

Scherer, K. R. (2001). *Emotion. In M. Hewstone et W. Stroebe (Eds), Introduction to social psychology* (3e édition) (151-196). Oxford : Blackwell Publishing.

Scherer, K. R. (2009). The dynamic architecture of emotion: Evidence for the component process model. *Cognition and Emotion*, *23*(7), 1307-1351.

Schwab, J. (1964). Problems, Topics, Issues. In Stanley Elam (Ed.), Education and the structure of Knowledge (p. 6-30). Chicago : Rand Mc Nally.

Searles, H. (1986). *L'Environnement non humain*. Paris : NRF Gallimard (1re éd. 1960).

Shepardson, D. P. (2002). Bugs, butterflies, and spiders: children's understandings about insects. *International Journal of Science Education*, *24*(6), 627-643.

Skinner, B. F. (2005). *Science et comportement humain*. Paris : In Press (1re éd., 1953).

Turner, J. C., Thorpe, P. K. et Meyer, D. K. (1998). Students' Reports of Motivation and Negative Affect: A Theoretical and Empirical Analysis. *Journal of Educational Psychology*, *90*(4), 758-771.

Versailles, A. (2003). Entre éducation relative à l'environnement et éducation scientifique, quelles complémentarités? *VertigO*, *4*(2), 1-8.

Viau, R. (1994). *La motivation en contexte scolaire*. Bruxelles : De Boeck Université.

Vygotsky, L. S. (1997). *Pensée et langage* (Trad par F. Sève). Paris : La Dispute (1re éd. 1934).

Vygotsky, L. S. (1998). *Théorie des émotions : étude historico-psychologique* (Trad. par N. Zavialoff et C. Saunier). Paris : L'Harmattan (1re éd. 1933).

Weiner, B. (1979). A theory of motivation for some classroom experiences. *Journal of Educational Psychology*, 71, 3-25.

Westerveld, M. O. et Lewellyn, L. G. (1985). Youth and wildlife The beliefs and behavior of fifth and sixth grade students regarding non-domestic animals. Rapport établi à la demande de Fish and Wildlife Service. U.S. Department of Interior.

Zembylas, M. (2007). Theory and methodology in researching emotions in education. *International Journal of Research & Method in Education*, *30*(1), 57-72.

LES DÉCALAGES ENTRE LE POTENTIEL DE LA TÂCHE MATHÉMATIQUE ET LES ATTENTES DE L'ENSEIGNANT : DES IMPLICITES À DÉCODER POUR L'ÉLÈVE

Laurent Theis et Claudine Mary
CREAS[1], Université de Sherbrooke

Le choix des problèmes à soumettre aux élèves, qu'il s'agisse d'un problème utilisé dans le but de provoquer l'apprentissage d'un concept ou qu'il s'agisse d'un problème d'application, est une dimension de la pratique enseignante qui mérite attention. Les enseignants sont confrontés à différentes formulations de ce qu'est un problème ou une situation-problème et sont soumis à différentes pressions ou sollicitations du système éducatif dans ce sens : les SAÉ – situations d'apprentissage-évaluation - des évaluations ministérielles, l'approche par problème ou par situations-problèmes préconisée par le Programme de Formation de l'École Québécoise et par certaines formations, comme celle du Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences (CREAS) qui en fait une de ses préoccupations. Les critères qui guident les enseignants pour la conception ou le choix de problèmes ne sont pas toujours clairs. Même si des caractéristiques sont explicitées par les formateurs, ceux-ci constatent des décalages entre ce qu'eux-mêmes envisageaient et ce que les enseignants produisent, les références des uns et des autres n'étant pas les mêmes. Tel est le cas par exemple pour le concept de situation problème. Dans le programme de formation de l'école québécoise (enseignement secondaire, premier cycle), les situations-problèmes « sont organisées autour d'obstacles à franchir, à propos desquels l'élève formule des conjectures » (p.237). Par ailleurs, une situation-problème *« répond à une des conditions suivantes :*

- *Elle n'a pas été présentée antérieurement en cours d'apprentissage*
- *L'obtention d'une solution satisfaisante exige le recours à une combinaison non apprise de règles ou de principes dont l'élève a ou non fait l'apprentissage*
- *Le produit, ou sa forme attendue, n'a pas été présenté antérieurement »* (Gouvernement du Québec, 2003, p.240).

Tel que défini par le MELS, il suffit alors qu'une situation-problème réponde à un des critères énoncés. Quel critère adopter alors pour juger d'un problème? Derrière la sollicitation au problème et à une approche par problème, il y a bien celle de mettre l'élève en activité mathématique. C'est donc cette activité mathématique effective ou potentielle qui nous intéresse. Cette activité est fonction d'un certain nombre de variables dont des implicites que l'élève aura à interpréter, à expliciter ou avec lesquels il devra

[1] La recherche a été réalisée dans le cadre des activités du CREAS et a obtenu un soutien financier d'une subvention du conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (Hasni et *al.*, *CRSNG, 2005-2011,* n° 319745-2005).

négocier. C'est sous cet angle que nous proposons d'étudier les problèmes choisis ou conçus par les enseignants lors de journées d'accompagnement d'enseignants des mathématiques au secondaire, journées prises en charge par le CREAS dans le cadre d'un projet collaboratif (Hasni *et al.* 2005-2011). Après avoir présenté le contexte de l'étude, nous présenterons notre cadre de référence et ce que dit la recherche sur les implicites en résolution de problème. Nous analyserons ensuite un problème pour envisager la suite de la recherche que nous avons amorcée.

Le contexte de la recherche

Notre étude se situe dans le cadre des travaux du CREAS (Sherbrooke) qui visent l'étude et l'amélioration de la qualité de l'enseignement des sciences, des technologies et des mathématiques (STM) au secondaire. Cet objectif général est réalisé en partenariat avec le milieu de la pratique, notamment des écoles et Commission scolaire préoccupées de la qualité de l'enseignement des STM. Les démarches d'enseignement-apprentissage en STM constituent un des axes de recherche du Centre avec l'objectif, entre autres, d'analyser les pratiques d'enseignement (actions des enseignants en relation avec les actions des élèves) mises en œuvre lors du recours à des démarches d'enseignement-apprentissage propres aux STM telles les approches par problèmes en mathématiques. Lors de trois journées de formation, les enseignants sont appelés à concevoir ou à adapter des problèmes qu'ils expérimenteront en classe. Les expérimentations en classe sont enregistrées puis un retour réflexif en groupe permet aux participants d'exposer le bilan qu'ils font à la suite de la conception et de l'expérimentation en classe. Dans le cadre de ces formations, nous avons recueilli un corpus d'une douzaine de problèmes proposés aux élèves avec les enregistrements de classe correspondants. Ces problèmes ont été choisis pour analyse parce que les enseignants qualifient eux-mêmes leur démarche d'approche par problèmes ou de situations problèmes. Notons que si des ateliers sont donnés par les formateurs sur différents sujets menant à réflexion, les enseignants dont les problèmes ont été sélectionnés n'ont pas forcément assisté à des ateliers portant spécifiquement sur l'approche par problèmes en mathématiques.

Objectifs

Notre étude s'inscrit dans l'objectif du CREAS d'analyser les pratiques d'enseignement mises en œuvre lors du recours à une approche par problème en mathématiques. Plus spécifiquement, nous nous préoccupons de caractériser les problèmes conçus ou adaptés par les enseignants en relation avec l'activité mathématique potentielle et effective chez les élèves et l'enseignant. Dans ce texte, nous allons nous pencher sur le cas d'un problème proposé aux élèves par une enseignante et l'activité de classe autour de ce problème. Le texte rend compte de l'état d'avancement actuel de nos travaux.

Éléments du cadre conceptuel : position à l'interface entre enseignement et apprentissage

Le cadre d'analyse que nous utilisons est inspiré de Robert et Rogalski (2002). Il permet de mettre en évidence des décalages entre ce qui est attendu de l'enseignant en termes d'activité chez l'élève, ce qui est fait effectivement par l'élève et le potentiel de la tâche comme prescrit. Nous nous proposons d'interpréter ces décalages en termes d'implicites.

Du cadre d'analyse des pratiques de Robert et Rogalski (2002), nous retenons les notions de tâches et d'activité. Une tâche (prescrite)[2] est un « énoncé d'exercice (ou problème) proposé aux élèves, dans l'acceptation mathématique du terme » (Robert, 2001, p.64); « le mot d'activité désigne ce que les élèves vont faire pour résoudre l'exercice (avec une partie non visible). » (Robert, 2001, p.64). Nous retenons également la distinction que les auteurs font entre tâche prescrite et tâche effective ainsi qu'entre activités attendues et activités effectives (cf. schéma 1).

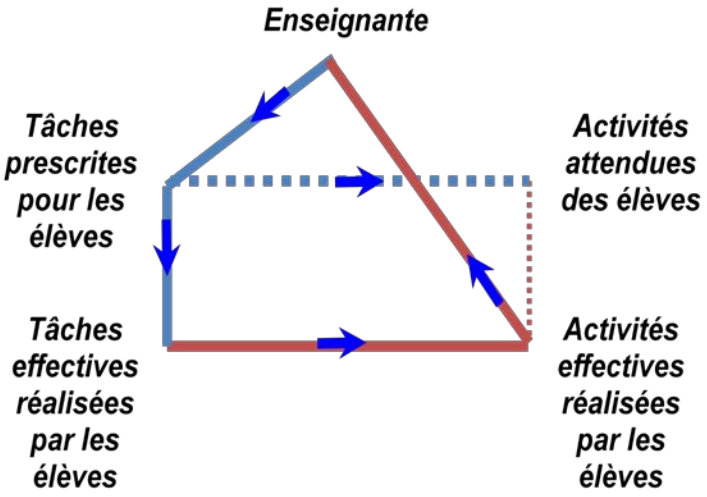


Schéma 1 : Schéma de l'activité de l'enseignant

L'enseignant propose des tâches à ses élèves (dans notre cas, un problème à résoudre) dans le but de provoquer ou de consolider un apprentissage. Lors de la conception ou du choix des tâches, l'enseignante ou l'enseignant a des attentes en termes d'activités mathématiques qu'il veut provoquer chez ces élèves compte tenu de ses objectifs d'apprentissage. Or, les tâches prescrites (énoncé des problèmes) sont potentiellement susceptibles de provoquer des activités différentes chez les élèves (c'est le point de vue que nous adoptons) et ainsi les tâches effectivement réalisées par les élèves peuvent différer de celles proposées par l'enseignant et les activités effectives des élèves, par conséquent, différer des activités attendues. Lorsque l'enseignant constate, par l'intermédiaire de l'activité effective des élèves, que ceux-ci réalisent une tâche différente de celle attendue, l'enseignant peut alors, modifier en partie ou en totalité la tâche initiale. L'analyse de l'activité de l'enseignant en classe consiste à analyser la dynamique de ce schéma (Marchand, Squalli, Mary, 2008).

La différence entre l'activité attendue de l'élève et son activité effective peut s'expliquer au moins en partie par le potentiel plus ou moins grand d'activité mathématique possible compte tenu de l'énoncé du problème; il peut donc y avoir décalage aussi entre ce qu'il est possible de faire selon ce qui est annoncé et ce qui est attendu par l'enseignant ainsi qu'entre ce qu'il est possible de faire et ce qui est effectivement fait par l'élève. Nous nous distançons donc du schéma précédent de l'activité de l'enseignant pour considérer,

[2] Les parties entre parenthèses sont ajoutées par nous.

en plus du décalage entre l'activité attendue et l'activité effective de l'élève, les décalages entre ces activités et celles dont est potentiellement porteur le problème tel qu'énoncé. Le schéma 2 présente les trois niveaux d'activités qui seront étudiés.

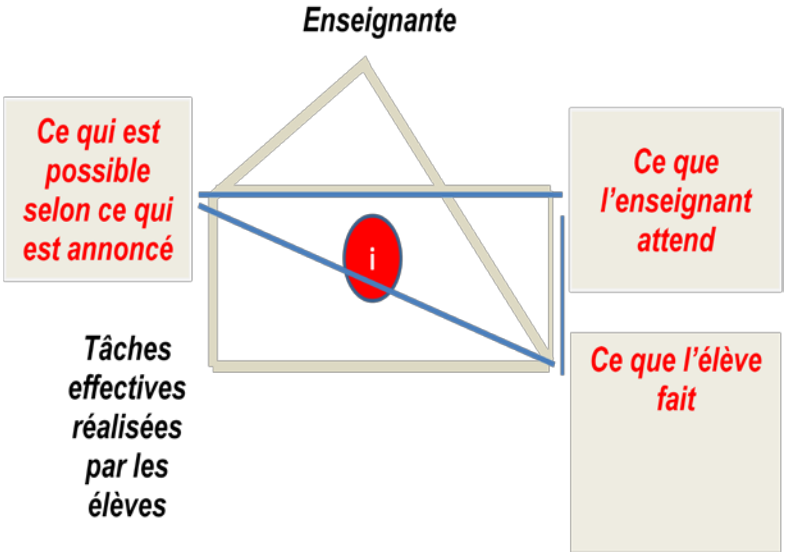


Schéma 2 : schéma des trois niveaux d'activités

Dans la caractérisation des problèmes, nous sommes intéressés par les décalages entre ce qui est potentiellement possible et les attentes effectives de l'enseignante et les actions effectives des élèves. Nous interprèterons ces décalages en termes d'implicites.

Recherche sur les implicites

Plusieurs auteurs ont mis en évidence les conséquences potentielles des implicites sur l'activité de l'élève et en particulier sur des élèves plus vulnérables de notre système éducatif, les élèves dits en difficultés d'apprentissage ou provenant de milieux défavorisés.

Cerquetti-Aberkane (1987) décrit un certain nombre de difficultés qu'elle qualifie d'« extramathématiques » et qui peuvent s'interpréter en termes d'implicites. Par exemple, elle montre que les élèves ont tendance à injecter des données de la vie de tous les jours dans des contextes réels (les élèves comptent trois élèves par banc dans un autobus ou les sièges sont à deux places).

Plus récemment, des travaux en didactique des mathématiques se sont développés en prenant comme cadre théorique celui du sociologue Bernstein sur le discours éducatif. Celui-ci (Bernstein, 2007) défend l'hypothèse forte que l'instruction est une institution aux règles spécifiques implicites dont la maîtrise est la clé du succès scolaire. Gellert (2009), en référence aux concepts de Bernstein de classification et de cadrage, fait l'hypothèse que les tâches ou approches « fortement classifiées » (aux exigences d'un type de discours attendu fortes), mais « faiblement cadrées » (aux approches peu directives) sont favorables à créer le clivage entre les élèves qui réussissent et ceux qui ne réussissent pas. Knipping, Reid & Gellert (2009) cherchent à mettre en évidence les disparités créées par les implicites dans la classe: plus spécifiquement, ils montrent

que le contexte est subordonné aux mathématiques à enseigner. Dans le processus de recontextualisation[3] des mathématiques, le contexte réel s'évanouit. Seuls quelques élèves s'en rendent compte.

Par ailleurs, la notion d'implicites est au cœur même du contrat didactique défini comme l'ensemble des attentes ou obligations mutuelles des élèves et de l'enseignant à propos du contenu d'enseignement-apprentissage (Brousseau, 1996). Si un décalage entre ces différentes attentes est nécessaire à l'apprentissage (Sarrazy, 1995), les effets du contrat didactique nuisibles à l'apprentissage sont aussi bien documentés. (Schubauer-Leoni, 1986; Perrin-Glorian, 1993; Brousseau et Warfield, 2002).

Ces constats ou résultats peuvent mener à s'interroger sur le degré d'implicites souhaitables ou la nature des implicites en jeu. Notre préoccupation n'est toutefois pas de répondre à ces questions, mais plutôt de mettre en évidence les décalages dont il est question plus haut pour comprendre les tensions qui s'exercent entre les différentes composantes en jeu.

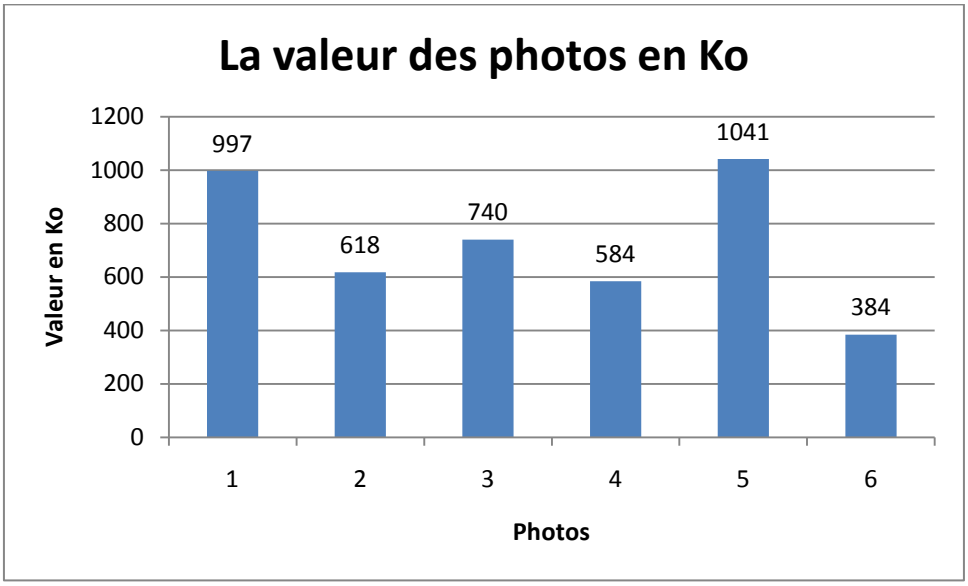
Méthodologie

Pour les besoins de cet article, nous avons analysé le problème suivant, construit par l'enseignante elle-même et destiné à des élèves de première année du secondaire (12-13 ans).

> Julien s'est acheté un lecteur MP3 de 4 Go. Il a transféré ses disques compacts sur celui-ci. Présentement, il a 571 chansons dans son lecteur. Lorsqu'il se rend dans son menu pour connaître la capacité utilisée, l'information indique 1,64 Go.
>
> 1) Combien de chansons pourra-t-il ajouter dans son lecteur pour atteindre sa capacité maximale?
> 2) S'il veut ajouter 15 photos à la capacité actuelle de son lecteur et qu'il sait qu'une photo peut se situer entre 350 kilooctets et 1200 kilooctets. Combien pourra-t-il ajouter de chansons pour atteindre sa capacité maximale? Pour avoir une idée de l'espace que peut occuper chaque photo, voici un graphique représentant la valeur de chaque photo.[4]

[3] Recontextualisation : processus de remettre en contexte les contenus mathématiques décontextualisés (en référence à Bernstein, 2007).

[4] Dans le cahier de l'élève, la formulation de la tâche est légèrement différente d'un endroit à l'autre. Sur la page couverture, qui rassemble toutes les questions, seul l'intervalle est mentionné (Il sait qu'une photo peut se situer entre 350 et 1200 kilooctets). Par contre, sur la feuille de réponse, où les questions sont répétées, seul le graphique est indiqué (Pour avoir une idée de l'espace que peut occuper chaque photo, voici un graphique représentant la valeur de chaque photo), mais l'intervalle ne s'y retrouve plus. Dans notre analyse, nous avons tenu compte des deux contraintes (l'intervalle et le graphique).



3) Julien désire conseiller un ami pour l'achat d'un lecteur MP3. Son ami veut insérer 25 CDs de 12 chansons ainsi que 50 photos. (3 choix sont offerts aux élèves sous forme de pictogrammes : 2 Go pour 169,99 $, 4 Go à 229,99 $ et 30 Go à 299,99 $)

Un tableau montre comment passer de l'octet (considéré comme unité) au kilo, au méga, au giga puis tétra octet et inversement.

Les élèves sont invités à amener leur lecteur MP3.

Notre analyse sera effectuée en deux parties. Dans une première partie, nous allons analyser a priori l'énoncé du problème proposé par l'enseignante et nous allons décrire comment un élève pourrait interpréter les attentes de l'enseignante face à ce problème et quelles actions il pourrait entreprendre pour le résoudre. Dans une deuxième partie, nous allons, en nous servant des transcrits des vidéos provenant de la réalisation des activités en classe, analyser les décalages décrits dans le schéma 2 qui se manifestent entre le potentiel de l'activité, les attentes de l'enseignante (selon ce qu'il renforce, encourage, refuse, réoriente) et les actions des élèves.

Ce qui est possible selon ce qui est annoncé – analyse a priori du problème

Une des caractéristiques du problème soumis est qu'il est fortement ancré dans la réalité. Le problème traite d'un lecteur MP 3, en demandant à l'élève de calculer le nombre de chansons qu'il peut y ajouter pour arriver à pleine capacité (en ajoutant seulement des chansons à la première question ou des chansons et des photos à la deuxième). Par ailleurs, la troisième question demande à l'élève de « conseiller un ami » sur l'achat d'un lecteur MP3, en fonction du nombre de chansons et de photos qu'il veut insérer.

Comment est-il possible de traiter ce contexte pour l'élève? D'abord, pour répondre à la première question, il y a plusieurs options quant au traitement des éléments mathématiques qu'elle contient. Si le problème se situait dans la vie réelle, les chansons seraient probablement toutes de taille différente. Il serait alors envisageable de travailler avec une taille moyenne pour chacune des chansons. Cette approche impliquerait cependant qu'il faut assumer que les nouvelles chansons ont environ la même taille que celles qui sont déjà sur le lecteur et que le nombre total de chansons n'est qu'une approximation plus ou moins précise. On peut également se demander si un modèle purement proportionnel serait approprié pour traiter de ce problème. Bien sûr, au départ, la situation n'est pas proportionnelle au sens strict, parce que les chansons n'ont pas toutes la même taille. Par contre, un modèle proportionnel permettrait de donner une bonne approximation pour répondre à la question. Un tel modèle serait probablement accessible aux élèves de cette classe. En effet, les notions de taux, de rapports et de proportions sont au programme du premier cycle du secondaire. Selon le programme d'études, l'élève est amené à traduire une situation de proportionnalité à l'aide d'une proportion et à la résoudre *« en ayant recours notamment à des stratégies multiplicatives qu'il a élaborées, telles que le retour à l'unité, la recherche d'un facteur de changement, la recherche du rapport ou du coefficient de proportionnalité, le procédé additif ou mixte, etc. »* (Gouvernement du Québec, 2003, 252).

Dans la deuxième question, les élèves sont invités à déterminer le nombre de chansons qu'on peut rajouter sur le lecteur, après l'ajout de 15 photos, qui peuvent occuper un espace entre 350 et 1500 kilooctets chacune. Afin de soutenir le raisonnement des élèves, l'enseignante leur a ajouté un diagramme à bandes avec la taille de 6 photos différentes, qui sont fournies à titre d'exemple (Dans le diagramme à bandes, les valeurs se situent entre 400 et 1030 Go). Le traitement de la taille des photos laisse alors plusieurs possibilités. Faut-il considérer la taille maximale des photos, afin de ne pas nommer un nombre de chansons trop élevé? Est-ce nécessaire de donner un intervalle comme réponse, qui tient compte des valeurs minimales et maximales des tailles des photos? Ou encore est-il acceptable de considérer une « moyenne » entre les deux valeurs pour déterminer le nombre de chansons supplémentaires que le lecteur MP3 peut accueillir? Différents choix sont possibles pour répondre à ces questions. Les pistes de solution qui y sont proposées se situent à l'intérieur de ce qui serait raisonnable de faire, en fonction du contexte dans lequel on se situe et de ses contraintes[5].

La troisième question implique la formulation d'un conseil à un ami qui veut s'acheter un lecteur MP3. Pour ce faire, les seules informations dont dispose l'élève sont les nombres de chansons et de photos que l'ami veut insérer sur le lecteur. L'enseignante donne aux élèves trois choix de lecteurs MP3 qui indiquent leur capacité et leur prix. Le contexte et les informations fournies soulèvent plusieurs nouvelles questions. Comme pour la deuxième question, il faut décider d'un traitement de l'intervalle pour la taille des photos. Il est nécessaire également que l'élève précise les critères retenus. Est-ce qu'il suffit que la capacité

[5] D'autres enjeux que soulevés par cette question sont également problématiques, mais relèvent davantage de l'erreur. Faut-il utiliser l'échantillon de six chansons fourni par l'enseignante? Si oui, comment doivent être traitées les valeurs maximales et minimales différentes dans la question et dans le diagramme à bandes? Une contradiction manifeste est alors présente entre les données du diagramme et l'énoncé, et il ne suffira pas de se rapporter au contexte pour interpréter cette contradiction

corresponde exactement aux nombres de chansons et de photos indiqués ou serait-il plus prudent de garder de l'espace pour des chansons ou des photos qui seront installées plus tard sur l'appareil? Que faut-il faire si la capacité d'aucun appareil ne correspond exactement à l'espace occupé par les 12 CD et les 25 photos? Faut-il considérer alors le plus petit qui correspond à ces critères? Finalement, comment faut-il tenir compte de la variable du prix dans le problème? Est-ce que le budget d'achat est illimité ou est-ce qu'il faut choisir l'option la moins chère en fonction des critères donnés? La réponse à ces questions dépend alors du degré de réalisme qu'on décide de prendre en compte dans la situation. Ainsi, la réponse à cette question risque d'être très différente dans la vie réelle et dans un contexte scolaire. Finalement, l'invitation explicite de l'enseignante d'amener le lecteur MP3 en classe est un indice supplémentaire qui peut faire conclure à l'importance du contexte pour la résolution du problème.

Comment l'enseignante pourrait-elle traiter du contexte de vie réelle? On peut imaginer, entre autres, que les différentes questions qui peuvent se poser aux élèves peuvent être l'occasion pour elle de discuter avec les élèves des modèles mathématiques les plus appropriés pour résoudre une situation de la vie réelle, celle du problème en l'occurrence. Dans ce contexte, le choix du modèle est particulièrement important. D'abord, il est nécessaire qu'il soit à la portée de l'élève. Par contre, il est nécessairement imparfait et il s'agit de trouver celui qui reflète le plus fidèlement la réalité. En modélisant, on fait abstraction d'une partie du réel. C'est le cas par exemple lorsqu'on utilise un modèle proportionnel pour trouver le nombre de chansons. Bien que toutes les chansons n'aient pas la même taille dans la réalité, on fait comme si c'était le cas pour résoudre le problème. Ce constat a également des conséquences sur le type de résultats attendus. Comme les chansons et les photos n'ont pas toutes la même taille, il devient difficile d'obtenir une réponse précise quant au nombre de chansons ou de photos qu'on peut ajouter dans la réalité. On peut alors se demander si cette activité doit demander des élèves des réponses précises ou si des approximations seraient suffisantes.

Différents types de décalages

En fonction du schéma 2, considérons trois types de décalages qui se manifestent dans la dynamique de la classe : celui entre le potentiel du problème en termes d'activités et ce que l'enseignante attend, celui entre le potentiel du problème et ce que l'élève fait, et celui entre ce que l'enseignante attend et ce que l'élève fait. Nous allons d'abord traiter du dernier type de décalages, puisque c'est à travers l'interaction entre l'élève et l'enseignante qu'il est possible de déterminer les attentes et actions de chacun. Par la suite, nous tenterons de situer les attentes de l'enseignante et les actions de l'élève par rapport au potentiel du problème telles que nous le révèle l'analyse a priori.

A) Le décalage entre les attentes de l'enseignante et les actions des élèves

L'analyse des interactions enseignante-élève permet de dégager ce qui est attendu de l'enseignante en fonction de ce que l'élève fait. Cette analyse permet de faire ressortir différents implicites qui régissent l'interaction didactique en classe. Un premier de ces implicites concerne les attentes de l'enseignante concernant la précision de la réponse attendue. Même si ce n'est pas formulé explicitement dans le problème l'enseignante s'attend à une réponse exacte et n'accepte pas d'estimation, comme en témoigne l'extrait suivant, qui est similaire à celui qu'elle a eu avec plusieurs autres groupes d'élèves.

Élève : On pense qu'on a 1327 chansons.
Enseignante : Est-ce que vous êtes arrivés à calculer?
Élève : Environ là.
Enseignante : Mais avez-vous cherché pour une chanson?
Élève : Pourquoi?
Enseignante : Une chanson
Élève : Non.
Enseignante : Qu'est-ce que vous avez fait?
Élève : On a genre additionné ça 2 fois, puis on a divisé.
Enseignante : Divisé par quoi?
Élève : C'est bien compliqué, M. va expliquer… Mais à la fin, on a fait fois 2, ensuite on a divisé la réponse, ça a donné…
Enseignante : Ça a donné quoi?
Élève : Ça a donné 82, ensuite on a additionné les trois.
Enseignante : Mais le 82 c'est quoi?
Élève : C'est pour avoir le plus proche de 4 Go.
Enseignante : Ok, vous y alliez par essai-erreur!
Élève : Oui
M. : Ça a donné 4,10.
E3 : Oui ça a donné 4,10. Ben c'était pas pire, pis ça a donné la réponse.
Enseignante : Mais vous n'avez pas la réponse juste là, vous êtes en estimation.

La stratégie de ces élèves était alors la suivante : pour répondre à la première question, ils ont d'abord multiplié 1,64 et 571 par 2, pour trouver que 3,28 Go correspondent à 1142 chansons. Ils ont par la suite divisé 1,64 et 571 par 2 et ont déterminé que 0,82 Go correspondent à 285 chansons. En additionnant 3,28 et 0,82 ainsi que 1142 et 285, ils sont arrivés à 13276 chansons pour 4,1 Go, réponse que les élèves considéraient être suffisamment proche de 4 Go pour être acceptable.

L'extrait montre clairement que l'enseignante s'attend à une réponse exacte et qu'une estimation n'est pas suffisante. D'ailleurs, elle désigne la démarche des élèves comme étant de l'« essai-erreur ». D'autres implicites sont aussi mis en évidence par cet extrait.

L'enseignante donne un indice concernant la façon de résoudre le problème auquel elle s'attend. En effet, elle demande aux élèves s'ils ont calculé l'espace occupé par une chanson. Elle s'attend donc clairement à ce que les élèves utilisent un raisonnement proportionnel – et non un raisonnement statistique - et passent par la taille d'une chanson pour le faire. Il est à noter que la stratégie des élèves s'inscrit bel et bien dans une optique proportionnelle de type linéaire scalaire (René de Cotret, 2006), ou mixte (Gouvernement du Québec, 2003), mais elle est à ce stade approximative.

Immédiatement après cet extrait, l'enseignante pousse les élèves à avoir recours à une règle de trois pour trouver la réponse au problème :

Enseignante : vous êtes capables d'avoir une réponse juste…
Élève : Ben non!
Enseignante : Souvenez-vous des proportions qu'on a apprises? La règle de trois? Le produit croisé?

---

[6] À noter qu'ici, les élèves ont fait une erreur de calcul, probablement due à une erreur au niveau de la retenue. La somme correcte devrait être de 1427 chansons pour 4,1 Go.

Par la suite, elle explique directement aux élèves comment utiliser la règle de trois, en passant par la recherche de la taille d'une chanson. Pour l'enseignante, la règle de trois semble donc référer à un retour à l'unité pour trouver la taille d'une chanson (Gouvernement du Québec, 2003; René de Cotret, 2006). Pour trouver la taille d'une chanson, il faut alors diviser 1,64 par 571, ce qui donne l'espace pour une chanson, et ensuite trouver combien de fois cet espace est contenu dans l'espace restant. C'est cette stratégie à laquelle s'attend l'enseignante de tous les élèves. C'est d'ailleurs dans plusieurs groupes qu'elle piste explicitement les élèves vers l'utilisation d'une règle de trois qui passe par la taille d'une chanson. Ceci s'applique également lorsqu'elle intervient auprès de groupes qui ont, sans peut-être le savoir, trouvé le nombre de chansons par Go. Ainsi, dans une équipe, les deux élèves ont divisé 571 par 1,64, sans cependant en comprendre le résultat, qui correspond au nombre de chansons par Go. Au lieu de traiter alors avec eux de la signification du nombre obtenu, l'enseignante utilise un exemple avec des nombres plus faciles à traiter (100 chansons à 2 Go) pour leur demander de trouver la taille d'une chanson. Le raisonnement des élèves est alors très différent de celui de l'enseignante. Une fois connu le nombre de chansons par Go, il suffirait de multiplier ce nombre par le nombre de Go restants.

Une intervention auprès d'une équipe en train de travailler sur la deuxième question révèle par ailleurs que l'enseignante induit elle-même l'idée de la moyenne pour traiter les tailles différentes des photos. En effet, lorsque l'équipe d'élèves travaille sur le diagramme que l'enseignante leur a fourni et dans lequel sont inscrites les tailles de 6 photos fictives, elle les oriente explicitement vers le recours à la moyenne.

Enseignante : 15, comment ils valent les 15 (photos)?
Élève 2 : ben ça dépend
Enseignante : ça dépend, ça dépend de quoi? (elle montre sur la feuille)
Élève 1 : ça dépend de… (elle regarde sur la feuille)
Enseignante : ça dépend des photos? qu'est-ce que vous allez faire avec ça?… est-ce que vous pouvez faire une moyenne?

Un peu plus tard, elle fait également part de ses exigences très précises concernant la façon d'arrondir les nombres.

Élève 1 : Là on a fait la moyenne. (elle lui montre sa feuille) Ça, pis…
Enseignante : Donc ça vous donne… Est-ce que vous pouvez arrondir?… Vous avez additionné tout ça, ensuite vous avez divisé par 6, ça vous donne 727,3. Pouvez-vous l'arrondir?
Élève 2 : On peut l'arrondir à 730.
Enseignante : Pourquoi 730?
Élève 2 : Je ne sais pas … à 728?
Enseignante : C'est bon ce que vous faites. Arrondissez à l'unité.
Élève 1 : A 730?
Enseignante : Non, à l'unité.
Élève 2 : 727?
Enseignante : Oui, 727, c'est bon aussi.

Ces deux extraits sont intéressants en termes des implicites véhiculés dans l'activité. D'une part, l'enseignante suggère elle-même aux élèves d'avoir recours à la moyenne des différents nombres pour résoudre le problème alors qu'en fonction du contexte utilisé, d'autres approches auraient également pu être acceptables. D'autre part, elle insiste sur la nécessité d'arrondir les nombres. On peut alors se questionner sur le but de cette demande. Est-ce pour faciliter les calculs subséquents? Si c'était le cas,

arrondir à la dizaine la plus proche aurait été plus pertinent. Par ailleurs, seulement 6 valeurs sont fournies aux élèves et on ne peut pas automatiquement présumer que les autres photos répondent exactement aux mêmes critères[7]. La réponse obtenue est donc nécessairement une estimation ou encore une prévision. En même temps, l'enseignante accepte deux réponses différentes pour l'arrondissement du nombre, soit l'unité la plus proche (727) ainsi que l'unité qui suit (728), mais qui n'est pas la plus proche.

Comment l'élève doit-il alors gérer le décalage entre ce qu'il fait et ce que l'enseignante attend? Essentiellement, la régulation des implicites se fait ici par la rétroaction directe de la part de l'enseignante et non par une rétroaction effective (Fregona, 1995; dans Giroux, 2004), par opposition à factice, émanant du milieu. C'est en circulant dans les différentes équipes que l'enseignante manifeste explicitement ses attentes quant à la façon de résoudre le problème. En agissant de la sorte, elle réduit dès lors le champ d'action potentiel de l'élève, en l'incitant à avoir recours directement à une stratégie précise. Comment l'élève doit-il négocier avec cette réduction?

D'une part, comme seulement une façon de faire n'est acceptée, il doit en quelque sorte deviner de quelle manière il doit interpréter le problème et comment il doit le traiter. D'autre part, cette réduction l'oblige par moments à entrer dans une logique complètement différente de celle qu'il a développée jusqu'à ce moment-là. C'est le cas par exemple des élèves qui essaient de doubler l'espace occupé et le nombre de chansons et qui, à la suite de l'intervention de l'enseignante, doivent tout d'un coup conceptualiser le lien entre les deux quantités en passant par la taille d'une chanson (et de cette manière précisément, le nombre de chansons par Go n'étant pas reconnu comme tel par l'enseignante lors de l'interaction avec eux). Cette difficulté est illustrée par l'extrait suivant dans lequel l'élève a d'abord recours au doublage des quantités (3,28 Go pour 1142 chansons) et essaie ensuite de déterminer combien de chansons se trouvent dans les 0,72 Go restants.

Élève : Mais 3,28 plus ça, 0,72 égale 4 Go… Je sais pas trop…
Enseignante : Comment es-tu arrivé? Je ne comprends pas ta stratégie.
Élève : 0,72 plus 3,28 égale 4 Go. Il manquait 0,72…
Enseignante : Mais comment as-tu trouvé?
Élève : Ben juste pour trouver le reste de chansons.
Enseignante : Et si tu trouves une chanson, ça vaut combien?
Élève : Oui
Enseignante : Comment pourrais-tu trouver ça?
Élève : Ça, je ne comprends pas.
Enseignante : Comment tu peux trouver, A., pour une chanson?… Est-ce que vous pourriez changer vos chiffres, trouvez des nombres entiers, changez votre problème pour essayer de comprendre… Attends. Si je disais dix chansons vaut 2 Go, pour 1 chanson ça vaudrait combien?
Élève : (Réfléchit, mais ne répond pas).

[7] L'intervalle mentionné dans la question (entre 350 et 1500 Go) et l'échantillon utilisé dans le diagramme (entre 400 et 1200 Go) rendent difficile une compréhension de l'échantillon des 15 chansons ayant exactement les mêmes caractéristiques que celui de 6 chansons qui a été montré. Comme l'intervalle utilisé dans la question est plus grand, on peut supposer qu'il y a, ailleurs, des photos de plus grande taille et de plus petite taille que celles contenues dans le diagramme.

L'enseignante a recentré ici directement l'élève sur sa stratégie, qui est de trouver l'espace occupé par une chanson, ce qui oblige l'élève à modifier, non sans difficulté, sa manière d'approcher le problème. En effet, passer d'une logique dans laquelle l'élève essaie de s'approcher, en multipliant, le plus proche possible de 4 nécessite une réflexion très différente que la recherche de la taille d'une chanson et il n'est probablement pas facile pour l'élève de changer complètement de point de vue du problème pour s'adapter à la stratégie suggérée par l'enseignante.

B) Le décalage entre les attentes de l'enseignante et le potentiel du problème

Les décalages entre les attentes de l'enseignante et le potentiel du problème en termes d'activité se situent essentiellement au niveau de la prise en compte du réel et des attentes très précises envers les stratégies de résolution. En ce qui concerne le premier de ces aspects, le problème présenté ici se caractérise par des messages qui peuvent être perçus comme étant contradictoires entre le potentiel du problème et les attentes de l'enseignante. Par exemple, l'invitation d'amener en classe un lecteur MP3 peut être interprétée comme un indice qui fait croire à l'élève que l'objet sera important pour mener à bien la tâche qui lui est demandée. Or, par la suite, l'objet n'est plus mentionné lors de la résolution du problème et, pour répondre à la commande de l'enseignante, il est essentiel que l'élève comprenne qu'il faut délaisser le contexte de vie réelle suggéré par le problème et traiter la tâche comme une activité purement scolaire.

Le même constat pourrait être fait concernant le traitement des différentes données. Prenons, à titre d'exemple, le traitement de la première question, dans laquelle les élèves doivent trouver le nombre de chansons qu'il est possible de rajouter compte tenu des informations données. C'est nécessairement un traitement selon un modèle proportionnel de la tâche qui est attendu, alors que nous avons vu que, dans la réalité, d'autres modèles seraient également possibles (se basant sur un raisonnement statistique par exemple). Ensuite, l'attente est nécessairement celle d'une réponse exacte, alors que dans la réalité, la taille variable des chansons fait en sorte que la réponse ne peut être qu'approximative.

Nous avons vu dans les sections précédentes que l'enseignante a des attentes très précises en termes de stratégies de résolution du problème. Revenons, à titre d'exemple, sur le traitement de la première question. Seulement une façon de faire y est acceptée, celle du passage par la taille d'une chanson, alors que plusieurs autres façons de faire sont possibles, dont la recherche du nombre de chansons par Go ou encore une approche par multiplication successive des Go et du nombre de chansons. Les attentes de l'enseignante font alors en sorte que le champ d'action possible pour l'élève en classe est plus petit que ce que le problème pourrait laisser envisager a priori.

Le constat de la présence d'un décalage ne veut cependant pas dire que toutes les possibilités devraient nécessairement être ouvertes aux élèves. Le choix de l'enseignante de limiter les possibilités à la recherche de la taille d'une chanson est probablement fondé sur un rationnel. Ainsi, il est possible qu'elle considère comme étant trop laborieuse l'approche de multiplier successivement l'espace occupé et le nombre de chansons. Ou encore, peut-être que la règle de trois (vu comme retour à une chanson) est le moyen préalablement enseigné qu'elle souhaite voir appliquer dans ce problème.

C) Le décalage entre le potentiel du problème et les actions des élèves

De manière générale, on peut constater que les élèves se situent souvent dans le champ d'action possible que permettrait l'énoncé du problème. S'ils se font rediriger par l'enseignante, ce n'est souvent pas parce qu'ils se situent à côté de l'énoncé, mais parce que leurs actions ne correspondent pas aux attentes de l'enseignante. Prenons comme exemple la stratégie d'un groupe d'élèves qui essayait de diviser 571 par 1,64, sans cependant pouvoir expliquer pourquoi. Une telle stratégie aurait alors pu mener vers le nombre de chansons qui occupent 1 Go d'espace sur le disque, ce qui se situe tout à fait dans la lignée de ce que permet de faire le problème. René de Cotret (2006) caractérise cette stratégie comme étant une procédure « fonction » ou « retour à l'unité fonction ». Dans le programme des études du 1er cycle au secondaire, elle peut être associée à la stratégie nommée « recherche du rapport ou du coefficient de proportionnalité »[8] (Gouvernement du Québec, 2003). Cependant, l'intervention de l'enseignante les dirige explicitement vers la recherche de la taille occupée par une chanson.

Le même constat pourrait être fait pour les élèves qui ont essayé de doubler le nombre de Go (de 1,64 à 3,28) et de chansons (de 571 à 1142), pour ensuite s'approcher du nombre souhaité. Ici encore, on peut voir théoriquement que cette stratégie pourrait mener vers une solution précise, mais il n'est pas certain que ces élèves auraient été en mesure d'aller jusque-là (ce qui explique peut-être aussi le choix de l'enseignante de les empêcher de poursuivre dans cette direction).

Dans le corpus de données que nous avons pu analyser jusqu'ici, nous avons retrouvé un moment dans lesquels des élèves situent leur questionnement dans un domaine qui n'est pas pertinent pour sa résolution. La difficulté que les élèves y rencontrent est liée à la prise en compte du contexte, puisque les élèves y font référence, de manière inadéquate, dans leurs questions à l'enseignante, ce qui les amène probablement sur de fausses pistes.

Élève : Est-ce que la couleur a un rapport là-dedans?
Enseignante : Non
Élève : Est-ce qu'il y a des iPods gris qui ont moins de chansons? Des iPods de couleur…

Cette élève se réfère alors à des éléments de la vie réelle, probablement en faisant référence à la dernière génération d'appareils, de couleurs différentes et plus performants que les anciennes versions grises ou blanches. Par contre, cette information n'est pas pertinente pour résoudre le problème tel qu'énoncé.

Conclusion

Nous avions comme objectif de caractériser les problèmes proposés aux élèves par des enseignants qui disaient utiliser une approche par problème ou situation-problème. Pour ce faire, nous avons étudié les décalages entre le potentiel du problème, les attentes effectives de l'enseignante et les actions effectives des

[8] Notons que dans le programme des études, le rapport ou le coefficient de proportionnalité qualifie une des stratégies possibles pour résoudre une situation de proportionnalité et n'est pas relié explicitement à un travail de type fonctionnel ni même à l'expression de la relation entre les variables sous forme d'équation.

élèves. Ces décalages ont été interprétés en termes d'implicites. Dans cet article, nous avons fait l'étude d'un seul problème témoignant de l'état de l'avancement de nos travaux.

L'étude de ce problème et de sa résolution en classe, nous a menés aux constats qui suivent. À priori, le problème présente potentiellement une certaine ouverture : plusieurs stratégies sont possibles et il est nécessaire de déterminer le meilleur moyen pour répondre aux questions posées compte tenu du contexte du problème. L'ancrage du problème dans la vie de tous les jours renforce cette position.

Du point de vue de l'enseignant, le problème semble en être un d'application d'une règle préalablement enseignée. Le problème mène à une réponse unique (à quelques nuances près) par une méthode unique. C'est l'occasion pour l'élève d'utiliser cette méthode dans un contexte réel, sans discussion toutefois sur la pertinence de la méthode. Le contexte de la vie réelle (le MP3) apparaît secondaire.

Du point de vue des élèves, tout au moins pour certains, le problème en est un de la vie de tous les jours où la solution peut dépendre des produits en vente (référence à la capacité des MP3 selon leur couleur, par exemple) et où une approximation peut suffire. Ces décalages entre les points de vue différents peuvent s'interpréter en termes d'implicites qui peuvent avoir une influence sur l'apprentissage comme le soulignent les auteurs préalablement cités.

Un aspect particulier de ce problème est le contexte et les enjeux qu'il pose. Même si l'énoncé du problème est fortement ancré dans le réel, il est nécessaire, pour le résoudre, de faire abstraction du réel et de traiter le problème strictement comme une situation scolaire décontextualisée. Par ailleurs, il est nécessaire, pour mener à bien la résolution, d'ignorer certains indices, comme l'invitation aux élèves d'amener leur propre lecteur MP3. Quelle est alors la fonction du contexte? Sert-il à motiver les élèves à s'engager dans la résolution? Si tel est le cas, quel est l'impact réel de cet objectif, surtout s'il faut considérer qu'en fin de compte, le contexte n'est pas représentatif de la réalité et ne sert pas à la résolution du problème. Est-il mis de l'avant à la suite d'un discours, entre autres ministériel, sur l'importance de la contextualisation?

Nous comptons poursuivre l'analyse des problèmes recueillis, proposés par différents enseignants, en les caractérisant en relation avec les activités potentielles et effectives des élèves et les attentes de l'enseignant afin de repérer des régularités ou de décrire la diversité des perspectives enseignantes. Pour le problème analysé, il apparaît que le contexte réel est peu important dans la résolution attendue du problème et que l'objectif d'application d'une règle enseignée prend beaucoup d'importance. Nous pouvons nous demander s'il s'agit là d'une tendance, et si c'est le cas, il serait pertinent d'en comprendre les raisons.

Références

Astolfi, J.-P. (1993). Placer les élèves en situation-problème? *Probio-Revue*, *16*(4), 311-321.

Bernstein, B. (2007). *Pédagogie, contrôle symbolique et identité : théorie, recherche, critique*. Québec : Presses de l'Université Laval.

Brousseau, G. (1996). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *In* J. Brun (éd.): *Didactique des mathématiques*. Lausanne : Delachaux et Niestlé (45-143).

Brousseau, G. et Warfield, V.M. (2002). Le cas de Gaël. *Les cahiers du laboratoire de Leibniz*, 55, 1-46.

Cerquetti-Aberkane, F. (1987). De l'erreur à l'échec. In Rôle de l'erreur dans l'apprentissage et l'enseignement de la mathématique. Compte-rendu de la 39e Rencontre internationale de la CIEAEM. (258-263). Sherbrooke : Les éditions de l'Université de Sherbrooke.

Gellert, U. (2009). Zur Explizierung strukturierender Prinzipien mathematischer Unterrichtspraxis. *Journal für Mathematik-Didaktik*, *30*(2), 121-146.

Giroux, J. (2004). Échanges langagiers et interactions de connaissances dans l'enseignement des mathématiques en classe d'adaptation scolaire. *Revue des sciences de l'Éducation*, *30*(2), 303-327.

Gouvernement du Québec. (2003). Programme de formation de l'école québécoise. Enseignement secondaire, premier cycle.

Knipping C., Reid, D. et Gellert, U. (2009). From everyday context to institutionalized knowledge: implicit initiation into school mathematics. *Quaderni di ricerca in didattica (szienze mathematiche) of GRIM – Supplemento 2*(19), 156-160.

Marchand P., Squalli H. et Mary C. (2008). *Comment les enseignants des mathematiques du secondaire opérationnalisent-ils les démarches d'enseignement par problèmes? Une étude de cas.* Communication au 15e congrès de l'AMSE. Université Cadi Ayyad, Marrakech, 2-6 juin 2008.

Perrin-Glorian, M.-J. (1993). Questions didactiques soulevées à partir de l'enseignement des mathématiques dans des classes « faibles ». *Recherches en Didactique des Mathématiques*, *13*(1-2), 5-118.

René de Cotret, S. (2006). *L'élève et le modèle proportionnel, une histoire de confiture*. Éditions Bande didactique. (Publication d'une thèse intitulée à l'origine Étude de l'influence des variables « indice de proportionnalité du thème » et « nombre de couples de données » sur la reconnaissance, le traitement et la compréhension de problèmes de proportionnalité chez des élèves de 13-14 ans.)

Robert, A. (2001). Les recherches sur les pratiques des enseignants et les contraintes de l'exercice du métier d'enseignant. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, *21*(1.2), 57-80.

Robert, A. et Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche. *Revue Canadienne de l'Enseignement des Sciences, des Mathématiques et des Technologies*, *2*(4), 505-528.

Sarrazy, B. (1995). Le contrat didactique. *Revue française de pédagogie*, 112, 85-118.

Schubauer-Leoni, M. L. (1986). Le contrat didactique: un cadre interprétatif pour comprendre les savoirs manifestés par les élèves en mathématique. *European Journal of Psychology of Education*, *1*(2), 139-153.

LA PRISE EN COMPTE DES ÉMOTIONS ET COMPÉTENCES ÉMOTIONNELLES EN CLASSE DE MATHÉMATIQUES

Bénédicte Gendron, Université Montpellier Sud

Introduction

En éducation, les croyances et les représentations des élèves ou des étudiants, leurs perceptions de certaines disciplines peuvent être fortes et impacter leur appréhension et le processus d'apprentissage. Elles renvoient aux émotions et aux dimensions affectives émergeant dans les environnements complexes et questionnent les relations entre certains types d'interventions et les apprentissages des élèves. Il en va ainsi particulièrement dans certaines disciplines scientifiques et techniques, particulièrement les mathématiques. L'objectif de cette communication est de mettre en avant l'impact des émotions et des croyances sur les processus d'apprentissage dans ces disciplines chez les élèves, de l'importance de la place des compétences émotionnelles dans les pratiques enseignantes particulièrement en classe de mathématiques afin de comprendre la dynamique du processus enseignement-apprentissage. Déjà comment se construisent et définir ces perceptions et croyances? Quelles sont leurs influences et quel lien entretient la dimension affective avec l'apprentissage, particulièrement des mathématiques, des sciences ou des technologies? À partir de courant de travaux de recherche sur la relation émotion-cognition-conation-apprentissage (Lafortune et Mongeau, 2002, Gendron, 2010*a* et 2007, Naceur et Slim, 2010), nous explorerons les apports de l'approche par le capital émotionnel (approche et travaux originaux primés en 2006 à l'Académie française[1]), et les compétences émotionnelles particulièrement dans l'appréhension et la performance en mathématique (Gendron, 2008, Gendron et Lafortune, 2009) en soulignant les différences « filles-garçons ».

1. Émotions et éducation : régulation et compétences émotionnelles

Les recherches récentes en psychologie et en neuropsychologie apportent de nouveaux éclairages sur les émotions et les compétences associées à leurs régulations et l'éducation.

[1] Pr. Bénédicte Gendron a reçu le Prix Louis Cros par l'Académie Française des Sciences Morales et Politiques pour ses travaux pluridisciplinaires originaux portant sur le capital émotionnel à l'Académie Française à Paris, le 26 novembre 2006.

1.1. Émotions[2], intelligence émotionnelle et compétences émotionnelles

Les émotions et les affects ont longtemps été posés en altérité à la dimension dite rationnelle ou logique. En éducation et dans la formation, pendant longtemps les professionnels ont considéré l'émotion comme superfétatoire en matière d'apprentissage. Dans cette optique, les façons d'envisager l'apprentissage tout comme le travail étaient le plus souvent structurées et orientées en fonction de la rationalité « pure » « libérées de toutes scories animales et sentimentales » renvoyant à l'hégémonie de la raison sur l'émotion cristallisée, chacun à leur manière, par Platon, Descartes et Kant, instaurant un clivage entre dimensions cognitive et non cognitive. Également, dans le domaine du travail, la tendance qui était à favoriser l'idée du collaborateur rationnel, de l'enseignant imperturbable, infaillible, n'affichant pas ses émotions a longtemps dominé. Autrement dit, les émotions et les affects devaient rester à la porte des classes, de l'école, des entreprises…Toutefois, les émotions sont là. Elles sont omniprésentes. Elles influencent notre vie au quotidien. Elles ont leur place dans toutes les sphères des activités humaines; donc au travail qu'il soit scolaire ou professionnel, particulièrement dans les métiers émotionnels. Elles interviennent dans le fonctionnement de nombre de nos facultés, comme la mémoire, le raisonnement, la prise de décision ou encore l'adaptation sociale. Les humains étant fondamentalement des êtres sociaux, elles ont un rôle de nature purement social et sont décisives pour l'adaptation de l'individu, et ceci, dès sa naissance jusqu'à l'âge adulte à des degrés divers; en cela, elle concerne autant l'enfant, l'élève, l'apprenant que l'adulte, l'enseignant.

Les recherches récentes en neuroscience et psychologie apportent de nouveaux éclairages sur les émotions. Pour Damasio (1994), loin de constituer un obstacle à la prise de décision rationnelle dans la vie quotidienne, en permettant l'harmonisation des différents processus cognitifs, les émotions lorsque régulées se révèleraient être la condition indispensable d'adaptation et de réaction optimale à une situation donnée. Aussi, la qualité de ces décisions et la capacité d'adaptation vont dépendre des compétences à gérer et maîtriser les émotions : les compétences émotionnelles. C'est ici qu'interviennent la régulation émotionnelle et particulièrement l'intelligence et les compétences émotionnelles (CE) qui lui sont rattachées.

Parmi les modèles d'Intelligence Emotionnelle (IE) qui se définit comme la capacité à reconnaître et à maîtriser les émotions en soi et chez les autres, le modèle de Cherniss et Goleman (2001) qui reprend les travaux de Salovey et Mayer, s'en distingue (particulièrement de l'approche de Mayer), du fait qu'il mobilise la notion de « compétences » permettant des ponts avec l'approche économique des ressources humaines. Leur modèle se décompose en quatre principales compétences regroupées sous deux catégories (compétences personnelles et sociales) (cf. ci-dessous Tableau 1); respectivement, la conscience de soi ou auto-évaluation (capacité à comprendre ses émotions et à reconnaître leur incidence), la maîtrise de soi ou autorégulation (capacité à maîtriser ses émotions et impulsions et à s'adapter à l'évolution de la situation), la conscience sociale ou empathie (capacité à détecter et à comprendre les émotions d'autrui et à y réagir tout

[2] En psychologie, sont distingués dans le cadre de l'étude des émotions trois niveaux : l'amorce des émotions (les facteurs déclenchants), l'expression ou l'état des émotions (formes dans lesquelles elles s'expriment) et les compétences émotionnelles (renvoyant à la gestion des émotions).

en comprenant les réseaux sociaux) et la gestion des relations sociales ou aptitudes sociales de communication (qui correspond à la nécessité à inspirer et à influencer les autres tout en favorisant leur développement et en gérant les conflits). Appréhendées dans certaines recherches en termes de « qualités », « dispositions individuelles » ou encore d'« attributs », « traits » interpersonnels et intrapersonnels, le modèle de Cherniss et Goleman les analyse en termes de compétences permettant des rapprochements avec l'économie de l'éducation et des ressources humaines où le concept de compétences renvoie non pas à des aptitudes génétiques, « innées » ou encore « naturelles », mais est le fait et la résultante d'expériences et d'apprentissages. Ces avancées suscitent de nouvelles réflexions dont le capital émotionnel se veut une tentative et un concept d'analyse de la relation émotion, apprentissage, performance et santé au travail qu'il soit scolaire ou professionnel.

COMPETENCE EMOTIONELLE PERSONNELLE (CEP)	COMPETENCE EMOTIONNELLE SOCIALE (CES)
Auto-évaluation ou Conscience de soi : Connaissance de soi Estime de soi Confiance en soi …	Conscience Sociale : Empathie Service des autres Conscience de l'organisation (des règles de la classe, l'école, la cité, l'entreprise…) …
Auto- Régulation ou Maîtrise de soi : Contrôle de soi Fiabilité Droiture Adaptabilité…	Aptitudes sociales de communication : Communication, Savoir gérer des conflits, Accompagner , aider les autres , Motiver, initier le changement, Construire des liens, Travailler en équipe …

Figure 1 Compétences émotionnelles (Gendron, 2007, traduit de Cherniss & Goleman, 2001)

1.2. Compétences émotionnelles et capital émotionnel

La régulation des émotions renvoie à de réelles compétences utiles pour faire face aux adaptations nécessaires et changements. Cet ensemble de compétences comme décrit par Cherniss et Goleman (2001) (cf. Fig. 1) constitue le capital émotionnel. Précisément, défini dans des travaux précédents, « le capital émotionnel est l'ensemble des compétences émotionnelles qui constitue une ressource inhérente à la personne, utile au développement personnel, professionnel et organisationnel, participant à la cohésion sociale et ayant des retombées personnelle, économique et sociale » (Gendron 2004 : 2008). Sous-tendues par des valeurs et principes, elles renvoient aux savoir-être. Elles interviennent dans les modes d'agir et réagir et dans les apprentissages (entendus dans un sens large et au sens donné dans les travaux entre autres auxquels nous renvoyons sur le cerveau et l'apprentissage de l'Ocde-Ceri, 2002). Ces compétences font partie des compétences utiles au développement de l'être humain; elles figurent désormais dans le décret du

socle commun des compétences décrit dans le décret français du 11/07/2006. Elles sont utiles au travail qu'il soit scolaire (de l'élève) (Gendron, 2010a) ou professionnel (de l'enseignant) (Gendron, 2008, 2008a). Cependant, elles demeurent encore aujourd'hui en France peu ou mal reconnues ou non considérées à leur juste valeur en ressource humaine comme en éducation du fait que leurs productions échappent à la mesure et restent encore rattachées dans nombre de travaux à des qualités personnelles ou à des traits de personnalités[3].

Issues d'apprentissages précoces et se développant tout au long des expériences de vie, ces CE se distinguent des compétences traditionnellement prises en compte dans les modèles du capital humain (savoir et savoir-faire)[4]. Constitutives du capital émotionnel, les CE se construisent et se développent par l'action et l'interaction souvent de manière implicite par le biais de l'apprentissage et les expériences de vie dans des contextes formels et informels 'éducatifs'[5], – les curriculums cachés –, depuis l'enfance et tout au long de la vie. En conséquence, l'acquisition, le maintien et l'évolution de ce capital dépendent également de l'existence d'un milieu matériel, institutionnel, économique et social favorable et de dispositions sociales appropriées. Issues d'apprentissages dépendant des contextes et du milieu social des expériences de vie de la personne, le capital émotionnel varie donc d'une personne à l'autre; certaines étant mieux dotées que d'autres. Le capital émotionnel importe dans tous les champs de l'activité humaine; entre autres, dans l'éducation, à l'école ou encore au travail où les émotions sont présentes (secteurs de la santé, de l'éducation, du social en général…). Ces compétences sont indispensables pour l'adaptation et des réactions optimales à des situations données. Elles participent de l'équilibre émotionnel de la personne, de l'homéostasie psychologique, et en conséquence, aux conditions du bien ou mal-être au travail de la personne, l'élève ou l'enseignant. Elles interviennent dans l'apprentissage et constituent des compétences de base pour réussir dans la vie personnelle, sociale et professionnelle.

---

[3] Les traits de personnalité sont des "schèmes caractéristiques de comportements ou de dispositions à éprouver des sentiments et à agir d'une certaine manière distinguant une personne d'une autre, supposés uniformes et stables pendant toute la vie" (Myers, 1998). À l'inverse, les compétences sont évolutives et dynamiques, et peuvent faire l'objet d'apprentissages. Elles se distinguent de la personnalité qui est par définition non contextualisée et détachée de l'action et considérée comme stable dans le temps et l'espace. La compétence se reconnaît à travers ses rapports à l'action et au contexte, et à sa nature. Elle se construit, se développe, s'actualise et s'améliore dans l'action, à travers entre autres, la réalisation et la production. Elle s'opére (ou s'enacte) dans un contexte donné. La compétence émotionnelle renvoie à une démarche cognitive et conative, toutes les deux adaptées aux problèmes à résoudre et renvoie au savoir-être. D'ailleurs, la séparation traditionnelle des domaines cognitif, conatif, affectif, et psychomoteur a longtemps empêché de prendre toute la mesure de la place que le savoir-être occupe dans la formation des personnes et de ses incidences sur leurs devenirs.

[4] Cependant, elles restent encore peu prises en compte en éducation. Échappant à la mesure, leurs impacts de fait demeurent sous-évalués et dès lors sous-valorisés alors qu'elles sont essentielles pour l'exercice du métier d'enseignant d'aujourd'hui (Gendron, 2008) et pour le développement de l'enfant et les processus d'apprentissage.

[5] Au-delà du milieu scolaire, le milieu familial, le milieu communautaire (clubs, religion…), le milieu du travail…. sont autant de milieux d'apprentissage participant au stock de capital émotionnel.

2. Émotions, compétences émotionnelles, capital émotionnel et cognition

2.1 Compétences émotionnelles, capital émotionnel et apprentissage

Les récents travaux en neurosciences sur le cerveau et l'apprentissage (OCDE, 2002) mettent en évidence l'impact des émotions et des compétences émotionnelles sur l'apprentissage. Selon ces travaux, la région du cerveau appelée « cerveau émotionnel » a des connexions avec le cortex frontal et lorsque ces connexions sont affectées, à la suite du stress ou de la peur, le jugement social en souffre, ainsi que la performance cognitive.

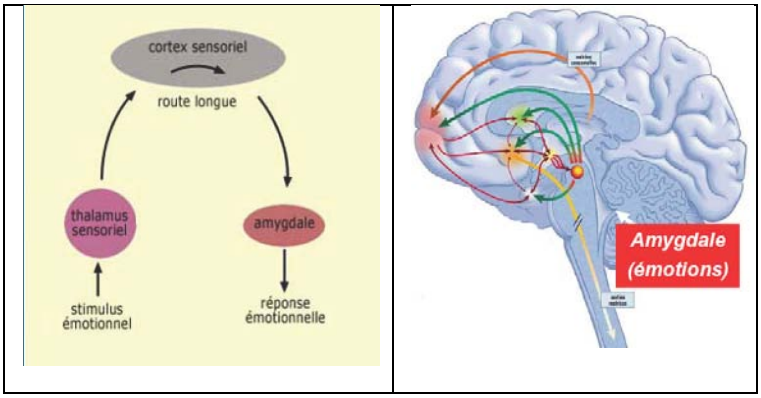


Figure 2. Cerveau émotionnel

Cependant, une dose de stress modérée favorise une performance. C'est au-delà d'un certain point que la qualité de la performance décroît; ce qu'illustre la loi de Yerkes et Dodson (1908) (cf. Figure 2). Cette loi montre une performance maximum pour une gamme médiane d'investissement.

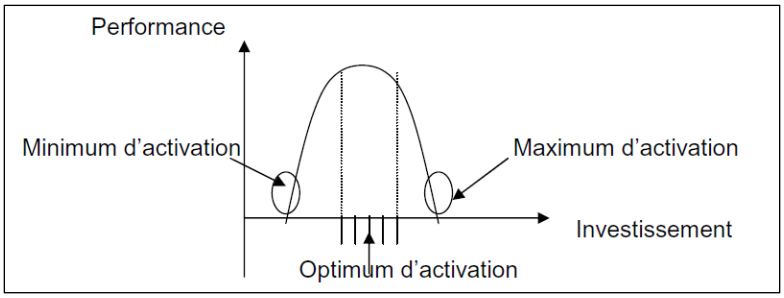


Figure 3. La courbe Yerkes-Dodson

La loi de Yerkes et Dodson établit un lien entre la performance et la motivation (courbe en U renversé) qui réfère à l'interaction entre cognition et conation. Dans la réalité psychologique concrète, peu d'activités cognitives sont dénuées d'une certaine motivation, d'une certaine orientation et s'opèrent en dehors d'un contexte affectif faisant appel ici à la conation. En effet, le domaine cognitif fait référence à l'acquisition des connaissances, à leur conservation et renvoie aux processus mentaux de la connaissance incluant des aspects

tels que la conscience, la perception, le raisonnement et le jugement. Le domaine conatif[6] quant à lui renvoie à l'orientation, à la régulation et au contrôle des conduites. Il réfère aux « choix » que fait la personne et qui le conduisent à utiliser sa « machinerie cognitive », à l'orienter, à la contrôler pour finalement se satisfaire, à un certain moment, des résultats que cette « machinerie cognitive[7] » a permis d'obtenir (Le Dantec, 2006/2007). C'est dans ces processus qu'interviennent les émotions. Elles sont des réponses affectives accompagnées de manifestations végétatives qui peuvent aussi avoir une influence sur le fonctionnement des processus par lesquels s'effectuent les choix relatifs à l'orientation et au contrôle des conduites. De ce point de vue, certaines disciplines scolaires ne font pas l'objet de la même représentation et en conséquence du même effort; il en va ainsi des matières scientifiques comme les mathématiques qui sont souvent associées à « cauchemar » (Lafortune *et al.*, (2002) « Anxiété à l'égard des mathématiques », Collet (2009) « les filles sont fâchées avec les math »…).

Ainsi, les différences individuelles dans le domaine conatif se manifestent par des différences dans l'utilisation des processus cognitifs, c'est-à-dire dans leur déclenchement, leur orientation, l'intensité ainsi que la durée de leur fonctionnement. Du point de vue de la cognition comme l'indique Reuchlin (1990) « la gestion, le pilotage de la machinerie cognitive dépend d'abord à l'évidence, des exigences de la situation et des possibilités qu'elle offre, d'une part; des possibilités dont l'individu dispose (notamment de la nature et de la puissance de sa machinerie cognitive), d'autre part ». Du point de vue conatif, l'utilisation, par un sujet, de certains processus cognitifs qui ne relèvent pas de phénomènes aléatoires, de certains modes opératoires, de certaines stratégies, dans une situation définie, n'est qu'une possibilité parmi d'autres qui dépend notamment de « l'approche » que la personne a de la tâche. Cette « approche » renvoie aux représentations permanentes (les connaissances) ou transitoires (représentations fonctionnelles) que la personne a de la tâche, mais elle renvoie aussi aux ressources de la personne et à l'interaction conation/cognition. Des rapports étroits s'instaurent donc nécessairement entre les deux domaines, les fonctions de l'un modulant l'action exercée sur la conduite par les fonctions de l'autre.

Aussi, l'action qu'exercent les processus conatifs sur le fonctionnement cognitif peut s'illustrer à partir du cycle d'apprentissage et des émotions dans les figures extraites des travaux collectifs de Kort *et al.* (2001) du Massachussetts Institute of Technology (MIT) sur les interactions émotions-apprentissage. L'apprentissage passe par différentes phases d'émotions et d'affects (ayant des connotations négatives à positives).

---

[6] La séparation traditionnelle des domaines cognitif, conatif, affectif, et psychomoteur a longtemps empêché de prendre toute la mesure de la place que le savoir-être occupe dans la formation des personnes et de ses incidences sur leurs devenirs. Le qualificatif conatif renvoie à l'ensemble des processus psychologiques (d'orientation, de contrôle des conduites et l'effort adaptatif....) aboutissant à l'action. Selon Reuchlin M. (1990) dans son ouvrage "Les différences individuelles dans le développement conatif de l'enfant " publié aux PUF, si le qualificatif de cognitif renvoie explicitement aux processus de saisie et de traitement de l'information, celui de conatif renvoie aux processus d'orientation et de contrôle des conduites, en soulignant l'effort adaptatif de l'individu aux situations dans lesquelles il se trouve.

[7] Le Dantec (2006/2007 in Psychologie différentielle PSP2DF4_S4 - Interaction cognition/conation.).

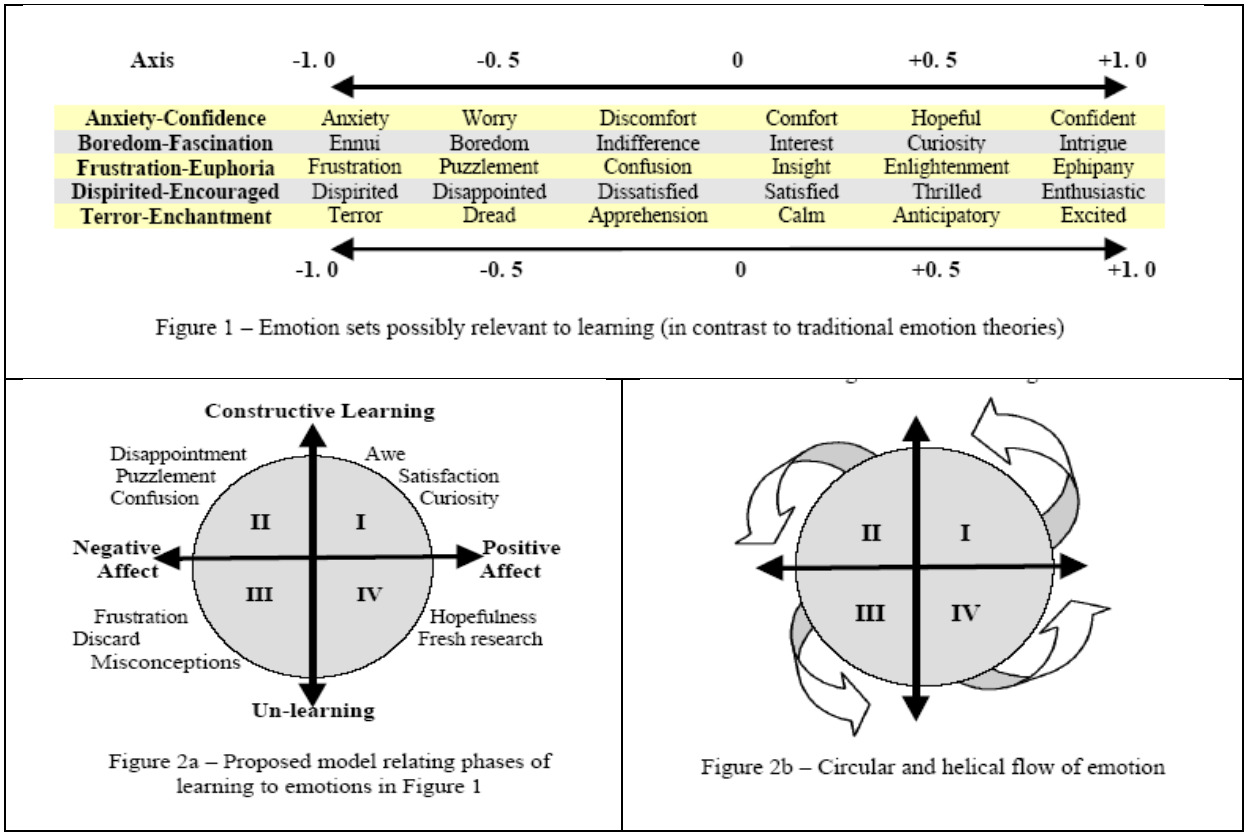


Figure 4. Barry Kort, Rob Reilly, Rosalind Picard, (2001), An Affective Model of Interplay Between Emotions and Learning

En psychologie, pour Izard, Kagan et Zajonc (1984), du point de vue de l'apprentissage, considèrent la conation et la cognition dans un rapport « synergiste ». Barchard, Izard *et al.*, O'Connor et Little (voir Mayer *et al.* 2008) montrent à partir de tests des corrélations positives entre compétences émotionnelles et niveau scolaire atteint (meilleur score académique et propension plus élevée de la rétention à l'école).

Également, en économie de l'éducation, si la tendance était à mesurer et à retenir comme indicateurs de succès les performances en termes d'aptitudes et de connaissances cognitives acquises, une nouvelle génération de modèles théoriques et de travaux empiriques élargissent le champ de l'évaluation à ces compétences non cognitives et leur impact sur celles relevant de la cognition. Ainsi, Heckman et Lochner (2000) ont évalué les effets des programmes ABCs des Perry Preschool Program développant les compétences émotionnelles aux États-Unis, et montrent que les compétences émotionnelles personnelles et sociales qui y sont développées ont des effets sur l'apprentissage futur et ont un impact sur la performance à l'école. Partant d'une approche pluridisciplinaire, les travaux de Gendron (2004, 2006, 2007*a*) primés à l'Académie française articulent et analysent également, les liens entre « connaissances et compétences techniques » des modèles du capital humain et compétences émotionnelles des modèles de l'IE et leurs effets sur l'apprentissage et la performance. Ils montrent que ces compétences émotionnelles sont essentielles et à la base de la constitution du capital humain au sens de la mesure de Gary Becker (1964) et du capital social et culturel (renvoyant entre autres aux travaux de Coleman, Putman et Bourdieu) et en cela, constituent un véritable « capital » au sens économique du terme : un capital émotionnel. Précisément, il participe des

prérequis du développement cognitif. Ce capital s'avère nécessaire et crucial pour autoriser l'apprentissage en situation de classe et des interactions adéquates. Dans l'interaction pédagogique, elles facilitent ou handicapent l'apprentissage et donc, à terme la constitution du capital humain. Ainsi, du point de vue de sa relation au capital humain, nombre de travaux mettent en évidence les préjudices d'une mauvaise gestion de ses émotions sur le développement, l'apprentissage, l'action ou encore sur la prise de décision (Lazarus et Folkman, 1984). A contrario, des émotions bien gérées (Costalat, 1997) permettent d'atteindre un optimum émotionnel autorisant une utilisation optimale de ses ressources et capacités.

2.2 Dotation en capital émotionnel et appréhension de la performance en mathématiques

Le capital émotionnel dépend des contextes et du milieu social des expériences de vie de la personne. Un des contextes importants a longtemps renvoyé à la famille comme premier cadre de socialisation et de référence de construction identitaire de l'enfant. Cependant, celle-ci connaît aujourd'hui des bouleversements où les normes éducatives et l'espace de référence se voient modifiés et diversifiés. La diversité des cadres premiers de socialisation conduit aujourd'hui à une hétérogénéité (différence de valeurs, de normes…) et une diversité importante au sein des enfants en terme de dotation en capital émotionnel. Et ces différences en dotation peuvent venir freiner, altérer l'apprentissage, voire ne pas l'autoriser et influer sur le processus de constitution du capital humain. Car le capital émotionnel est plus qu'une variable additionnelle. Il est un « booster » dans le sens où il permet de potentialiser le capital humain et le capital social. Il est essentiel pour utiliser de manière optimale et maximale les deux autres capitaux.

Par exemple, une faible confiance en soi, une auto-évaluation de soi ou estime de soi erronée ou encore une mauvaise connaissance de soi peut amener la personne à ne pas utiliser de manière maximale son potentiel, son capital humain. C'est ce que soulignent les travaux en psychologie sur le sentiment d'efficacité personnelle (voir Bandura, 1997, pour une revue), le locus of control ou en particulier, ceux sur les attributions causales[8]. Proposé par Rotter en 1954[9], le locus de contrôle (ou « lieu de contrôle ») décrit le fait que les individus diffèrent dans leurs appréciations et leurs croyances sur ce qui détermine leur réussite dans une activité particulière, ce qui leur arrive dans un contexte donné ou, plus généralement, ce qui influence le cours de leur vie. La réussite ou l'échec dans une tâche pourra être attribué de manière interne (« je n'y comprends rien ») ou externe (« l'exercice était infaisable »). Le concept d'attribution causale[10] désigne le processus par lequel la personne explique et juge les autres et son environnement dans lequel elle évolue en inférant les causes des comportements et des évènements (« dans la famille, on n'a pas la bosse, on est tous nuls en math »). Elle consiste en une interprétation que la personne fait des causes d'un évènement. Associée à un évènement, elle joue un rôle très important dans les réactions vis-à-vis de cet évènement.

[8] Façon dont les individus attribuent des causes aux événements et aux comportements, et assignent des causes et des responsabilités à différents aléas.

[9] Dans Social learning and clinical psychology, New York, Prentice-Hall.

[10] On distingue trois dimensions de l'attribution. L'origine du pouvoir d'action renvoyant à la conviction que la cause dépend de la personne elle-même ou non. La stabilité réfère au caractère plus ou moins stable de la cause. Et la possibilité de contrôle, c'est-à-dire le pouvoir que la personne possède sur cette cause.

Ainsi, les personnes persévèrent davantage si elles interprètent leur échec en invoquant les causes internes, stables et contrôlables, comme l'effort investi. Aussi, les personnes s'investissent rarement dans une activité qu'ils ne s'estiment pas en mesure de réaliser ou dans laquelle ils se sentent peu efficaces. En cela, la compétence d'auto-évaluation, de connaissance de soi est cruciale pour corriger ces appréciations et attributions, lorsqu'erronées. C'est ici que les compétences émotionnelles personnelles particulièrement jouent pleinement leur rôle, soit de boosteur si l'estime et la confiance en soi sont fortes ou justes, soit de réducteur ou d'inhibiteur si l'évaluation de soi et de ses capacités dans un domaine donné est défavorable ou sous-estimée. Ainsi, une évaluation correcte ou faussée de soi[11] conditionnera la mobilisation maximale ou non de son potentiel en capital humain.

En mathématiques, cette évaluation influence la perception que l'élève a de ses compétences dans cette discipline. C'est en quelque sorte la représentation que l'élève se fait de ce qu'il peut faire en mathématiques; il peut donc être positif ou négatif, réaliste ou irréaliste, voire conduire à des états d'anxiété (Lafortune *et al.*, 2002). En cela, une connaissance de soi juste est cruciale, car la confiance en soi est une condition pour poursuivre l'effort et la recherche de solutions malgré les difficultés.

Aussi, d'autres travaux montrent (Lafortune *et al.* 2002, Blouin, 1987) que les élèves qui réussissent en mathématiques n'attribuent pas leurs réussites et leurs échecs aux mêmes causes que ceux qui éprouvent des difficultés dans cette discipline. D'autres distinguent aussi les filles et les garçons à cet égard (ce que nous questionnons en dernière partie).

Si les compétences émotionnelles personnelles impactent l'appréhension des disciplines, les compétences émotionnelles sociales importent également dans l'apprentissage et la construction des connaissances. Les représentations sociales des mathématiques (renvoyant aux mythes, préjugés, croyances, stéréotypes et idées préconçues véhiculés à propos des mathématiques) et l'effet des pairs sur l'image de la discipline (« À quoi ça sert les math », « C'est nul les math », « c'est une tête, il est en filière math ») peuvent générer des comportements collectifs par entraînement et contagion de rejet de la discipline. A contrario, des travaux montrent que le travail collaboratif et de réflexion en groupe sur et en classe de mathématique (Daniel *et al.* 1996, Lafortune *et al.*, 2002 sur l'approche de la philosophie pour enfants aux mathématiques) permet de discuter, dédramatiser ou de dédiaboliser les mathématiques. Les activités menées dans cette approche ont pour objectif de créer des conflits sociocognitifs et d'amener les élèves à confronter leurs conceptions des mathématiques et de leur apprentissage, de communiquer et d'accepter et discuter sa perception et celle des autres, d'apprendre des autres. En cela, les compétences émotionnelles sociales interviennent. Des travaux montrent que ces activités ont permis aux élèves de développer des habiletés de pensée complexe (Daniel, Lafortune, Pallascio et Schleifer, 2000). Elles leur permettent de discuter les mathématiques, de « chahuter » la « science exacte », de « philosopher » en communauté de recherche sur des concepts philosophico-mathématiques (« infini et indéfini, beauté des mathématiques, vérité mathématique, zéro et

[11] On retrouve cette idée à travers les concepts de « clairvoyance cognitive » et d'« acuité représentationnelle » chez Costalat (1997, p. 50-51). L'acuité représentationnelle a un impact sur la représentation de soi et par conséquent dans la dynamique des compétences subjectives et objectives de l'individu qui mobilisent l'individu dans un projet d'action.

rien… ») et mathématiques (existence d'un cube parfait, caractéristiques des figures géométriques…), sur des démarches scientifiques, ou encore sur des croyances par rapport aux mathématiques (l'enseignante doit tout connaître, il faut un talent supérieur pour réussir…). Dans ces communautés de recherche, les élèves partagent leurs points de vue sur les mathématiques et discutent certains mythes et préjugés véhiculés par rapport à cette discipline. (Lafortune *et al.*, 2002, p. 184-185).

3. Capital émotionnel et essai d'analyse des différences de comportements et performances scolaires entre les filles et les garçons en mathématique

Le capital émotionnel est-il identique entre filles et garçons? Peut-il être un élément d'explication des différences observées entre filles et garçons en termes de comportements, de performance scolaire et d'appréhension de certaines disciplines d'enseignement telles que les mathématiques? S'inspirant d'une approche métaanalytique de revue de la littérature scientifique nationale et internationale[12] sur le genre, les profils caractéristiques alloués dans la littérature scientifique aux filles et aux garçons énoncés en termes d'attributs, de traits de personnalité, d'attitudes, ou de comportements… ont été appréhendés comme des compétences émotionnelles. De là, nous avons dressé un tableau des compétences émotionnelles filles-garçons. Partant de cette grille d'analyse par les compétences, les profils en compétences émotionnelles des filles et des garçons ont été définis relativement à l'un des deux sexes au regard de la littérature : plus fortement (+haute) ou plus faiblement (+basse) développées chez le garçon/la fille comparativement à la fille/au garçon (Tab. 1).

Compétences émotionnelles personnelles	♂	♀	*Compétences émotionnelles sociales*	♂	♀
Auto-évaluation ou Conscience de soi	+ haute	+ basse	Conscience Sociale	+ basse	+ haute
Auto- Régulation ou Maîtrise de soi	+ basse	+ haute	Aptitudes sociales de communication	+ basse	+ haute

Tableau 1 Capital émotionnel : Différences Filles-Garçons

[12] Note méthodologique : la métaanalyse a consisté à rassembler les données issues d'une quinzaine d'ouvrages et articles publiés dans les années 1970 à 2000 de sociologie, d'éducation, de psychologie… décrivant les comportements, attitudes, traits des filles et des garçons. À partir d'un comptage d'occurrences relatives aux traits, attitudes, comportements pouvant être rapporté aux compétences émotionnelles définies par Cherniss et Goleman, cette métaanalyse a tenté de dégager un profil de compétences émotionnelles des filles et des garçons pour répondre de manière critique et quantitative aux questions des différences de cheminement scolaire entre filles et garçons. Les profils ont été exprimés en termes de compétences « plus fréquemment évoqués » chez le garçon ou la fille relativement au sexe opposé.

3.1 Le capital émotionnel essentiel à la constitution du capital humain de départ : l'avantage des filles à l'école (traditionnelle) et leur meilleure performance scolaire

L'école traditionnelle requiert un certain nombre de dispositions et comportements « scolaires » renvoyant à certaines compétences émotionnelles essentielles pour réussir scolairement à l'école (traditionnelle). Aussi, par l'éducation différenciée reçue depuis leur plus jeune âge, les garçons et les filles en sont dotés différemment. En effet, si l'environnement social joue un rôle important dans l'éducation, déjà l'environnement familial, la famille, les parents n'éduquent pas les filles et les garçons de la même façon (Mosconi, 1994) et participent en cela à la différenciation du capital émotionnel. Ainsi, les parents ont en effet tendance à plus encourager leurs enfants mâles à défendre leurs intérêts et à affirmer leur personnalité qu'ils ne le font pour leurs filles. Les garçons seraient « habitués » dès le plus jeune âge à prendre plus de risques physiques (comportements « casse-cou ») et sociaux (goût de l'affrontement et de la compétition) que les filles. À l'inverse, les filles se voient encouragées à être dociles, obéissantes; et leur timidité est mieux supportée par les parents. Elles se révèlent davantage « préoccupées » par les échanges, le respect et la diffusion des règles sociales. Ainsi, elles seraient plus conformistes ou « socialement formées à » se conformer, plus respectueuses des règles, seraient moins assertives que les garçons (mise en avant moins forte, plus basse estime de soi…) (André et Lelord, 2002, et Loranger, 1988). Autant de comportements peu propices au développement d'une estime de soi forte et stable, mais favorables au développement des compétences d'écoute, et d'auto-régulation (Curnoyer, Solomon and Trudel, 1998; Rothbart, 1989); en cela, elles répondent mieux que les garçons aux comportements attendus à l'école traditionnelle. Ainsi, certaines compétences émotionnelles développées chez les filles leur procureraient un avantage relativement aux standards et programmes scolaires et correspondraient plus largement aux dispositions scolaires attendues et requises pour « réussir » à l'école traditionnelle (Felouzis, 1993). La dotation en capital émotionnel différenciée, au-delà d'autres variables traditionnellement avancées, pourrait ainsi venir apporter des éléments d'explication à la meilleure performance scolaire des filles relativement à celle des garçons à l'école traditionnelle de manière générale, mais qui comporte des limites lorsqu'on distingue les filières et qu'on avance dans l'échelle de temps de vie.

3.2. Le capital émotionnel et les choix des filières disciplinaires et professionnelles : l'avantage des garçons dans les filières et disciplines de « prestige » ou de « compétition-sélection »

Les garçons et les filles n'entrent pas dans les situations d'apprentissage de manière identique, ne vivent pas les mêmes expériences et se construisent différemment de par l'éducation sexuée dès leur plus jeune âge. Et, dès lors, ils ne sont pas préparés de manière identique aux différentes orientations scolaires et professionnelles, particulièrement pour les filières compétitives (Gendron, 2010*b*, 2007). Encore en France, les stéréotypes véhiculés par les médias, les parents ou encore les manuels, mais aussi à travers la dynamique interactionnelle de la classe, des modèles culturels implicites reprennent les modèles traditionnels du féminin et du masculin qui influent sur les élèves, leurs attitudes, et comportements – qui répétés développent des compétences singulières – et amènent les garçons et les filles à des choix et sensibilités (par exemple : de discipline, de filières) conformes à l'image que la société a de leur sexe. L'environnement familial, mais aussi scolaire participe donc à cette différenciation. Par exemple, il en va ainsi du

développement des compétences personnelles chez les garçons. Ainsi, à l'école, comme le montre un certain nombre de travaux, la plus grande agressivité chez les garçons, leur plus faible conformisme et leur comportement énergique peuvent induire de manière involontaire et inconsciente des comportements d'enseignants non équitables en leur faveur. De nombreuses études montrent que le nombre et la nature des interactions en classes mathématiques entre le corps enseignant et les garçons en classe sont supérieurs au nombre d'interactions avec les filles (Mosconi, 1997, Duru-Bellat, 1994 et 1998). Cette plus fréquente « prise de parole » donnée aux garçons par le corps enseignant pour canaliser leur énergie participe aux développement et renforcement des compétences émotionnelles personnelles de ces premiers et corollairement, peut contribuer au non-développement ou à l'atrophie de ces compétences chez les filles. Or ces compétences émotionnelles personnelles s'avèrent très utiles pour accéder aux filières scolaires compétitives (et plus tard, pour accéder à l'emploi et aux postes à responsabilité sur le marché du travail). Or, de par leur capital émotionnel personnel spécifique développé (assertivité, confiance en soi, sentiment d'efficacité…), les garçons seraient mieux préparés que les filles à faire face à des environnements et situations de compétition tels que dans les filières dites « prestigieuses » et de compétition-sélection. En effet, les recherches sur l'auto-efficacité personnelle montrent que les garçons ont une meilleure estime d'eux-mêmes relativement aux filles et une meilleure capacité à s'autoévaluer et une tendance à se surévaluer lorsqu'il s'agit d'estimer leur chance de réussite dans les filières scolaires compétitives. Cette compétence émotionnelle « personnelle » forte est à leur avantage, car elle limite l'auto-censure et motive les garçons à candidater dans les filières de compétition plus fréquemment que les filles (Beyer, 1991, Baudelot & Establet, 1992, Gendron et Lafortune, 2009). Il en va ainsi des filières scientifiques et techniques (mathématiques, physique, ingénieur…) et des carrières ambitieuses. À l'inverse, le manque de confiance en soi chez les filles peut être une raison de leur anxiété à l'égard de certaines filières, particulièrement des mathématiques. Lafortune *et al.* (2002) constatent que les garçons expriment peu d'anxiété à l'égard des mathématiques comparativement aux filles. Cependant, s'ils en expriment, ils expliquent souvent leur gêne à résoudre des problèmes devant les autres par des « raisons externes » et sous forme de frustration (« je ne suis pas du genre à me stresser avec des problèmes. Je ne suis pas sensible. Moi, s'il y a un problème, je ne le fais pas ») alors que les filles invoquent une anxiété « interne » et réfèrent à un trouble intérieur (« je n'ai vraiment pas de patience », « je me sens tellement stressée que je ne suis plus capable…puis je ne pense même plus aux mathématiques, j'essaie juste de trouver la réponse… »). En outre, ces travaux montrent que les stratégies développées et mobilisées pour résoudre les problèmes diffèrent filles-garçons. Ainsi, les filles auraient plutôt tendance à utiliser des stratégies (habituellement enseignées), tandis que les garçons seraient davantage portés à adopter des stratégies non traditionnelles (cf. le moindre conformisme des garçons souligné ci-devant). Précisément, Fennema *et al.* (1998) soulignent que pour résoudre des problèmes, les filles tendent à utiliser plus de modélisation ou font appel à des stratégies plus classiques et concrètes, plus proches de la reproduction d'exemples ou de stratégies de calcul, alors que les garçons optent pour plus de stratégies abstraites ou d'algorithme inventés qui montrent une meilleure compréhension conceptuelle.

Plus conformiste et moins confiante en elles, leur dotation en capital émotionnel « personnel » (cf. tableau 1) pourrait venir expliquer la faiblesse numérique des filles dans les filières compétitives que sont les

filières scientifiques. En effet, les filles étant moins éduquée et socialisée à être dans la compétition (le curriculum caché ou l'éducation implicite, Pourtois et Desmet, 2004), elles tendent à s'autocensurer en ne se présentant pas dans les filières prestigieuses scientifiques ou en ne s'engageant pas dans des filières ambitieuses ou de compétition, ou encore en hésitant à se présenter dans des filières professionnelles trop connotées « masculines » ou non-féminine. D'ailleurs, certaines filières scolaires elles-mêmes peuvent participer à la sexuation des orientations. Cependant, quand elles accèdent aux filières scientifiques, elles tendent à s'orienter vers les sections ou options où la dimension « humaine » ou « vivante » est présente; comme en "biologie" ou plus tard par exemple en filière de médecine, mais moins souvent en mathématique ou physique; ne serait-ce pas là l'illustration d'un problème de déshumanisation de la science ou d'absence de « discussion possible » de la science elle-même ou de certains curricula en sciences d'ailleurs dites « dures » et « exactes »? En revanche et à l'inverse, leurs compétences émotionnelles sociales plus développées (empathie, souci du service, aide aux autres, sens de l'écoute…) participent à leur sensibilité plus forte et orientation plus fréquente vers des disciplines et filières à caractère « social » ou « humanistes ».

En outre, des mécanismes de différenciation de genre jouent fortement et particulièrement en période d'adolescence qui correspond à la période d'orientation scolaire et professionnelle. En effet, dans cette période se construit et s'affirme par le biais des représentations l'identité sexuée. Et « ces représentations que les adolescents ont des rôles adultes dépendent évidemment des modèles que le milieu leur propose et des valeurs qu'il leur transmet » (Zazzo, 1966, p.20) et l'école, les enseignants participent de ces représentations et de leur renforcement. Si les garçons ont intériorisé l'enjeu social des maths et disent aimer les maths même s'ils rencontrent de sérieuses difficultés (a contrario des filles qui même si elles réussissent peuvent ne pas aimer les maths), le corps enseignant se laisse convaincre par ces discours qui ne heurtent pas leurs convictions, puisqu'ils perçoivent de manière générale les garçons comme des sous-réalisateurs brillants, alors que les filles feraient du mieux qu'elles peuvent (Collet, 2009, Baudelot et Establet, 2007) où au final, les filles accumuleraient un meilleur capital et les garçons géreraient mieux leurs acquis. Ainsi, des modèles de division sexuée en action dans la sphère sociale vont s'imposer à elles comme forme légitime de division. Transmis dès le plus jeune âge et se continuant via l'éducation et la socialisation, ceux-ci prescrivent des codes sociaux de comportements répondant aux normes culturelles et sociales de répartition des rôles sociaux de sexe (Chodorow, 1988, Gilligan, 1982, Le Maner-Idrissi and al. 2002, Zaouche-Gaudron et Rouyer, 2002).

En guise de conclusion

L'objectif de cette communication était de mettre en avant l'impact des émotions et des croyances sur les processus d'apprentissage des élèves dans certaines disciplines, particulièrement les mathématiques. Également, de rendre compte de l'importance de la place du capital émotionnel et de ses compétences associées dans la dynamique du processus enseignement-apprentissage et les pratiques enseignantes. Ainsi, en éducation, les croyances et les représentations des élèves ou des étudiants, leurs perceptions des mathématiques peuvent être fortes et impacter leur appréhension et le processus d'apprentissage. Elles renvoient aux émotions et aux dimensions affectives émergeant dans les environnements complexes et questionnent les relations entre certains types d'interventions et les apprentissages des élèves.

Aussi, selon le capital émotionnel développé, précisément s'il relève d'une éducation sexuée, les filles et les garçons ne sont pas « également » préparés pour les différentes orientations scolaire et professionnelle dans le système d'enseignement. Déjà bien ancrée avant l'entrée en classe secondaire, cette éducation différenciée vient conditionner les représentations, les sensibilités vis-à-vis de certaines disciplines et orienter les choix scolaire et professionnel. En cela, il importe, au-delà des campagnes de sensibilisation « des filles en filières scientifiques et techniques », d'informer les parents et former le personnel éducatif (Gendron et Lafortune, 2009) à une éducation équitable où les compétences émotionnelles seraient prises en compte, les représentations, images et évaluation de leurs capacités dans ces disciplines réajustées et ainsi autoriseraient par une éducation consciente des stéréotypes sociaux de sexe un « réel » choix des filles et des garçons de leur orientation scolaire et professionnelle.

Aussi, cette approche par le capital émotionnel et les compétences émotionnelles qui s'y rattachent entendait et entend interpeller les pratiques enseignantes et susciter la réflexion sur le rapport au savoir des apprenants et sur les principes pouvant guider et accompagner à la construction des pratiques professionnelles du corps enseignant dans les disciplines scientifiques et particulièrement en mathématique. Dans le travail et le métier d'élève ou d'enseignant, et dans les métiers émotionnels de manière générale, les émotions sont présentes et ne peuvent plus être négligées. Elles interfèrent dans les processus d'apprentissage, dans la performance et le bien-être et interpellent autant la cognition que la conation. Leurs prises en compte et leur management deviennent nécessaires et vitaux dans les pratiques enseignantes. En cela, une approche par le capital émotionnel prend sens et est intéressante à plusieurs titres. D'une part, basée sur les compétences, cette approche s'intéresse à la personne et à ses ressources émotionnelles et prend en compte la situation. Car la compétence se « reconnaît » au travers de son rapport à l'action et au contexte, et à sa nature. Elle renvoie à une démarche cognitive et conative, toutes les deux adaptées aux problèmes à résoudre : l'activité mentale de guidage et d'organisation qui va permettre l'action réussie et la réponse- du sujet agissant (réponse-action« inconsciente » ou « implicite », voire mal connue par l'acteur lui-même, mais observable par autrui) qui a développé le bon processus de résolution de problème et ne perd pas d'énergie à chercher la méthode; il agit. Cette approche ne se positionne pas dans un registre polémique d'intervention pour lutter contre des « traitements inégalitaires » ou des « discriminations filles-garçons », mais bien plus dans une perspective des compétences de l'élève (filles ou garçons) à développer et des compétences de l'enseignant à mettre en œuvre une éducation équitable en connaissance de ces différentes dotations potentielles en capital émotionnel, dans les filières ou disciplines particulièrement empreintes de stéréotypes sociaux de sexe.

L'approche psychosociologique des compétences émotionnelles qui a tenté d'apporter un éclairage nouveau sur les différences filles-garçons et celle par les compétences autorise un travail sur les styles pédagogiques et de sensibilisation auprès des parents et des enseignants du fait qu'une approche par les compétences s'avère opératoire et opérationnelle. Mieux comprendre les mécanismes en œuvre dans la construction des représentations sociales et culturelles des stéréotypes de genre impactant les choix de discipline, influant sur le développement des compétences émotionnelles, peut en effet aider à élaborer des politiques éducatives atténuant ces différences d'attrait , d'appréhension et d'effort consenti ou d'engagement dans certaines disciplines comme les mathématiques et également à la réflexion des familles, praticiens et professionnels

éducatifs. Il en va ainsi de notre approche par le capital émotionnel qui fournit un instrument pour comprendre les mécanismes de la reproduction des inégalités et des stéréotypes liés au sexe, à travers l'analyse des compétences émotionnelles développées par les institutions comme l'école, la famille, le marché du travail, mais aussi les médias et la culture. Nourrir la réflexion sur les changements sociaux à stimuler du point de vue de ces compétences et sur les meilleures stratégies pour instaurer l'égalité dans les faits peut permettre une éducation équitable filles-garçons et impacter les choix, l'engagement et la performance dans certaines disciplines telles que les mathématiques. Cette approche peut apporter des pistes d'intervention multidimensionnelles visant à modifier les croyances, postures des élèves et enseignants et en conséquence les pratiques du corps éducatif du point de vue des représentations, mais aussi des modes d'enseignement de ces disciplines.

Éléments bibliographiques

André C. et Lelord F. (2002), *L'estime de soi, s'aimer pour mieux vivre avec les autres*, Odile Jacob.

Becker G.S. (1964), *Human Capital*, The University of Chicago Press.

Bandura A. (1977), Self-efficacy:toward a unifying theory of behavioral change, *Psychological Review*, *84*(2), 191-215.

Baudelot C. et Establet R. (1992), *Allez les filles!* Seuil.

Baudelot Christian & Establet Roger (2007). *Quoi de neuf chez les filles? Entre stéréotypes et libertés*. Paris : Nathan.

Beyer S. (1991). *The Effect of Self-consistency on Gender Differences in the Accuracy of self-evaluations. Dissertation*, University of Oregon.

Blouin Y. (1987), *Eduquer à la réussite en mathématiques*, Québec, Cégep François-Xavier-Garneau.

Bressoux P. et Pansu P. (2003). *Quand les enseignants jugent leurs élèves*. Paris : Presses Universitaires de France.

Cherniss et Goleman (2001)

Cherniss, C. (2001). Emotional intelligence and organizational effectiveness. In C. Cherniss & D. Goleman (Eds.), The emotionally intelligent workplace. San Francisco: Jossey-Bass.

Cherniss and Daniel Goleman Goleman, D. (1997), *L'intelligence émotionnelle*, Paris : Robert Laffont.

Chodorow, N. (1988). *Femininum - maskulinum. Modersfunktion och könssociologi*. Stockholm: Natur & Kultur.

Collet I. (2009), Les filles toujours fâchées avec les sciences, *L'actualité éducative*, CRAPS, n°476.

Costalat A-M. (1997), *Identité sociale et dynamique représentationnelle*, Presses Universitaires de Rennes.

Curnoyer, M., Solomon, C. R. & Trudel, M. (1998). I speak then I expect: Language and self-control in the young child at home. *Canadian Journal of Behavioral Science*, 30, 69-81.

Damasio A. (1994) *Descartes' Error : Emotion, reason, and the human brain*, New York: G.P. Putman's sons.

Daniel, M-F *et al.* (1996), *Philosopher sur les mathématiques et les sciences*, Québec, Le Loup de gouttière.

Duru-Bellat M. (1998), La mixité, un aspect du « curriculum caché » des élèves, *Enfance et Psy*, n°3, 73-78.

Duru-Bellat M. (1994), Filles et garçons à l'école, approches sociologiques et psycho-sociales, *Revue Française de Pédagogie*, n° 109, octobre-novembre-décembre, 111-135.

Duru-Bellat M. (1990), *L'école des filles, Quelles formations pour quels rôles sociaux*, Paris: L'Harmattan.

Felouzis, G. (1993), Interactions en classe et réussite scolaire, une analyse des différences filles-garçons, in *Revue française de sociologie*, 34, 2, p. 199-222.

Fennema *et al.* (1998), « A longitudinal study of gender differences in young children's mathematical thinking », *Educational Researcher*, n°27, 5, p. 6-13.

Gendron B. (2010a), « Capital émotionnel, cognition, performance et santé : quels liens? », in Du percept à la décision: Intégration de la cognition, l'émotion et la motivation, dir. Majid Naceur, et Mas Slim, Bruxelles : Ed. De Boeck Université.

Gendron B. (2010b), Filles, garçons : quel capital émotionnel pour quelles conséquences?, in *Tréma* n°32, Genre, mixité scolaire et éducation physique.

Gendron B. (2009), Du leadership à l'agent de changement de l'enseignant(e) ou du personnel éducatif : les compétences émotionnelles comme compétences professionnelles, in Leadership et compétences émotionnelles dans le changement en éducation, Collection Education & Recherche, Québec : Presses de l'Université du Québec, p.35-44.

Gendron B. (2008), « Capital émotionnel et éducation », Dictionnaire de l'éducation, Van Zanten A. (dir.), Paris : Presses Universitaires de France, p. 41-43.

Gendron B. (2007), Capital émotionnel et différences filles-garçons à l'école et au travail : Un essai d'analyse à partir des compétences émotionnelles, Actes de colloque CEREQ-CNAM, Usages sociaux de la notion de " compétence " : Quels savoirs? Quels individus? Paris.

Gendron B. (dir.) (2007), Émotions, compétences émotionnelles et capital émotionnel, Cahiers du Cerfee, n°23, Montpellier : Presses Universitaires de la Méditerranée.

Gendron B. (2004), "Why Emotional Capital Matters in Education and in Labour? Toward an Optimal Exploitation of Human Capital and Knowledge Management », Les Cahiers de la Maison des Sciences Economiques, série rouge, n° 113, Paris : Université Panthéon-Sorbonne, 37 p. http://econpapers.repec.org/paper/msewpsorb/r04113.htm

Gendron B. et Lafortune L. (dir.) (2009), Leadership et compétences émotionnelles dans l'accompagnement au changement, Ouvrage Collection Education & Recherche, Québec : Presses de l'Université du Québec, p. 237. http://www.puq.ca/fr/repertoire_fiche.asp?titre=nouveautes&noProduit=D1607

Gilligan, C. (1982). In a Different Voice. Cambridge: Harvard University Press.

Heckman, J. et Lochner, L. (2000) "Rethinking Education and Training Policy: Understanding the Sources of Skill Formation in a Modern Economy," in Securing the Future: Investing in Children from Birth to College, edited by Sheldon Danziger and Jane Waldfogel, New York: Ford Foundation Series on Asset Building.

Izard, C., Kagan, J., & & Zajonc, R. (1984). *Emotions, cognition, and behavior*. New York: Cambridge University Press.

Kort B., Reilly R., Picard R.W. (2001), An Affective Model of Interplay Between Emotions and Learning: Reengineering Educational Pedagogy—Building a Learning Companion, Reengineering Educational Pedagogy, ICALT, pp. 43-48.

Lafortune L. (2003), *Conceptions, croyance et représentations en maths, sciences et technos*, Sainte Foy, Presses de l'Université du Québec.

Lafortune L. et Mongeau P. (2002), *L'affectivité dans l'apprentissage*, Québec : Presse de l'Université du Québec.

Lafortune L. Mongeau P., Daniel M-F. et Pallascio R., (2002) « Anxiété à l'égard des mathématiques : applications et mise à l'essai d'une approche philosophique », dans L. Lafortune et P. Mongeau (dir.), L'affectivité dans l'apprentissage. Sainte-Foy, Presses de l'Université du Québec, 49-78.

Lafortune L. et Fennema E. (2002), Situation des filles à l'égard des mathématiques : anxiété exprimée et stratégies utilisées, Recherches féministes, série Science, ingénierie et technologie, *15*(1), 2002, p. 7-24

Lazarus R. S. et Folkman S. (1984) *Stress, appraisal and coping*, New-York : Springer.

Limoges, J. (2001). *Stratégies de maintien au travail*. Sainte-Foy : Septembre.

Le Maner-Idrissi, G., Levêque A., Massa J. (2002), Manifestations précoces de l'identité sexuée. Loranger M. (1988), "Les garçons et les filles en situation d'apprentissage" *In* Druning, R.E Tremblay, *Relations entre enfants : recherches et interventions éducatives*, Paris, Fleurus.

Maccoby, E.E. (Ed) (1966), *The development of sex differences*, Stanford, Calif.: Stanford University Press.

Mayer, J.D. et Salovey, P. (1993), The intelligence of emotional intelligence. *Intelligence*, 17, 433-442.

Mayer, J. D. et Salovey, P. (1997), What is emotional intelligence? *In* P. Salovey & D. Sluyter (Eds). *Emotional Development and Emotional Intelligence: Implications for Educators*, 3-31. New York: Basic Books.

Mayer, J.D. et Salovey, P. (1993), The intelligence of emotional intelligence. *Intelligence*, 17, 433-442.

Mosconi, N. (2001), Comment les pratiques enseignantes fabriquent-elles de l'inégalité entre les sexes?, Séminaire du Cref, Equipe « Savoirs et rapport au savoir », mars. Paris X-Nanterre.

Mosconi N., (1999), « La mixité scolaire : enjeux sociaux et ethico-politiques », Télémaque, juin.

Mosconi, N. eds. (1998), *Égalité des sexes en éducation et formation*, Paris : Presses Universitaires Françaises.

Mosconi, N. (1994), *Femmes et savoir, La société, l'école et la division sexuelle des savoirs*, Paris : L'Harmattan.

Mosconi, N. (1989), *La mixité dans l'enseignement secondaire : un faux-semblant?* Paris : Presses Universitaires Françaises.

Mosconi, N. & Loudet-Verdier J. (1997), Inégalités de traitement entre les filles et les garcons, in Blanchard-Laville (sous la dir.), Variations sur une leçon de mathématiques. Analyses d'une séquence : l'écriture des grands nombres, Paris: L'Harmattan.

Mujawamariya D. et Guilbert L. (2002), « L'enseignement des sciences dans une perspective constructiviste : vers l'établissement du rééquilibre des inégalités entre les sexes en sciences » Recherches féministes, série Science, ingénierie et technologie, *15*(1), 2002, p. 25-45.

Pourtois, J-P. et Desmet, H. (2004), L'éducation implicite, Paris: PUF.

Myers, D.G. (1998), Psychologie, Paris : Flammarion. Pourtois, J-P. et Desmet, H. (2004), L'éducation implicite, Paris: PUF.

Naceur M et Slim M. (2010), Du percept à la décision: Intégration de la cognition, l'émotion et la motivation, dir. Bruxelles : Ed. Deboeck Université.

Ocde-Deelsa, (2002), Définitions et sélection des compétences (DESECO); Fondements théoriques et conceptuels, Document de Stratégie, DEELSA/ED/CERI/CD, n° 9, nov.

Comprendre le cerveau

Ocde-Ceri, (2002), Vers une nouvelle science de l'apprentissage OCDE. Publié par : Éditions OCDE.

Pourtois, J.-P., et Desmet, H. (2004). L'éducation implicite, Puf, Paris.

Reuchlin, M. (1990). La Psychologie Différentielle. Puf, Paris.

Rothbart, M. K. (1989). Temperament and development. In G. A. Kohnstramm. J. A. Bates, and M. K. Rothbart (Eds.), Temperament in childhood, New York: Wiley, 59-73.

Yerkes R. M. et Dodson J. D., (1908), « The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit Formation », Journal of Comparative Neurological Psychology, 18, p. 459-482.

Vouillot, F., Blanchard, S., Marro, C., Steinbruckner M-L., (2004), La division sexuée de l'orientation et du travail : une question théorique et une question de pratiques, L'Orientation scolaire et professionnelle, n° 10, pp. 277-291.

Zaouche-Gaudron C., Rouyer V. (2002), L'identité sexuée du jeune enfant : actualisation des modèles théoriques et analyse de la contribution paternelle. L'Orientation Scolaire et Professionnelle, n° 31 (4), 523-533.

Zazzo B. (1966), *Psychologie différentielles de l'adolescence*, PUF.

Zazzo B. (1982), Les Dix-Treize ans, garçons et filles en CM2 et en sixième, PUF.

ÉTUDE CLINIQUE DE LA CLASSE DE MATHÉMATIQUES EN FRANCE : UNE POSTURE PARTICULIÈRE DU CHERCHEUR POUR IDENTIFIER DES « PROBLÈMES DE LA PROFESSION ».

Mirène Larguier

Introduction

L'étude présentée dans cet article a pour cadre un travail de thèse intitulée : « Étude didactique des conditions d'enseignement et d'apprentissage des domaines numérique et algébrique en classe de seconde ». Cette recherche s'inscrit dans les travaux d'Alain Bronner (1997; 2007) sur le numérique. Elle a fait suite à un travail de DEA[1] (Larguier, 2005) dont le sujet portait essentiellement sur les *reprises* du domaine numérique au début de la classe de seconde en France[2]. Le sens donné au terme de *reprise* dans ce contexte est le suivant : *« Pour une discipline et une classe données, lorsqu'un thème a déjà été en partie enseigné dans les classes antérieures, j'appelle reprise le moment de l'enseignement où ce thème, ou bien des sujets liés à ce thème, interviennent de nouveau et sont actualisés dans des thèmes de l'enseignement de cette classe. La reprise se situe donc au moment d'une nouvelle mise en scène de savoirs déjà institutionnalisés dans les classes antérieures. La reprise peut alors aller à l'extrême d'un redoublement du temps didactique, et constitue alors un recommencement qui se traduit dans les classes par des rappels ou encore par des révisions; jusqu'à une « reprise d'étude » et une reprise de l'avancée du temps didactique qui fait apparaître de nouveaux enjeux d'étude et qui est alors une poursuite de l'étude amorcée dans les classes antérieures. »* (*Ibid*). Une extension du sens donné à *reprise* est utilisée dans ce texte : à savoir que la *reprise* peut concerner des connaissances nouvelles d'une classe qui sont reprises ultérieurement dans cette même classe.

Pendant les deux années scolaires 2006-2007 et 2007-2008, l'observation dans les classes de seconde des pratiques de l'enseignement du numérique, nous a amenés à identifier un *problème de la profession* (Cirade, 2006; Chevallard, 1999) : la difficulté pour mettre en place des espaces numériques conformément aux injonctions du programme de seconde. Nous utilisons l'expression *espace numérique* au sens de Bronner (1997) qui a développé un outil spécifique pour l'appréhender : le *filtre du numérique* (Bronner, 2007) présenté plus loin. Le programme de seconde concernant ces deux années scolaires était paru au BO[3] hors série n° 6 du 12 août 1999 et il est resté en vigueur de la rentrée 2000 jusqu'à la rentrée 2008. Ce programme et le document d'accompagnement, paru en juin 2000, préconisaient d'éviter les révisions systématiques et en revanche proposaient de faire des *reprises* des connaissances du numérique et de

[1] Diplôme d'études approfondies au moment de la soutenance (DEA)

[2] Classe du début du lycée dont les élèves ont 15 à 16 ans.

[3] BO : bulletin officiel.

l'algébrique en lien avec des apprentissages nouveaux : *« Le programme rassemble sous un titre unique un bilan sur les ensembles de nombres, les problèmes de calcul numérique et algébrique et l'étude des fonctions. C'est une invitation forte à chaque enseignant pour qu'il construise son cours en faisant interagir ces divers éléments »* (document d'accompagnement des programmes). Cependant, nos travaux de recherche sur les pratiques des professeurs montrent qu'il est difficile pour eux de suivre ces préconisations du curriculum officiel (Larguier, 2005).

Depuis la rentrée 2009, le programme de seconde a changé (Cf. BO n° 30 du 23 juillet 2009) et nous nous posons la question de savoir quelle est l'évolution du problème que nous avions identifié dans ce nouveau contexte curriculaire. Nous avons notamment étudié cette question à partir de manuels scolaires qui nous donnent accès au savoir enseigné. Notre projet est en premier lieu de mieux cerner le problème identifié précédemment ainsi que son évolution sous la contrainte des changements de programme. Nous désirons pouvoir dans un deuxième temps repérer les connaissances du professeur qui nous semblent nécessaires pour opérer les choix didactiques adéquats afin de développer les connaissances des élèves sur le numérique.

2. Un type de tâches emblématique du numérique

Nous avons mis en lumière pour notre étude un type de tâches spécifique du numérique, à savoir *la détermination de la nature des nombres*, nous l'avons dénommé T. C'est un type de tâches à l'articulation entre les deux institutions collège et lycée, mais qui peut être repris dans différents habitats du programme de seconde tout au long de l'année. Nous allons justifier cette caractérisation de T vue comme étant emblématique du numérique en lien avec l'épistémologie des mathématiques, nous analyserons ensuite la place de T dans les programmes de 1999 puis de 2009.

2.1 Les raisons d'être de la tâche emblématique

Quelles sont les raisons d'être de ce type de tâches T? Quel problème mathématique essentiel pour la discipline motive la maîtrise des praxéologies en lien avec T? En posant ces questions, nous nous référons à Yves Chevallard (2000) qui dénonce l'enseignement des mathématiques comme étant la visite d'un musée ou encore l'enseignement de réponses toutes faites véhiculées par la tradition, alors même que les questions motivant les réponses enseignées ont été perdues :

« Les objets mathématiques scolaires sont aujourd'hui largement immotivés parce qu'ils apparaissent désormais comme de simples « choses », qui sont là, réalités incréées qu'il conviendrait de visiter docilement, sans se demander pourquoi elles sont là. Ainsi visite-t-on, comme en un musée, les droites, qui sont parallèles ou sécantes, les angles, qui sont rentrants ou saillants, et puis aigus, droits ou obtus, les triangles, qui peuvent être isocèles, équilatéraux, rectangles, et dont les hauteurs se coupent, les fonctions, qui peuvent être croissantes, décroissantes, etc. Or les objets mathématiques ne sont pas une donnée de la « Nature ». Ce sont des créations humaines, qui ont leurs raisons d'être ».

Chevallard interroge ce qui motive le calcul sur les nombres afin de les exprimer sous certaines formes particulières, et il fait prendre conscience du problème qui légitime ce travail dans le domaine numérique :

« On rencontre […] un grand problème des mathématiques : comment reconnaître si deux objets mathématiques d'un certain type sont ou ne sont pas le même objet? Comment savoir par exemple si $7\times5-8 = 23$*? Ou si* $\frac{60}{84} = \frac{380}{532}$*? ou, encore, si* $\frac{n(n+1)(2n+1)}{6} - \frac{(n-1)n(2n-1)}{6} = n2$*?*

À ce grand problème, il existe une solution générique, universelle : pour répondre à la question posée, il suffit chaque fois de disposer d'un système d'écriture des objets du type considéré, dans lequel chacun de ces objets ait une écriture et une seule. Le calcul de l'écriture « canonique » des objets à comparer permet alors de répondre : ainsi a-t-on $7\times5 - 8 = 35 - 8 = 27$*, ce qui montre que* $7\times5-8 \neq 23$*. De même, il vient d'une part* $\frac{60}{84} = \frac{4\times15}{4\times21} = \frac{3\times5}{3\times7} = \frac{5}{7}$*, d'autre part* $\frac{380}{532} = \frac{190}{266} = \frac{5\times19}{19\times7} = \frac{5}{7}$*, en sorte qu'on peut conclure, cette fois, positivement : on a bien l'égalité* $\frac{60}{84} = \frac{380}{532}$*. »* (Chevallard, 2000)

Ainsi, ce n'est pas la connaissance de la nature du nombre qui est importante en soi, mais la connaissance pour un type de nombre donné de son écriture « canonique ». L'écriture canonique des nombres dépend de la nature des nombres, en conséquence la connaissance de cette nature du nombre est nécessaire pour pouvoir choisir l'écriture la mieux adaptée au problème posé. Cette nécessité est renforcée par une règle du contrat institutionnel de calcul[4] qui stipule que le travail de démonstration en mathématiques amène le plus souvent à utiliser les valeurs exactes des nombres. Ces raisons expliquent alors pourquoi il est nécessaire de connaître les valeurs exactes des lignes trigonométriques de certains angles comme : $\cos\frac{\pi}{6}rd = \frac{\sqrt{3}}{2}$ et pourquoi on garde cette écriture avec un radical (il reste à justifier l'intérêt en mathématiques pour certaines valeurs d'angles, ce que nous n'expliciterons pas ici).

2.2 Le type de tâches emblématique dans le curriculum officiel

Pour étudier le curriculum officiel, nous utilisons les différents niveaux de détermination didactique de Chevallard (1999). Cet auteur précise ceci pour les niveaux internes à ceux de la discipline : *« La hiérarchie des niveaux ainsi ébauchée, qui va des* ***sujets d'étude*** *à la* ***discipline*** *en passant par les* ***thèmes****, les* ***secteurs****, les* ***domaines****, a pour principal mérite […] de permettre un premier tri dans les paquets de contraintes présidant à l'étude scolaire en évitant un déséquilibre trop flagrant entre ce qui serait pris en compte et ce qui serait laissé pour compte »*. Ce sont ces termes que nous avons écrit en gras que nous reprenons ci-dessous pour analyser le programme de seconde sur le numérique.

A. Le curriculum officiel de la rentrée 1999 à la rentrée 2009

En étudiant le curriculum officiel relatif au programme de 1999, nous allons voir qu'une contrainte au **niveau de la discipline** provient peut-être du découpage de ce programme et de l'ordonnancement de son écriture.

[4] Voir le filtre du numérique (Bronner, 2007)

Le programme de 1999 est subdivisé en trois domaines dans l'ordre suivant : *Statistique/Calculs et fonctions/Géométrie*. Le deuxième domaine « *Calculs et fonctions* » est divisé en trois secteurs qui n'apparaissent pas explicitement ainsi, mais que nous repérons comme étant les suivants : *Nombres/Fonctions (généralités)/Modèles et modélisation algébrique.* Le secteur qui nous intéresse est le premier, c'est celui qui contient toutes les notions liées au numérique. Il s'organise en six thèmes qui apparaissent dans la colonne intitulée « *Contenus* » et qui sont présentés en deux parties :

- La première partie contient les quatre thèmes suivants :
  Nature et écriture des nombres/Notations $\mathbb{N}$, $\mathbb{Z}$, $\wp$, $\mathbb{Q}$ et $\mathbb{R}$/Représentation des nombres dans une calculatrice/Nombres premiers
- La deuxième partie correspond à deux autres thèmes :
  Ordre des nombres/Valeur absolue d'un nombre

Les professeurs ont pu alors trouver « naturel » de suivre les contenus annoncés dans l'ordre donné, ce qui est peut-être l'une des raisons qui viendrait conforter l'idée de la nécessité des révisions a priori avant d'aborder véritablement le programme. Par ailleurs, le programme décline les objectifs généraux de chaque domaine. Ainsi pour le domaine « *Calculs et fonctions* » le premier objectif du programme est le suivant : « *Approfondir la connaissance des différents types de nombres.* » D'autre part dans le document d'accompagnement (juin 2000) nous trouvons le commentaire suivant en ce qui concerne le secteur « *Nombres* » et le thème « *nature et écriture des nombres* » : *« On fera une synthèse des connaissances rencontrées jusque-là par les élèves et on introduira les notations usuelles des différents ensembles.* ***Les élèves devront savoir reconnaître à quels ensembles appartiennent les nombres rencontrés****. »* Ainsi, la reconnaissance de la nature des nombres est un type de tâches très précisément identifié dans le programme de 1999 (mis en gras par nous). Le type de tâches T emblématique du numérique est donc explicitement inscrit dans le curriculum officiel.

B. Le curriculum officiel depuis la rentrée 2009

Le programme de 2009 est lui aussi subdivisé en trois domaines cités dans l'ordre suivant : F*onctions/Géométrie/Statistique et probabilités.* C'est le domaine des fonctions qui est inscrit en premier, ce qui devient une incitation très forte pour aborder la progression annuelle par ce domaine. Le terme « *Calculs* » présent dans l'intitulé du domaine « *Calculs et fonctions »* du programme précédent a disparu, ce qui renforce la demande suivante figurant dans l'introduction du programme : *« l'accent est mis systématiquement sur les types de problèmes que les élèves doivent savoir résoudre ».* Cette précision est reprise à la fin de l'introduction avec cette explicitation sur la fonction du programme : *« Il fixe les objectifs à atteindre en termes de capacités et pour cela* ***indique les types de problèmes que les élèves doivent savoir résoudre. »*** (Mis en gras dans le texte du programme.) Par ailleurs, cette autre recommandation complète l'esprit de ce programme : *« L'acquisition de techniques est indispensable, mais doit être au service de la pratique du raisonnement qui est la base de l'activité mathématique des élèves. »* Ces injonctions sont très fortes dans l'écriture de ce programme de 2009, elles étaient pourtant déjà présentes dans le programme précédent, mais de manière moins évidente. Par exemple, il était écrit que : *« Comme la géométrie, les activités de calcul doivent être l'occasion de développer le raisonnement et l'activité de démonstration »* ou encore : *« Le calcul numérique et le calcul algébrique ne doivent pas*

constituer un chapitre de révision systématique, mais se retrouvent au travers des différents chapitres. En particulier, ils seront traités en relation étroite avec l'étude des fonctions. »

Dans le programme de 2009, le domaine *« Fonctions »* peut être scindé en deux secteurs : *Fonctions (généralités)/modèles et modélisation algébrique*. Le secteur *Nombres* présent dans le programme antérieur a disparu et le travail relatif au domaine numérique est pratiquement absent de façon explicite. Il apparait cependant de trois façons :

- À la fin du programme dans la partie « *Notations et raisonnement mathématiques* » il est dit que : « *Les élèves doivent connaitre […] la notation des ensembles de nombres et des intervalles.* » Dans la partie en préambule des contenus des trois domaines il est précisé que « *le vocabulaire et les notations mathématiques ne doivent pas être fixés d'emblée ni faire l'objet de séquences spécifiques mais doivent être introduits au cours du traitement d'une question en fonction de leur utilité »*. Cette remarque renforce ainsi l'idée que le numérique est au service des autres domaines, qu'il n'y a pas de nouveaux concepts à étudier si ce n'est du vocabulaire et des notations utiles. La construction de l'espace numérique de seconde s'enrichit donc par rapport au collège de la dénomination des ensembles de nombres et de leurs notations ainsi que de la notion d'intervalle avec sa notation. Les objets du numérique comme la valeur absolue ou les nombres premiers ont disparu par rapport au programme précédent;
- Le numérique est évidemment présent dans les différentes pratiques de calcul : « *Le calcul est un outil essentiel pour la pratique des mathématiques dans la résolution de problème. Il est important en classe de seconde de poursuivre l'entraînement des élèves dans ce domaine par la pratique régulière du calcul mental, du calcul numérique et du calcul littéral.* » Le calcul mental est présent à côté du calcul numérique et du calcul algébrique ce qui est une nouveauté de ce programme et vraisemblablement une continuité par rapport aux programmes de l'école puis du collège;
- Le travail dans le domaine du numérique est également mentionné lors de la résolution de problèmes qui met en jeu du calcul algébrique : « *Par ailleurs, la résolution de problèmes vise aussi à progresser dans la maîtrise du calcul algébrique et à* ***approfondir la connaissance des différents types de nombres****, en particulier pour la* ***distinction d'un nombre de ses valeurs approchées****.* ». Cette citation est extraite du préambule général concernant le domaine *Fonctions*, nous avons mis en gras des reprises du programme précédent. Ainsi, la connaissance des différents types de nombres est explicitement demandée comme dans le programme précédent, mais en tant qu'outil au service de la résolution de problèmes.

L'aspect utilitaire dans la résolution de problèmes et l'aspect pratique sous la forme de notations sont mis en avant dans ce programme de 2009. Le type de tâches emblématique T n'est plus un objectif clairement identifié comme dans le programme précédent. Un grand *vide didactique* (Bronner, 1997) concernant la construction des réels apparait dans ce programme de 2009 en réponse aux difficultés inhérentes à la construction de l'espace numérique en seconde. Quelle va être la transposition didactique du savoir à enseigner vers le savoir enseigné avec ces nouvelles contraintes? Comment le problème du choix de l'écriture la mieux adaptée au problème posé en fonction de la nature d'un nombre va-t-il pouvoir être réglé dans les classes?

2.3 Le type de tâches emblématique T dans le curriculum réel

Dans la réalité de ce que nous avons pu observer dans des classes lorsque le programme de 1999 était en vigueur, les professeurs font rencontrer aux élèves en début d'année le type de tâches T sur un certain nombre de spécimens en conformité avec le curriculum officiel, sans motiver ce travail par un problème spécifique, et sans utiliser ce travail ultérieurement pour motiver à son tour une poursuite de l'étude de la synthèse relative aux nombres. Nous allons montrer qu'une *reprise* de T était pourtant possible dans la suite du programme de seconde, mais les professeurs ne perçoivent pas ces nouvelles occasions pour réactiver ce type de tâches T. Ainsi de nouvelles rencontres sont manquées avec la tâche emblématique en cours d'année. Nous pouvons assimiler cela à un vide épistémologique dans les connaissances mathématiques du professeur, ce qui renvoie au diagnostic à établir concernant les connaissances du professeur.

Le changement de programme intervenu à la rentrée 2009 semble résoudre le problème que nous avons identifié en évitant presque complètement la difficulté concernant la construction de l'espace numérique. Les différents manuels étudiés pour cet article essaient plus ou moins de combler le *vide didactique* (Bronner, 1997) ainsi créé. Nous analyserons ainsi les premiers effets de cette évolution curriculaire au regard de l'épistémologie des mathématiques.

3. Cadre théorique et Méthodologie

3.1 Le filtre du numérique

Pour décrire et analyser l'espace numérique qui se travaille et se construit en classe de seconde dans toutes ses composantes, nous utilisons un outil dénommé « le filtre du numérique » (Bronner, 2007), dont nous faisons une présentation schématique dans la figure 1. La fonction de ce filtre est de « traquer » le numérique, que ce soit au niveau d'une pratique ou d'une institution.

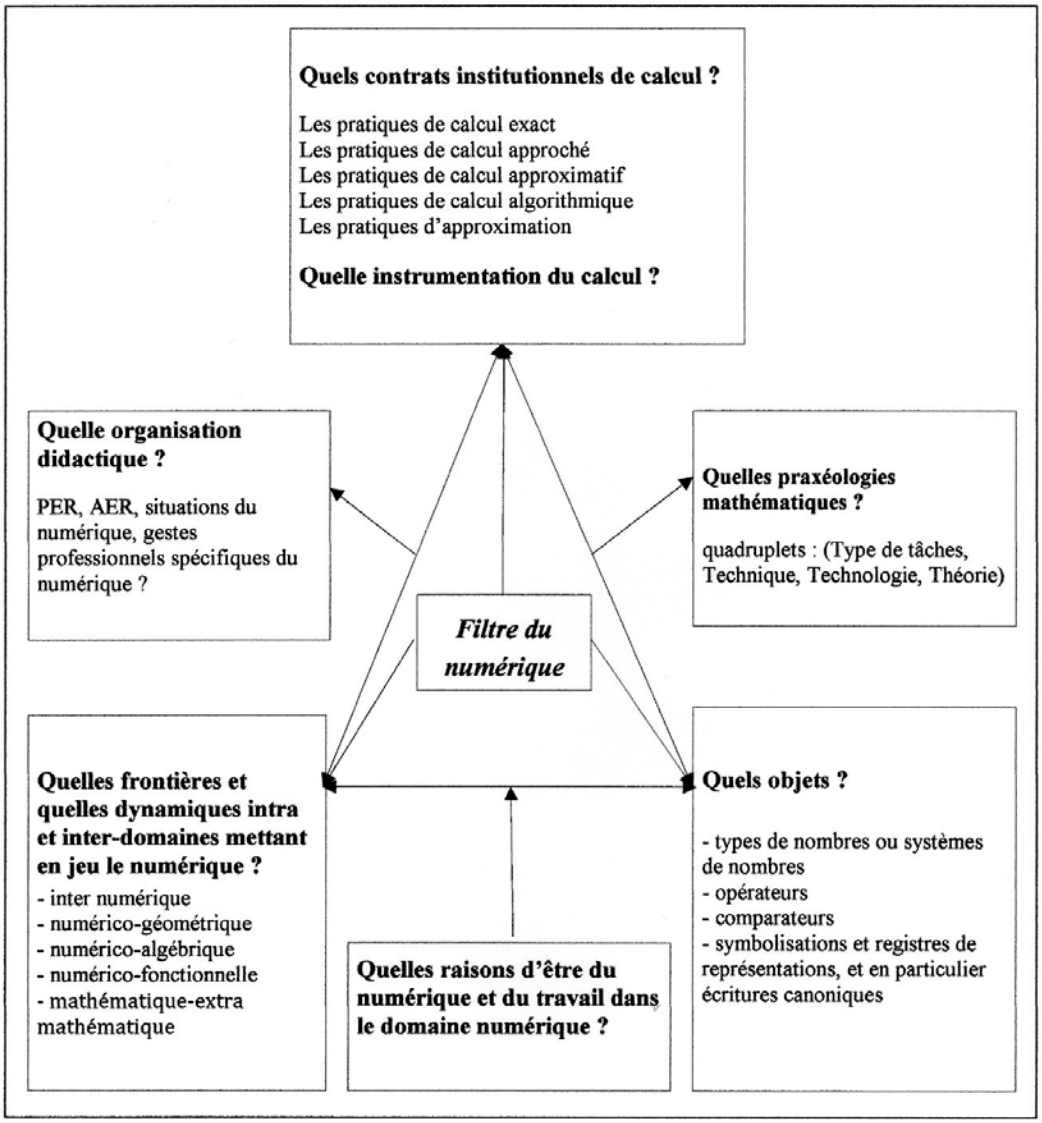


Figure 2 : filtre du numérique

3.2 La théorie anthropologique de la didactique

Pour étudier la question de la construction de l'espace numérique en seconde, nous utilisons essentiellement le cadre de la *théorie anthropologique de la didactique* (TAD en abrégé) développée par Chevallard[5] et les développements concernant le numérique et l'algébrique des travaux de Bronner (1997, 2007). La notion de *praxéologie* issue de la TAD nous permet d'analyser les organisations mathématiques mises en place par le professeur et les apprentissages construits chez les élèves. Chevallard décrit une praxéologie comme étant un quadruplet (tâche, technique, technologie, théorie). À travers ses écrits, il a donné de multiples

[5] Le premier congrès de la TAD à Baeza en octobre 2005 s'est tenu en l'honneur des 25 ans de la TAD, il était présenté par cette phrase introductive : « *L'année 2005 correspond au 25e anniversaire de la première présentation par Yves Chevallard de la notion de Transposition Didactique, germe de la Théorie Anthropologique du Didactique développée par cet auteur.* »

définitions de cette notion, nous avons choisi la suivante pour sa précision : *« En toute institution, l'activité des personnes occupant une position donnée se décline en différents types de tâches T, accomplis au moyen d'une certaine manière de faire, ou technique,* τ *. Le couple [T,* τ *] constitue, par définition, un savoir-faire. Mais un tel savoir-faire ne saurait vivre à l'état isolé : il appelle un environnement technologico-théorique [* θ, Θ *], ou savoir (au sens restreint), formé d'une technologie* θ *, « discours » rationnel (logos) censé justifier et rendre intelligible la technique (tekhnê), et à son tour justifié et éclairé par une théorie* Θ *, généralement évanouissante. Le système de ces quatre composantes, noté [T/* τ */* θ */* Θ *], constitue alors une organisation praxéologique ou praxéologie, dénomination qui a le mérite de rappeler la structure bifide d'une telle organisation, avec sa partie pratico-technique [T/* τ *] (savoir-faire), de l'ordre de la praxis, et sa partie technologico-théorique [* θ */* Θ *] (savoir), de l'ordre du logos. »* (Chevallard, 1997). Nous utilisons également les niveaux de détermination didactique définis par Chevallard (1999) pour interroger les appuis et les contraintes selon différentes origines qui conditionnent en grande partie le curriculum réel. Ces niveaux sont les suivants : civilisation, société, école, pédagogie, discipline, domaine, secteur, thème, sujet d'étude.

4. Méthodologie

4.1 Protocole méthodologique d'une étude clinique

Les travaux de recherche en thèse (Larguier, 2009) se sont appuyés sur l'observation de classes de seconde normales[6] avec une méthodologie originale par rapport à celle qui a été le plus utilisée en didactique des mathématiques, notamment lors d'ingénieries didactiques (Artigue, 1990), dans la mesure où l'observation dans les classes est première. Ainsi, le chercheur a évité au maximum de donner ses objectifs de recherche à l'enseignant, et il s'est abstenu de tout commentaire pouvant être perçu comme une appréciation que ce soit avant ou après chacune des séances observées. Par ailleurs, le chercheur n'avait pas d'attente concernant ce qu'il va observer. Cette neutralité a duré pendant toute l'étude, c'est-à-dire l'année scolaire, pour éviter au maximum d'influencer les choix du professeur. En conséquence, les organisations mathématique et didactique des séances observées n'ont pas été définies par une analyse *a priori* en fonction d'un projet du chercheur.

Le protocole suivi pour la méthodologie comprend plusieurs phases qui vont être décrites ci-dessous. Ces différentes phases sont nécessairement dépendantes de la phase 0 qui est le point de départ obligatoire : c'est la phase d'observation dans les classes (ou à défaut la prise en compte des traces écrites). Les autres phases ne sont pas toujours suivies selon l'ordre numérique de présentation.

Phase 0 : C'est l'observation dans les classes qui permet l'accès aux connaissances enseignées qui ont été décidées par l'enseignant sans aucune interaction préalable avec le chercheur.

[6] J'entends par classes normales, des classes qui ne présentent pas de difficulté ni de spécificités particulières et dont les enseignants ne sont ni débutants ni réputés experts (ni formateurs, ni tuteurs…).

Phase 1 : À partir des éléments révélés dans la dynamique de l'enseignement est élaborée une analyse *a priori* ascendante. Elle s'appuie sur les choix d'activités du professeur sans aucune modification de la trame de la séance en prenant en compte les acquis antérieurs des élèves, la *mémoire didactique* (Brousseau et Centeno, 1991) de la classe et la conformité au curriculum officiel. Cette analyse *a priori* définit donc les praxéologies mathématiques possibles à ce moment de l'histoire de la classe observée.

Phase 2 : À partir de l'observation de la classe et du recueil des données effectives une analyse *a posteriori* est élaborée par le chercheur.

Phase 3 : Il est alors possible de faire un parallèle entre l'analyse *a priori* et l'analyse *a posteriori* de la séance observée.

Phase 4 : Les apprentissages ont été étudiés grâce aux productions écrites des élèves (cahiers, devoirs, tests proposés par le chercheur) et aux productions orales recueillies en classe ou lors d'entretiens. Les gestes professionnels des enseignants et les gestes d'étude des élèves ont été corrélés pour analyser les effets de l'enseignement sur les apprentissages.

Un élément important de la méthodologie, c'est la mise en réseau de l'analyse des données. Pour parvenir à décrire au plus près la réalité des phénomènes d'enseignement et d'apprentissage, et pour développer les analyses les plus fines possible, les données statiques et dynamiques sont croisées entre elles. La solidité des analyses est éprouvée en cherchant dans toutes les traces recueillies à vérifier la cohérence ou l'incohérence des résultats du travail. Ainsi, c'est un entretien avec un élève qui pourra confirmer ou non l'analyse de la nature des apprentissages, ce sont des réponses trouvées dans un devoir d'élève qui pourront valider ou non l'apparition de certaines conceptions anticipées par le chercheur…

4.2 Recueil des données

Pour la recherche dans le cadre de la thèse, le recueil des données a été réalisé à partir de deux classes de seconde dont les enseignants ne sont ni des débutants ni des experts, et dont les élèves ont des options qui les destinent a priori vers des bacs généraux, majoritairement un bac scientifique d'ailleurs. L'étude porte sur toute la durée de l'année scolaire, ce qui pose des questions particulières non abordées dans la majorité des recherches. En conséquence, le grain d'analyse est très variable : de l'année à la minute! Les deux professeurs enseignent dans un même lycée de la périphérie de Montpellier[7], ils ont été observés tout au long de l'année scolaire, Mathieu en 2006-2007 et Clotilde l'année suivante. Les deux classes ont été qualifiées de « bonnes » par les professeurs comme l'attestent les appréciations qui suivent.

Les données collectées sont de natures différentes, statiques et dynamiques. Pour chacune des classes, ce sont :

- des vidéos de séances à différents moments de l'année scolaire et dans des domaines mathématiques différents;

[7] Dans le sud de la France

- des interviews du professeur;
- le recueil de toutes les productions écrites de quelques élèves ainsi que des documents écrits du professeur;
- des interviews de quelques élèves représentatifs des différents niveaux dans la classe;
- des écrits de ces élèves répondant à des questions posées par le chercheur;
- les transcriptions écrites des vidéos et des entretiens.

Conformément à la méthodologie décrite précédemment, le choix des séances observées a surtout résulté de la disponibilité du chercheur pendant des séances de mathématiques de ces classes de seconde, et de la connaissance des contenus lorsque c'était possible de les anticiper sans dévoiler le projet du chercheur. Ainsi, 15 séances de 55 minutes ont été observées chez Mathieu, et 13 chez Clotilde.

4.3 Méthode dite du carottage

Nous allons décrire comment, à la manière d'un géologue qui étudie un terrain en examinant des *carottes*, l'exploration de l'enseignement du numérique pendant une année scolaire a été menée. Je prends l'exemple des observations dans la classe de Clotilde, le 22 octobre 2007, le chercheur ne savait pas à l'avance qu'il allait assister à une séance sur la valeur absolue, en revanche il s'est organisé pour être présent le 24 octobre, mais sans dévoiler l'intérêt pourtant très vif d'observer la suite de l'enseignement de ce nouvel objet du numérique conformément au curriculum officiel de 1999. C'est ce qui a été dénommé *la méthode du carottage* qui a permis de découvrir des filons très intéressants pour le cadre de la recherche.

5. Place du numérique dans les progressions

Des observations réalisées en classe de seconde dans le cadre de la formation initiale des professeurs de mathématiques, ou encore des discours de professeurs expérimentés, parfois même des conseillers pédagogiques de professeurs stagiaires, ont confirmé l'existence d'une règle du métier. Elle stipule qu'il faut « refaire les bases », c'est ce que disent souvent les professeurs; il ne faut pas faire de révisions systématiques disent pourtant les programmes de 1999. La règle du métier de professeur de mathématiques qui semble être fixée, pourrait s'énoncer ainsi : les élèves ont trop de difficultés avec le calcul numérique et le calcul algébrique pour pouvoir aborder les nouveautés du programme de seconde, il faut donc commencer par des révisions. En observant le curriculum réel en lien avec le programme de 1999 dans les classes de Clotilde et de Mathieu ou encore dans des manuels, cette règle est confirmée. L'étude de quelques manuels édités conformément au programme de 2009 va permettre d'analyser l'évolution du curriculum réel.

5.1 La progression choisie par Mathieu et Clotilde

Clotilde et Mathieu contraints par le même programme de 1999 ont commencé leur progression annuelle par un chapitre contenant des révisions du numérique et de l'algébrique où les notions travaillées le sont en tant qu'objets, et non pas en tant qu'outils (Douady, 1986) au service de la résolution de problèmes. Ce chapitre contient également les ensembles de nombres et leur dénomination. Cette première nouveauté du

programme de seconde semble être la porte d'entrée la plus commune vers les mathématiques du lycée[8]. Ce début de progression est vécu comme étant satisfaisant par les deux professeurs pour ce temps de la *reprise scolaire* (de la rentrée aux vacances de Toussaint) et ils justifient ce choix a posteriori. Ainsi Mathieu lors de l'interview du 6 décembre 2006 déclare : « *C'est une progression commune, elle nous convient […] Je trouve que ça fonctionne bien [le premier chapitre calculs numériques], oui. C'est une manière de raccrocher sur ce qu'ils ont fait,* ***c'est une manière pour moi de travailler tout ce qu'ils ne savent pas faire****. […] J'ai essayé quelques fois de commencer par la géométrie dans l'espace, ou… mais je trouve que c'est une fausse démarche, dans le sens où elle … quand on revient sur les calculs on est confronté aux mêmes problèmes, sauf peut être qu'il y a une autre ambiance qui s'est installée, peut être qu'ils sont bien dans cette ambiance là, et un peu plus ouverts, mais* ***sinon les mêmes problèmes reviennent, donc autant les attaquer tout de suite et travailler dessus toute l'année.*** *»*

De même, Clotilde explicite son choix dans l'interview du 6 décembre 2007 : *« Pour la progression j'essaie d'intercaler géométrie algèbre pour varier et après en seconde… après il y a aussi que* ***je ne veux pas commencer par un chapitre trop difficile en début d'année*** *pour pouvoir les mettre en confiance, et après il y a une logique du programme quoi qui fait que… moi je trouve qu'il n'y a* ***pas beaucoup de questions sur la progression de seconde, ça va se passer assez naturellement****. »*[9].

Le document d'accompagnement des programmes de 1999 concernant le domaine « Calculs et fonctions », critique pourtant clairement ce choix didactique : « *[…] aucun titre relatif au calcul algébrique n'apparaît : celui-ci se retrouve dans les divers items du programme. Il n'est pas question ainsi de minimiser sa place; une certaine aisance est indispensable pour manipuler avec profits sommes, produits ou quotients; une telle aisance libère ensuite la pensée pour une réflexion plus profonde ou pertinente.* ***L'entraînement au calcul est donc à poursuivre : mais en l'asservissant aux réels besoins des problèmes à traiter et sans en faire un incontournable préalable à leur traitement****. »* La dernière phrase mise en gras par nous permet de mesurer l'écart entre les curricula réel et officiel.

Nous avons souligné la demande très clairement exprimée dans le curriculum officiel entre 1999 et 2009 pour que les enseignants fassent des *reprises* qui ne soient pas que la répétition d'un temps didactique ancien, et a contrario organisent un enseignement qui soit dans une dynamique qui conjugue ancien et nouveau et planifie la poursuite de l'étude en proposant de nouvelles rencontres des connaissances du collège à l'occasion de la découverte d'apprentissages nouveaux. En particulier les domaines numérique et algébrique sont à travailler dans le cadre des fonctions. L'un des symptômes du problème de la profession que nous avons identifié en écoutant Mathieu et Clotilde est le devoir que les enseignants se donnent, même s'il n'apparaît pas véritablement satisfaisant, qu'il faut d'abord asseoir des « bases » par des révisions systématiques avant d'aborder véritablement le programme de seconde. Ce devoir apparaît comme une norme du métier, au sens défini par Cirade (2006).

---

[8] Une étude des manuels édités en 2004 ainsi que les visites dans les classes de seconde confortent cette impression

[9] C'est nous qui mettons en gras certains passages

5.2 Choix de progressions dans des manuels de seconde

Cette norme du métier est également repérable à travers les choix des auteurs de manuels. La consultation de huit manuels correspondant au programme de 1999 et parus en 2004 ou 2005, confirme ce choix majoritaire de début de progression en seconde, à savoir contenir des révisions sur le numérique et/ou l'algébrique.

Nous avons analysé huit manuels parus en même temps que le manuel Déclic des classes de Mathieu et de Clotilde (sept parus en 2004 et un en 2005). Tous ces manuels abordent le programme de seconde par un chapitre sur les nombres sauf un manuel qui se singularise qui est paru chez Nathan (intitulé Math 2de). Ce manuel propose un premier chapitre intitulé « Statistiques. Simulations ». Il est donc caractérisé par le fait qu'il commence par un chapitre qui ne concerne pas le domaine numérique, mais qui « embarque » nécessairement de très nombreuses connaissances du numérique qui se trouvent ainsi utilisées de façon fonctionnelle. Dès le début du chapitre de ce livre, une reprise sous la forme de révisions est proposée avec des rappels sur les formules donnant la moyenne. Le domaine de la statistique est propice au travail sur le calcul numérique et algébrique et il permet la reprise de ces notions en tant qu'outils ce qui légitime leur intérêt et donne des raisons d'être pour leur apprentissage. L'articulation entre les domaines du numérique et de la statistique est explicitement précisée dans le document d'accompagnement des programmes : « La statistique donne lieu à de nombreuses activités numériques et favorise la maîtrise du calcul […] ». Les sept manuels qui commencent par un chapitre concernant les nombres font cependant des choix assez différents. Ces différences s'expriment à travers les contenus mathématiques, mais aussi à travers l'activité mathématique proposée. Dans la comparaison de ces sept manuels, le premier chapitre aborde toujours les ensembles de nombres et leur dénomination. Les connaissances sont travaillées en général en tant qu'objets, les exercices n'ont aucune finalité, les autres cadres sont peu convoqués. Un manuel se distingue parmi ceux-là, le Bréal, il propose en introduction de véritables résolutions de problèmes, l'un dans le cadre numérique, un autre dans le cadre de la géométrie euclidienne. Ce dernier problème permet de produire des nombres rationnels et irrationnels dans une *dynamique numérico-géométrique* (en référence au *filtre du numérique* de Bronner). Ainsi, une reprise de connaissances anciennes du collège va être articulée avec des nouveautés de seconde en examinant les caractéristiques des nombres apparus dans la résolution d'un problème.

5.3 Évolution du curriculum réel à travers l'analyse de manuels

Pour étudier l'évolution du curriculum réel en lien avec le changement de programme intervenu depuis septembre 2009, nous avons étudié quelques manuels. Nous avons montré précédemment comment l'aspect outil du domaine numérique a été amplifié et comment la résolution de problèmes et l'étude des différents types de problèmes ont été mis en priorité dans le travail mathématique lors de cette évolution des programmes.

Nous avons comparé les choix concernant le début de la progression annuelle dans des manuels parus en 2010 conformément au programme de 2009. Le tableau suivant synthétise les éléments que nous avons retenus, les manuels y sont présentés selon un ordre de la première à la cinquième ligne qui correspond à un ordre croissant relatif à l'aspect quantitatif des contenus du domaine numérique.

	Étude du contenu du premier chapitre sans la partie exercices						
Manuel	Première partie de la progression	Titre du premier chapitre de la progression	Partie sur le numérique contenue dans le premier chapitre	Ensemble des réels défini par la droite graduée	Types de nombres définis et notations données	Rappel des règles de calcul numérique	Rappel des règles de transformations des égalités (ou calcul littéral)
Collection πxel Bordas 2010	Pas de parties explicitement indiquées	Lecture de graphiques	Intervalles	oui	R	oui	oui
Symbole Belin 2004	Pas de parties explicitement indiquées	Notions de fonction	Les intervalles de R	oui	N, Z, R Définition des décimaux et des rationnels (sans les notations)	oui	oui
Déclic Hachette 2010	Pas de parties explicitement indiquées	Généralités sur les fonctions	Mise au point sur les ensembles de nombres	oui	N, Z, R	non	oui
Odyssée 2de Hatier 2010	Fonctions	Calcul algébrique	Ensembles de nombres Intervalles de R	non	N, Z, D, Q, R	non sauf $\frac{a}{b}+\frac{c}{d}$	oui
Collection Math'x Didier 2010	Fonctions	Modéliser par une fonction	Nombres réels et intervalles	oui	N, Z, D, Q, R	oui	oui

Le manuel de Didier est le plus complet en rappels concernant les éléments théoriques nécessaires pour mettre en œuvre les praxéologies mathématiques du numérique. Le manuel de Hatier reprend les contenus qui s'enseignaient habituellement en référence au programme de 1999, en particulier la représentation de l'inclusion des ensembles sous la forme de « patates » (Cf. p. 23 du manuel), le travail relatif au type de tâches emblématique T « déterminer la nature d'un nombre » (Cf. p. 27 du manuel). Ce manuel commence d'ailleurs par un chapitre intitulé « Calcul algébrique » en contradiction avec une demande très explicite du programme de 2009 déjà inscrite en 1999. Tous les autres manuels font le choix d'initialiser la progression de seconde par le domaine des fonctions ce qui traduit bien l'évolution du curriculum. De façon étonnante, trois manuels sur les cinq ne donnent pas les notations des ensembles de tous les types de nombres alors que c'est une exigence du programme. En particulier, celles des nombres décimaux et rationnels sont absentes dans deux manuels : πxel et Déclic.

L'étude de ces cinq manuels montre que l'orientation résultant du changement de programme vers la résolution de problèmes dans le cadre fonctionnel est réelle, mais elle s'accompagne d'un vide didactique (Bronner, 1997) très important relatif au travail du cadre numérique. Le type de tâches T que nous avions identifié comme étant emblématique du numérique n'est travaillé que dans un seul manuel sur les cinq,

alors qu'il conditionne la recherche de l'écriture d'un nombre la plus adaptée à un problème donné. Le problème de l'incomplétude des praxéologies institutionnalisées risque dans ces conditions d'être accru.

6. Travail du type de tâches emblématique du numérique dans les classes

6.1 Entrée dans les classes de Clotilde et Mathieu

Dans les classes de Clotilde et de Mathieu, de nombreux spécimens de T sont travaillés dans le premier chapitre. Les justifications ne sont généralement pas demandées. Ainsi dans le cahier d'exercices des élèves de Clotilde nous trouvons les affirmations suivantes sans savoir ce qui a été développé oralement :

$\sqrt{18}$ irrationnel

$\frac{1}{3}$ rationnel

La praxéologie institutionnalisée localement relative à ce type de tâches T est incomplète. Les éléments du bloc technologico-théorique sont absents, la réponse attendue par le professeur repose sur de nombreux implicites qui ne sont certainement pas partagés par tous les élèves.

Voilà pourtant ce qui aurait pu être travaillé dans la classe de Clotilde pour enrichir la connaissance de l'espace numérique :

$\sqrt{18} = 3\sqrt{2}$ et $\sqrt{2}$ étant irrationnel, son triple aussi. Ce qui suppose d'avoir admis ou bien d'avoir démontré l'irrationalité de $\sqrt{2}$ conformément à la possibilité offerte par les programmes de collège. L'irrationalité de $3\sqrt{2}$ peut être alors démontrée en faisant un raisonnement par l'absurde possible à ce niveau de seconde.

$\frac{1}{3}$ est un nombre non décimal car la fraction est irréductible et le dénominateur n'est pas sous la forme d'un produit de facteurs égaux à 2 et à 5. Une autre praxéologie repose évidemment sur la technique de la division à la main de 1 par 3.

Dans le cadre d'une recherche précédente, une observation similaire concernant l'incomplétude des praxéologies relatives à T avait été réalisée le 17 septembre 2004 dans la classe de Rosalie[10] à propos de la détermination de la nature des nombres (Larguier, 2005). Le travail sur l'opposition décimal/idécimal ne semble pas être un objectif des professeurs, ce qui conforte les résultats des recherches de Bronner (1997, 2001) sur ce sujet. Pour cet auteur un nombre *idécimal* est un nombre qui n'est pas décimal.

[10] Rosalie était un professeur stagiaire en formation initiale qui avait en responsabilité une classe de seconde.

7. Le type de tâches emblématique et la valeur absolue

La valeur absolue était un objet numérique nouveau en classe de seconde dans les programmes de 1999. Nous allons montrer comment les différents types de nombres sont revenus sur la scène pour être mis au service de la valeur absolue, mais auparavant nous allons préciser la place de cet objet dans le curriculum officiel avant qu'il ne disparaisse des programmes de seconde de 2009. En effet, dans le curriculum officiel du lycée mis en place en seconde en 2009 (Cf. Bulletin officiel n° 18 du 6 mai 2010), l'objet valeur absolue n'apparaît qu'en classe de première ES et S.

7.1 La valeur absolue dans les programmes

Le programme en vigueur au moment de la recherche en thèse inscrivait l'objet valeur absolue dans le domaine « calculs et fonctions » et dans un thème essentiellement inscrit dans le numérique concernant l'ordre des nombres et la valeur absolue d'un nombre. Voici précisément ce qui était écrit dans le programme :

Contenus : Ordre des nombres. Valeur absolue d'un nombre.
Capacités attendues : Choisir un critère adapté pour comparer des nombres. Comparer a, a^2 et a^3 lorsque a est positif. Caractériser les éléments d'un intervalle et le représenter.
Commentaires : La valeur absolue d'un nombre permet de parler facilement de la distance entre deux nombres.

Par ailleurs, ce commentaire se trouve dans le document d'accompagnement de ce programme de 1999 :

Valeur absolue d'un nombre

Aucune étude particulière n'est demandée. Cette **notation** sera présentée essentiellement pour exprimer la distance entre deux nombres.

La notion de valeur absolue est insérée dans le cadre numérique (distance entre deux nombres); cette notion est un objet mathématique présent explicitement dans les contenus, mais les accompagnements minimisent cette place pour réduire la notion à une notation (mis en gras par nous). Cette conception conforte l'idée que la valeur absolue apparaît davantage comme un nouvel opérateur[11] de l'espace numérique construit en seconde. Par ailleurs, le travail algébrique (résolution d'équations, d'inéquations) en lien avec la valeur absolue n'était pas un objectif du programme.

[11] Voir le filtre du numérique

Dans le programme de première S et ES en vigueur à partir de la rentrée 2010 (cf. figure 1) la conception qui était travaillée auparavant en seconde, à savoir celle de distance entre deux nombres, est reprise. Cependant la valeur absolue n'est plus présentée dans le domaine « Calculs et fonctions » mais dans celui de l' « Analyse ».

Analyse

Contenus	Modalités de mise en œuvre	Commentaires
Valeur absolue **Définition de la valeur absolue d'un nombre réel.** **Inégalité triangulaire.**	**La valeur absolue permet de parler facilement de la distance entre deux nombres.**	**L'étude de fonctions faisant intervenir la fonction $x \to \|x\|$ n'est pas un objectif du programme.**

Figure 3

7.2 La rencontre avec la valeur absolue dans la recherche

Notre méthodologie, et en particulier la méthode dite du carottage, nous a permis de rencontrer différents objets d'enseignement concernant le numérique. Ainsi celui de valeur absolue a été observé dans les deux classes de Clotilde et de Mathieu. Les données prises dans la réalisation effective des séances chez ces deux professeurs ont permis de comparer les choix didactiques relatifs à l'enseignement de la valeur absolue. Il s'agit en particulier des séances suivantes : une séance observée le 2 décembre 2006 chez Mathieu et une séance observée et filmée le 22 octobre 2007 chez Clotilde. L'étude des cahiers des élèves (cours et exercices), ainsi que des devoirs (à la maison et en classe), a permis de décrire les organisations mathématiques choisies et de les comparer sur la durée de la séquence. Des entretiens avec les professeurs et des élèves ont complété ces données. Le tableau suivant détaille les organisations mathématiques.

Extraits du cours de Clotilde	Extrait du cours de Mathieu
1°) Distance de deux nombres et définition de $\|p-q\|$ La distance entre deux nombres réels p et q est celui des deux nombres p-q et q-p qui est positif ou nul. Cette distance se note |p-q| et se lit « valeur absolue de p moins q ». Conséquence : la valeur absolue de x, notée |x|, est la distance de x à zéro. 2°) Propriétés 3°) Résolution d'équations du type : $\|x-a\|=b$ Exemples traités : $\|x-3\|=2$ $\|x+5\|=4$ et 5 autres spécimens 4°) Résolution d'inéquations du type $\|x-a\|>b$ Exemples : $\|x\|>3$ $\|x-5\|\geq 2$ $\|5-3x\|\geq 7$ 5°) Résolution d'inéquations du type $\|x-a\|<b$ Exemples : $\|x\|<4$ $\|x-3\|\leq 7$ $\|5-3x\|\leq 2$	1°) Définition Soit x un nombre réel et M le point d'abscisse x sur la droite des réels, la valeur absolue de x notée |x| est la distance de O à M. 2°) Application : Résoudre l'équation |x|=5 Résoudre l'équation |x|≤2 Résoudre l'équation |x|≥3 3°) Définition : Soit A le point d'abscisse a et B le point d'abscisse b, la distance AB est égale à |b-a|. Résoudre |x-5|=7 |1-x|≤3 |x+2|≥3

À l'échelle du trimestre, il apparaît de nombreuses similitudes sur les progressions choisies, toutes les deux très ambitieuses par rapport aux prescriptions officielles puisqu'un travail très important est réalisé

dans le cadre algébrique. Cependant, à l'échelle de la séquence, nous observons des choix communs sur les contenus abordés, mais avec des conceptions différentes sur les objets traités. Les définitions données par les deux professeurs diffèrent, pour Clotilde le cadre est numérique, pour Mathieu c'est l'articulation entre les cadres géométrique et numérique qui permet la définition. En revanche, les deux professeurs choisissent de faire travailler les techniques de résolution de certaines équations et inéquations utilisant des valeurs absolues dans le cadre algébrique en ne suivant pas les prescriptions du curriculum officiel en vigueur. Des praxéologies différentes ont cependant été choisies pour un même type de tâches privilégié par les professeurs et pourtant pratiquement hors programme. Le type de tâches est le suivant : « résoudre une équation (ou une inéquation) du style $|ax+b|=c$ (ou du style $|ax+b|<c$ où les nombres en jeu sont des réels) ». Mathieu privilégie une technique « géométrique » quand Clotilde privilégie une technique « algébrique ». Les interviews avec les professeurs et l'analyse fine des éléments technologiques développés en classe permettent l'identification des logiques de ces professeurs et des raisons profondes qui pilotent leurs choix. Ainsi, cette analyse met au jour des contraintes à différents niveaux de détermination (Chevallard, 1999) :

- Au niveau de la société : ces tâches algébriques complexes mettant en œuvre les valeurs absolues, sont des outils de détection et de sélection des « matheux ». Un même constat avait déjà été fait en Grèce : « *les concepteurs des examens visaient, avec ces exercices [avec valeur absolue] à la fois difficiles et originaux, à maintenir un haut niveau chez les candidats, notamment pour ceux qui préparaient l'école polytechnique* » (Gagatsis & Thomaidis, 1994).
- Au niveau de la discipline : il existe avec la valeur absolue un obstacle épistémologique, dans la mesure où le concept de valeur absolue nécessite de dépasser au moins quatre obstacles, au sens de Brousseau (1983) et de Duroux (1983). Par ailleurs, la valeur absolue, comme toutes les autres notions abordées par les deux professeurs dans les domaines numérique et algébrique, sont travaillées en tant qu'objets et pratiquement jamais comme outils de résolution de problème, contrairement à ce qui est demandé de façon générique dans les programmes de mathématiques.

7.3 La valeur absolue et les apprentissages des élèves

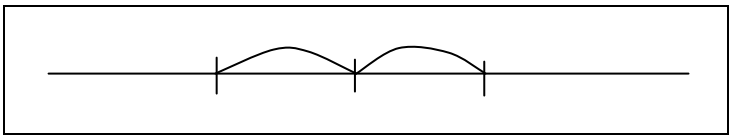
Paradoxalement, les connaissances les plus élémentaires concernant l'objet valeur absolue, ne sont pas maîtrisées par les élèves. Ainsi, trois élèves de Mathieu interrogés le 5 février 2007 lors d'un entretien en dehors de la classe avec le chercheur, n'ont pas su répondre à des questions concernant le concept de valeur absolue. Ces trois élèves sont évalués ainsi par leur professeur : Charly est un élève travailleur mais qui rencontre des difficultés; Anissa est très volontaire, sérieuse et a des résultats moyens; Maël est un très bon élève qui aime les mathématiques et qui aime se confronter à la difficulté.

Chercheur : *« qu'est-ce que vous diriez à un élève qui sort de troisième pour expliquer ce que veut dire la valeur absolue d'un nombre? »*. Charly commence et explique « *je mets le nombre, je fais plus d'un côté et moins de l'autre et ça donne le nombre.* » Le chercheur demande un exemple. [...] Anissa prend la parole pour expliquer ce que signifie que la valeur absolue de x vaut 5 et elle fait un schéma en même temps d'une droite graduée où figurent 0; -5 et 5. Elle dit c'est 5 entre –5 et 5. Le chercheur demande si c'est x ou 5, elle reprend alors et dit que x est entre –5 et 5. Le chercheur lui demande de prendre le nombre +1, alors elle corrige et dit que

valeur absolue de x c'est 5 ou –5. Le chercheur leur demande ce que vaut valeur absolue de 4. Maël répond : « *c'est 4 ou –4* ». Anissa corrige et dit sans parvenir à finir sa phrase « *c'est la distance de x à…* ». Le chercheur demande encore ce qu'est valeur absolue de x. Maël se lance dans une réponse qu'il ne parvient pas lui non plus à achever : « *c'est la distance de x à …* ». Aucun des trois ne parvient à répondre.

Cet entretien confirme l'interprétation sur le manque de sens que les élèves donnent aux techniques employées et aux objets manipulés. Il confirme également l'impact très grand de la technique géométrique de résolution des inéquations comportant une valeur absolue développée dans la classe de Mathieu. La force de cette technique semble résider dans un schème (Vergnaud, 1990) qui résulte de l'association entre :

- une représentation sémiotique visuelle sous la forme d'une icône, dessinée d'ailleurs par Anissa :



- un accompagnement oral : on fait plus d'un côté et moins de l'autre;
- un geste physique de la main pour montrer les deux déplacements de part et d'autre de la valeur médiane, geste réalisé par Charly lorsqu'il a commencé à expliquer cette technique.

Une autre remarque est intéressante également, c'est la prégnance des types de tâches algébriques concernant le thème de la valeur absolue chez les élèves. Le concept lui-même ne semble pas construit, mais il évoque des situations où il apparaît, à partir d'un ostensif sonore "valeur absolue", ou à partir d'un ostensif visuel « les deux barres ». À la question « qu'est-ce que c'est? »; des élèves apportent la réponse « voilà ce que nous faisons d'habitude avec ».

Lors d'un entretien avec 3 élèves de Clotilde mené dans les mêmes conditions le 10 avril 2008 la réponse à la question précédente n'a pas pu être donnée. Nous pouvons remarquer qu'aucun de ces 6 élèves n'a réussi à construire du sens pour ce nouvel objet numérique. En revanche les explications technologiques des professeurs concernant certaines tâches ont marqué la mémoire des élèves. Chez Clotilde les élèves répondent également à mes questions « voilà ce que nous faisons habituellement dans ces exercices où figurent les deux barres verticale s». Des règles technologiques apparues dans les organisations mathématiques viennent envahir l'espace de compréhension des élèves. Il est possible que nous touchions là à un manque dans l'enseignement des mathématiques, voire des sciences en général, à savoir le manque de questionnement du type « qu'est-ce que c'est? ». Pour ces professeurs, le problème de l'enseignement serait d'apprendre aux élèves à faire des choses avec un objet mathématique, et non pas apprendre à se représenter cet objet, à le réifier. Ainsi, *la dialectique outil/objet* (Douady, 1986) semble bien éloignée de ces pratiques. Les objets sont travaillés dans des exercices dont la finalité est l'apprentissage de techniques non fondées sur des raisons d'être, ces objets n'étant pas eux-mêmes questionnés.

Nous remarquons également que les nombres irrationnels servent la cause de la valeur absolue. Ainsi, ce type de nombre est actualisé à l'occasion du travail sur ce thème par les deux professeurs. Les élèves de

Clotilde reproduisent d'ailleurs ce genre d'exemple pour justifier que la question du signe d'une différence a-b de deux nombres donnés soit non triviale. Les irrationnels sont alors de bons candidats pour faire travailler la technique que nous avons appelée *la technique d'inversion* des deux termes de la différence, technique qui a marqué les élèves. Mais ils apparaissent sans autre motivation et sans être questionnés. Ils sont présents de manière mimétique pour rendre problématique l'examen du signe de la différence. La tâche emblématique T aurait pu être réinvestie dans ce contexte, une *reprise* sur la nature des nombres en jeu étant possible, mais les connaissances du numérique ne sont pas convoquées.

7.4 Le filtre du numérique à propos de la valeur absolue

En utilisant *le filtre du numérique*, le travail d'analyse relatif à cet objet valeur absolue chez les deux professeurs Mathieu et Clotilde permet de développer quelques constats. L'espace numérique en seconde est enrichi par rapport au collège grâce à l'apparition de nouveaux éléments :

- **Des objets d'apprentissages nouveaux** par rapport au collège en conformité avec les programmes : les ensembles de nombres, les intervalles, la valeur absolue d'un nombre réel;
- **Un nouvel opérateur** : des types de tâches comme « trouver la valeur absolue d'un nombre donné, d'une expression numérique ou d'une expression algébrique », font fonctionner la valeur absolue comme un opérateur semblable à l'opérateur racine carrée introduit en quatrième;
- **Une dynamique numérico-algébrique** : le nouvel opérateur devient la motivation pour générer des types de tâches qui ne sont plus officiellement au programme, et qui sont « immotivés ». Il s'agit des types de tâches signalés auparavant comme non proposés par le programme, mais pour lesquels les deux professeurs donnent une grande place que ce soit dans ce qu'ils appellent communément le cours, les exercices, les devoirs à la maison et en classe;
- **Des règles du contrat institutionnel** : les tâches proposées comportant des valeurs absolues consistent à supprimer la valeur absolue. Ainsi Clotilde donne cette explication en classe au cours d'une correction d'un exercice qu'elle réalise au tableau dans la séance filmée du 22 octobre 2007 :

  « Le professeur corrige au tableau. Elle écrit l'expression $\left|\sqrt{3}-2\right|+\left|3-2\sqrt{3}\right|-\left|5+\sqrt{3}\right|$. *Elle dit : à l'intérieur de votre valeur absolue, vous avez votre abscisse p moins votre abscisse q là (elle écrit p et q respectivement sous* $\sqrt{3}$ *et sous 2), vous regardez votre soustraction p-q, si p-q est positif, vous pouvez enlever les valeurs absolues, c'est la bonne distance, si p-q est négatif, il faut que vous calculiez, quand vous enlevez la valeur absolue ça devienne q-p, d'accord? Quand vous le faites, vous le faites à la calculatrice, si vous trouvez quelque chose de positif vous ne touchez à rien, si vous trouvez quelque chose de négatif vous inversez votre p et votre q, d'accord? »*

La technique exposée par Clotilde est celle que nous avons dénommée *la technique d'inversion*. Nous trouvons dans cet extrait les éléments technologiques et les types de nombres que les élèves de Clotilde reprennent dans l'entretien. Nous observons que la praxéologie développée est incomplète, en effet l'élément théorique qui sous-tend la technique est la définition donnée dans le cours, mais elle n'est pas citée, elle reste implicite et semble être remplacée par cet autre énoncé : « vous regardez votre soustraction p-q […] si vous trouvez quelque chose de positif vous touchez à rien, si vous trouvez quelque chose de négatif vous

inversez votre p et votre q ». Une autre règle du contrat institutionnel de calcul se dégage : les tâches de calcul numérique engendrées par le travail de la technique sont confiées à la calculatrice (« vous le faites à la calculatrice »). Ainsi, la recherche du signe de l'expression numérique est automatisée en la confiant à la calculatrice, une reprise du travail sur la nature des nombres en jeu, et notamment de T, est alors évitée. Le professeur a choisi l'introduction de nombres irrationnels pour complexifier la recherche du signe de l'expression numérique, mais ne permet pas aux élèves de prendre conscience de ce jeu sur la nature des nombres qui reste dans le topo du professeur.

Une question reste entière pour la recherche, il s'agit de savoir comment la valeur absolue va être travaillée dans les classes de première à partir de la rentrée 2010. Nous postulons que le problème que nous avons identifié relatif à l'enseignement de la valeur absolue en seconde, risque d'être reporté sur la classe suivante. Le changement curriculaire devrait cependant donner davantage d'opportunités pour faire travailler cet objet en particulier dans le cadre des problèmes posés en analyse.

8. Identification d'un problème de la profession

Nous avons posé dans cet article la question de la construction de l'espace numérique construit en classe de seconde. Le problème qui a été observé dans les classes avec les programmes de 1999 est la difficulté de sa mise en place conformément au curriculum officiel. Nous pouvons résumer les demandes institutionnelles par trois demandes qui apparaissent aussi bien comme des contraintes que comme des appuis :

- ne pas faire de révisions systématiques;
- faire des *reprise*s du numérique et de l'algébrique en lien avec les autres cadres en particulier le cadre fonctionnel;
- travailler les notions en tant qu'outils dans des résolutions de problèmes.

Cependant, les choix didactiques des professeurs sont sous l'influence de différents niveaux de détermination didactique :

- au niveau de la discipline, l'ordre d'écriture des programmes qui semble influencer les progressions suivies par les professeurs et par les auteurs des manuels;
- au niveau de l'école, la place de la classe de seconde, comme charnière entre collège et lycée, et de plus passage obligé vers la classe de première S où les difficultés en mathématiques deviennent des handicaps;
- au niveau de la société, la réussite en mathématiques est très souvent la clé pour s'orienter vers des études supérieures. Ainsi, la demande sociale pèse sur les professeurs de lycée, et en particulier sur les professeurs enseignant en première S et terminale S.

D'autre part, les représentations des enseignants, leurs logiques profondes, influencent leurs décisions didactiques. Elles peuvent concerner par exemple leur rapport personnel à l'activité mathématique et aux mathématiques à enseigner, leur perception de l'élève de seconde, leur conception des processus d'apprentissage ou encore leur façon d'expliciter les difficultés des élèves (Larguier, 2005). Dans les deux classes observées, l'activité proposée aux élèves se présente presque toujours sous la forme de notions travaillées en tant qu'objets et pratiquement jamais comme outils de résolution de problème (Douady,

1986). Dans le cadre numérique, les objets sont identifiés par des ostensifs, les tâches sont souvent réduites à des manipulations de ces ostensifs (« *tu mets les racines de trois ensembles* »; « *tu remontes tout en haut* »; « *tu enlèves les petites barres* » éléments technologiques entendus chez Clotilde). Ces mathématiques sont coupées de leurs raisons d'être, des tâches sont travaillées de façon immotivée et font appel au mimétisme. Nous avons constaté également que le langage naturel est totalement absent dans les productions écrites des élèves, alors que ce registre (Duval, 1995) est essentiel dans les processus de conceptualisation. Le travail du numérique est réduit à un travail de manipulation de signes, le raisonnement semble absent de ce domaine tout comme des tâches d'explicitation comme celles posées aux élèves sur la notion de valeur absolue.

9. Conclusion

Ce sont des difficultés du côté des élèves qui sont identifiées par Mathieu et par les professeurs en général. Mais les mathématiques à enseigner, en particulier concernant le numérique n'apparaissent pas comme étant problématiques pour le professeur. Un objectif de ce travail est de transformer ce constat de difficultés vécues par les élèves en *problème de la profession* qui se pose à l'enseignant, dans un processus de changement de point de vue tel qu'il est proposé par Cirade dans sa thèse (2006) menée dans le cadre des développements de la théorie anthropologique de la didactique par Chevallard.

Pour revenir au domaine spécifique du numérique, en utilisant *le filtre du numérique* nous avons analysé les éléments de l'espace numérique élaboré en seconde. Nous avons souligné le rôle du type de tâches T emblématique du numérique qui est le repérage de la nature des nombres rencontrés dans l'activité mathématique afin de déterminer la forme d'écriture la plus adaptée par rapport au contexte dans lequel le nombre apparaît. Nous avons alors recherché des lieux du programme de seconde où cette tâche pouvait être *reprise*. C'est ainsi que les thèmes de la valeur absolue et de la trigonométrie (cas non abordé dans cet article) ont été analysés comme étant ces habitats possibles mais évités par les enseignants observés.

Ces constats nous amènent à poser des questions sur les connaissances que les professeurs devraient pouvoir mettre en œuvre pour ne pas passer à côté de nouvelles rencontres concernant le numérique. Nous identifions des connaissances épistémologiques spécifiques des mathématiques enseignées, ce que Chevallard appelle épistémologie scolaire (Chevallard, 2004). Nous pourrions formuler cela également en disant que ce sont des connaissances liées à la prise de conscience du processus de transposition didactique entre le savoir de référence et le savoir à enseigner (Chevallard & Joshua, 1991).

Voici un exemple de ces connaissances du professeur : ce sont des connaissances sur les processus de conceptualisation des notions enseignées. Les professeurs devraient savoir anticiper les conceptions qui vont se développer en lien avec les organisations mathématiques choisies. Nous avons vu par exemple comment le concept de valeur absolue n'est pas construit chez les élèves qui n'ont retenu que des bribes de praxéologies mises en place. Cela suppose que les professeurs connaissent également l'existence d'obstacles épistémologiques et didactiques qui ont été repérés dans les recherches. Un exemple concerne la valeur absolue, l'appropriation de ce concept par les élèves nécessite de dépasser au moins 4 obstacles (Brousseau, 1983; Duroux, 1983). Si les professeurs repèrent bien la difficulté d'apprentissage de la notion, ils n'ont en général pas pris conscience de la nature des difficultés. Mais comment pourraient-ils acquérir ces

connaissances produites par les recherches en didactique sans une formation initiale et continue plus conséquentes? Nous touchons là à des conditions au niveau de la société, et à des choix politiques.

Références

Bronner, A. (1997). *Etude didactique des nombres réels, idécimalité et racine carrée.* Grenoble: Thèse de doctorat, Université J. Fourier.

Bronner, A. (2007). *La question du numérique : Le numérique en questions.* Mémoire d'HDR, université Montpellier II.

Bronner, A. (2001). Les nombres réels dans la transition collège-lycée : rapports institutionnels et milieux pour l'apprentissage. *Actes du séminaire national de diactique.* IREM Paris 7.

Brousseau, G. (1983). Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques. *Recherche en didactique des mathématiques* , pp. vol. 4.2, p. 164-198.

Brousseau, G., & Centeno, J. (1991). Rôle de la mémoire didactique de l'enseignant. *Recherches en didactique des mathématiques , Vol. 11* (23).

Bucheton, D. (2009). L'agir enseignant : des gestes professionnels ajustés. Octarès.

Chevallard, Y. (1997). Familière et problèmatique la figure du professeur. *Recherche en didactique des mathématiques* , p. vol17/3.

Chevallard, Y. (1999). Organiser l'étude. Cours 3. Ecologie et régulation. *Actes de la Xème Ecole de didactique des mathématiques.* Corps: La pensée sauvage.

Chevallard, Y. (2000). *Enseignement insensé, enseignement raisonné et créativité sociale.* Consulté le aôut 2008, sur www.aix-mrs.iufm.fr/formations/filieres/mat/fdf/textes/YC_2000_Maths_sans_fronti%E8res.doc.

Chevallard, Y. (2004). La place des mathématiques vivantes dans l'éducation secondaire : transposition didactique des mathématiques et nouvelle épistémologie scolaire. *Actes de la troisième université d'été Animath.* Saint Flour.

Chevallard, Y. (2007). Passé et présent de la Théorie Anthropologique du Didactique. Dans *Sociedad, escuela y matematicas, Aportaciones de la Teoria Antropologica de lo Didactico (TAD).* Jaen: Publicaciones de la Universidad de Jaen.

Chevallard, Y., & Joshua, M.-A. (1991). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné.* Grenoble: La Pensée Sauvage (2e édition revue et augmentée).

Cirade, G. (2006). Devenir professeur de mathématiques : entre problèmes de la profession et formation en IUFM. Thèse de doctorat, Université Aix-marseille 1.

CNDP. (2000). Document d'accompagnement du programme de mathématiques de la classe de seconde.

Douady, R. (1986). Jeux de cadre et dialectique outil-objet. *Recherche en didactique des mathématiques* , p. Vol.7/2.

Duroux, A. (1983). La valeur absolue : difficultés majeures pour une notion mineure. *Petit x n°3* .

Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine.* Peter Lang S. A.

Gagatsis, A., & Thomaidis, I. (1994). Une étude multidimensionnelle du concept de valeur absolue. Dans *Vingt ans de didactique des mathématiques en France* (pp. 343-348). La pensée sauvage.

Larguier, M. (2005). Les reprises des domaines numérique et algébrique en classe de seconde. Mémoire de DEA, Université Montpellier II.

Larguier, M., & Bronner, A. (2004). Symposium coordonné par Bucheton D. : Analyse didactique de la séance "carte de géographie". *actes du colloque international de l'AIRDF.* Québec.

Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 10/1.2, p. 133-170.

L'ENSEIGNEMENT DE LA TECHNOLOGIE AU SECONDAIRE : ANALYSE D'UN COURS SUR L'APPRENTISSAGE DU SCHÉMA DE PRINCIPE[1]

Fatima Bousadra, Abdelkrim Hasni, Dominique Lefebvre
et Jean-Marc Drouet
CREAS, Université de Sherbrooke

INTRODUCTION

Lors de la récente réforme scolaire au Québec, le programme de formation au premier cycle du secondaire a connu une profonde restructuration. Parmi les changements apportés, l'intégration des sciences et technologies en une seule discipline (ST)[2]. Cette intégration amène des changements majeurs à l'enseignement de la technologie. D'abord, d'un point de vue curriculaire, d'un programme appelé Initiation à la technologie inscrit dans la grille-matières parmi les cours obligatoires de troisième secondaire, on passe à un champ appelé Univers technologique intégré aux champs scientifiques dans une même discipline scolaire : la science et technologie. Les contenus disciplinaires ont également été revisités. Ils sont désormais organisés autour de deux principaux constituants : les compétences disciplinaires, au nombre de trois[3], et les contenus de formation, composés essentiellement de concepts prescrits, mais aussi d'autres apprentissages regroupés en stratégies, techniques et attitudes.

Sur le plan de la formation, l'enseignement de la technologie est pris en charge majoritairement par des enseignants de sciences qui n'ont pas reçu de formation en technologie. Par ailleurs, ce dernier champ a souvent été associé dans le passé au développement d'habiletés manuelles ou de savoir-faire pratiques (commission des programmes d'études, 1998). Ces éléments combinés interpellent l'enseignement des contenus technologiques. Rappelons, à titre d'exemple, que la Commission des programmes d'études (1998) prévenait déjà contre plusieurs risques : «compte tenu de la plus faible valorisation dont jouit la technologie, le risque est grand que l'intégration de cette dernière aux programmes de sciences ne soit pas assumée entièrement » (CPE, 1998).

---

[1] Ce texte a été produit dans le cadre du projet Perfectionnement des compétences en enseignement des sciences, technologies et mathématiques du personnel enseignant, financé par le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG, Hasni *et al.*, 2005-2011, nº 319745-2005).

[2] Le nouveau programme de science et technologie (ST) regroupe en une seule discipline divers champs disciplinaires, « soit la géologie, l'astronomie, la biologie, la physique, la chimie et les technologies. Ils sont regroupés en une seule discipline – science et technologie – qui met en relation ces champs du savoir dans le cadre de problématiques liées à l'univers matériel, à l'univers vivant, à l'univers technologique, de même qu'à la Terre et à l'espace » (MELS, 2006, p.269).

[3] Ces compétences sont : 1) Chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique; 2) Mettre à profit ses connaissances scientifiques et technologiques; 3) Communiquer à l'aide des langages utilisés en science et technologie.

Dans ce texte, nous nous intéressons à un contenu de formation essentiel en technologie qui fait partie de la communication technique, le schéma de principe. Le programme de formation de l'école québécoise l'aborde dans deux de ses composantes : Celle des concepts prescrits et celle des techniques[4] propres au champ technologique. Comme concept prescrit, le schéma de principe fait partie de la trame d'un concept général, appelé ingénierie. Comme technique, ce schéma s'inscrit sous la rubrique de la communication graphique avec d'autres : « dessin; lecture de plans; schématisation; utilisation d'échelles; utilisation d'instruments de dessin » (MELS, 2006, p.290).

Dans cette étude, nous abordons l'enseignement de ce contenu du point de vue des pratiques d'enseignement en classe en considérant les aspects suivants : Quelles conceptions ont les enseignants de cette notion? Les tâches et les rôles proposés aux élèves font-ils références aux pratiques de références? Comment les enseignants amènent-ils les élèves à s'approprier ces schémas? Quelles ressources didactiques sont utilisées pour enseigner cette notion et comment sont-elles utilisées?

Le texte se divise en cinq sections. Dans la première, nous présentons les différents éléments qui orientent la recherche. Dans la deuxième nous rappelons le cadre d'analyse qui la sous-tend. La troisième partie présente les éléments méthodologiques. Les deux dernières sections sont consacrées respectivement à la présentation et à la discussion des résultats.

1. LA PROBLÉMATIQUE DES GRAPHISMES TECHNIQUES ET DE LEUR ENSEIGNEMENT

Les écrits sur la communication technique, classent le schéma de principe dans une catégorie plus générale, celle des graphismes techniques. Ceux-ci sont en effet des vecteurs de la communication technique considérés comme des outils sémiotiques couramment utilisés dans les différentes activités industrielles notamment la conception et la fabrication (Doulin, 2001). De manière générale, un graphisme technique est défini comme un dispositif sémiotique (un code) qui permet de produire des représentations externes de réalités techniques (objets, système, processus, etc.) matérialisées graphiquement (Vérillon, 2001).

Si les graphismes techniques sont des outils incontournables pour décrire un objet, un système ou un processus technique, plusieurs auteurs montrent que leur usage ainsi que l'apprentissage de leur décodage dans les situations d'enseignement posent plusieurs défis aux enseignants, et ce, tant dans les formations techniques, professionnelles que dans les sciences de l'ingénieur. Le premier défi est d'ordre épistémologique. En effet, l'établissement d'une typologie générale des graphismes techniques et la prise en compte de toutes les formes graphiques sont presque impossibles[5] (Doulin, 2001; Hamon, 2009). Cette

[4] Le programme de formation de l'école québécoise (PFEQ) définit ces techniques comme étant celles qui « renvoient à des procédés méthodiques qui balisent l'application efficace de connaissances théoriques » (MELS, 2006, p.290).

[5] Cette difficulté a amené certains auteurs à noter que lors de l'apprentissage de ces graphismes, les élèves se retrouvent face « à un véritable herbier des graphismes …avec des *plantes* dûment connues, répertoriées, standardisées, normalisées, mais aussi ses nombreuses *herbes folles*, hybrides dont la forme et l'usage varient au gré des utilisateurs, des impératifs commerciaux ou des modes pédagogiques» (Doulin, 2001, p.98).

difficulté s'explique d'abord par la grande diversité des champs de référence industriels. En ce sens, dans une enquête sur les graphismes techniques, Doulin (2001) montre que leurs origines sont très diverses. Il identifie six grands domaines sources de ces graphismes : mécanique, électrotechnique, électronique, informatique, automatique et pneumatique. Ainsi, si on considère, d'une part, que chaque domaine a sa propre logique pour représenter ses systèmes réels et d'autre part, que les graphismes techniques sont « d'abord des descripteurs d'un produit industriel tout au long de sa vie du berceau à la tombe (conception, réalisation, utilisation, évolution, maintenance, réforme, recyclage, valorisation, élimination[6]) (p. 98), on saisit la difficulté de l'intégration dans l'enseignement de cette grande diversité des structures des graphismes techniques[7].

Sur le plan cognitif, les auteurs soutiennent que la lecture et l'écriture des graphismes techniques font appel à des processus différents en ce sens qu'ils sont le support de représentations renvoyant à la schématisation, à la symbolisation, à l'abstraction et à la transformation (Rabardel, 1995, Rabardel et Weill-Fassina, 1992, Vérillon, 1996, 2001). Plusieurs travaux francophones ont montré que les problèmes que pose la manipulation de ces graphismes ne se limitent pas à une identification des formes, mais sont essentiellement liés à leur interprétation en fonction des exigences de la situation représentée. Dans le cas du dessin technique par exemple, les travaux de Rabardel et Weill-Fassina (1987, 1992) et Vérillon (1996) mettent en évidence la multiréférentialité des champs impliqués lors de l'assimilation de la lecture et de l'écriture du dessin technique. En effet, ces auteurs montrent que les connaissances mobilisées dans la lecture et l'écriture du dessin technique relèvent de trois champs conceptuels[8] : le technologique, le sémiologique et le géométrique. Le champ technologique renvoie aux connaissances des objets techniques, des techniques et des modes de production. La dimension sémiologique ou le code est l'ensemble des signes et de leurs significations ainsi que les règles qui régissent leurs relations. Finalement, la géométrie renvoie à tous les aspects de l'analyse de la représentation géométrique des artefacts (représentation des formes d'objets techniques réels en fonction de solides géométriques de référence : sphère, cône, cylindre, tore; les propriétés géométriques des différentes formes, etc.) (Vérillon, 1996, 2001).

Si d'autres graphismes techniques, comme le schéma de principe, le schéma cinématique et les graphes fonctionnels, n'engendrent pas la composante géométrique, les résultats de plusieurs recherches empiriques vont dans le même sens. Doulin (2001) dans une recherche portant sur 373 élèves de niveau classe seconde option TSA[9], répartis sur quatre établissements et 12 enseignants soutient que de manière générale, face à

---

[6] Souligné par l'auteur.

[7] Dans l'enquête citée, l'auteur recense 28 types de graphismes différents. Citons à titre d'exemple : le schéma d'agencement des composants électrotechniques, le schéma des liaisons cinématiques, le schéma électronique, le schéma pneumatique, le schéma des opérations logiques (algorigramme), schéma de structure logique d'un système (logigramme), etc.

[8] C'est la terminologie utilisée par ces auteurs pour désigner ces champs de référence.

[9] Technologie des systèmes automatisés.

différents types de graphismes techniques[10], les élèves font face aux difficultés suivantes : la dénomination exacte des graphismes, l'association d'un graphisme à la description précise de la partie du système qu'il représente et la méconnaissance de la fonction exacte des graphismes. L'auteur relève que cette dernière difficulté se retrouve même chez des enseignants chevronnés.

Plus récemment, dans une synthèse des recherches empiriques qui ont porté sur les graphismes techniques durant les quinze dernières années en France, Hamon (2009) souligne que si maints travaux ont mis en évidence l'importance d'amener les élèves à donner un sens aux graphismes techniques et à construire une représentation des propriétés d'un objet ou système réel souvent absent, la tendance est encore de croire qu'il « suffirait aux apprenants de connaître la symbolique pour réussir. Cela se traduit par l'apprentissage privilégié des différents signes et normes d'écriture au détriment d'activités représentatives et conceptuelles pourtant indispensables à la maitrise des activités de lecture et d'écriture des langages techniques » (Hamon, 2009, p. 50). C'est ainsi que le schéma fonctionnel dans le cadre d'une situation de conception de produit industriel passe du statut d'outil d'aide à la conception à un statut d'objet de connaissance à finalité formelle (Prudhomme, 2002 dans Hamon, 2009).

Dans le même sens, Vérillon (2001) pointe la non-adéquation des situations didactiques proposées aux élèves en regard de la communication graphique en général. Ainsi, note-t-il, rares sont les situations où les élèves assument réellement les rôles d'un destinateur et un destinataire et réfléchissent sur la conduite d'un processus de communication. D'une part, ce sont généralement les enseignants qui proposent les productions graphiques qu'il faut manipuler, et d'autre part, les élèves produisent des graphismes dont ils sont les propres destinataires. Ce type de situations contribue à donner à ces graphismes un caractère scolaire non signifiant où l'usage perd son sens.

En somme, si les graphismes techniques ont fait l'objet de plusieurs études, deux constats sont à souligner :

1) Dans un contexte où, dans de nombreux pays, comme dans la plupart des états des USA, la technologie n'est pas encore généralisée dans l'enseignement obligatoire, les écrits sur son enseignement sont surtout tournés vers la contribution au débat sur sa légitimité, en apportant des preuves de son intérêt (Lebeaume, 2004)[11]. De plus, on souligne le peu de recherches qui s'intéressent à la spécificité des contenus technologiques (*Ibid.*). La National Academy of Engineering et le National Research Council (2002) déplorent le manque de recherches sur les modes d'appropriation des concepts technologiques au primaire et au secondaire : « Unfortunately, there is very little information about how children learn

[10] Les graphismes retenus dans cette étude sont : le GRAFCET (graphe fonctionnel de commande-étape-transition), l'algorigramme (schéma des opérations logiques), chronogrammes (schéma de comportement temporel), le logigramme (schéma de structure logique d'un système), graphe fonctionnel (schéma fonctionnel d'un système), schéma cinématique (schéma des liaisons cinématiques), schéma électrique (schéma d'agencement des composants électrotechniques), schéma pneumatique (schéma d'agencement des composants pneumatiques).

[11] Dans sa synthèse, Lebeaume (2004) s'est appuyé sur une revue de 240 articles publiés entre 1995 et 2002 dans trois revues anglophones[11] dédiées à l'éducation technologique. Ces revues sont : *Journal of Technology Studies (JTS), Journal of Technology Education (JTE), International Journal of Technology and Design*.

concepts in technology and how, or whether, that learning differs from other types of cognition [...] Studies of engineers and engineering students have focused on two areas of learning relevant to technology literacy : problem solving and design » (p.57).

2) Les recherches francophones ayant pour objet les graphismes techniques ont principalement porté sur un nombre limité de graphismes (dessin technique[12] et langages d'automatismes) (Doulin, 2001, Hamon, 2009). Par ailleurs, les recherches recensées s'intéressaient principalement aux formations supérieures de techniciens et aux études universitaires en génie. Elles ont très peu porté sur les relations entre ces contenus et les processus d'enseignement-apprentissage mis en œuvre. Notre analyse vise ainsi à apporter une contribution à ces recherches en considérant l'analyse des pratiques d'enseignement en classe lorsqu'il s'agit d'enseigner un type particulier de graphismes techniques, à savoir le schéma de principe.

2. LES GRAPHISMES TECHNIQUES : UN CADRE D'ANALYSE POUR ABORDER LES MODALITÉS DE LEUR ENSEIGNEMENT

Lorsqu'on consulte les écrits sur les graphismes techniques et leur enseignement, on retient deux dimensions essentielles à considérer lors de la lecture et de l'écriture de tout graphisme technique. La première renvoie à la fonction de ces graphismes et la deuxième à leur structure qui dépend de la nature du champ de référence et de ses exigences.

2.1 Les fonctions des graphismes techniques

Si les graphismes techniques ont connu une grande évolution13 qui a conduit à leur diversité, ils partagent encore les visées suivantes: 1) ils sont un moyen de conservation d'informations en ce sens que celles-ci demeurent disponibles pour un usage ultérieur; 2) ils sont un moyen de communication qui peut avoir une fonction soit descriptive de renseignements par rapport à un objet référent ou prescriptive dans le cas où le graphisme s'inscrit dans un rapport de donneur d'ordres à exécutant ou de fabricant à client (Vérillon, 2001, Doulin, 2001). Toutefois, malgré cette diversité, chaque graphisme s'inscrit dans la culture technique du champ qui lui a donné naissance et possède une fonctionnalité particulière. Par exemple, un dessin technique permet une représentation spatiale des formes géométriques exactes, des dimensions et des spécifications fonctionnelles d'un objet technique alors qu'un schéma de principe est moins normalisé et décrit le fonctionnement de l'objet.

Si tout graphisme a une fonction d'illustration, car il est une représentation d'un objet ou d'un système technique, les graphismes techniques se distinguent par une centration sur la réalisation des tâches

[12] La lecture et l'écriture du dessin industriel ont été l'objet d'une longue tradition de recherche depuis les années 60 en France. Ce sont d'ailleurs ces travaux qui ont fondé l'approche instrumentale (Rabardel et Weil Fassina, 1987, 1992, Vérillon, 1996, 2001).

[13] L'évolution des graphismes techniques a été marquée par l'apparition de nouveaux champs de la production industrielle comme la maintenance industrielle, la gestion de production, l'analyse de valeur, etc. De plus, l'évolution rapide des nouvelles technologies (informatique industrielle, la robotique, l'électronique, etc.) ainsi que le développement de l'approche systémique et ses outils d'analyse des systèmes complexes a conduit à la diversité des outils de communication entre techniciens (Doulin, 2001, Hamon, 2009).

techniques sur l'objet schématisé dans un cadre de travail ou de formation (Rabardel et Weill-Fassina, 1992). Par exemple en électricité, les schémas blocs, indiquant les principaux modules d'un appareil électrique, sont un outil nécessaire à l'ingénieur de conception. Le schéma électrique permet au technicien d'analyser et de décrire dans le détail le fonctionnement de l'appareil. Le schéma de câblage, présentant tous les éléments, leurs liaisons et leur disposition, est destiné à ceux qui implanteront les composants et feront le câblage (*Ibid.*). Pour Rabardel et Weill-Fassina (1992), les graphismes techniques sont des langages opératifs qui ont pour fonctions : 1) la production de figures graphiques servant à anticiper l'objet lors de la conception; 2) l'utilisation dans des tâches relatives à l'objet (fabrication, montage, maintenance) ou relatives à une transformation de l'information (produire un autre dessin, transcrire l'information dans un autre code) (*Ibid.*)

Ainsi, deux principaux attributs sont à retenir : 1) un graphisme technique est nécessairement porteur d'informations guidant la réalisation des tâches relatives à la phase et au domaine auxquels il est dédié; 2) il agit comme médiateur entre deux individus (outil de communication) ou entre l'individu et l'objet référent en ce sens qu'il est une représentation du réel selon un point de vue particulier (Géronimi, De Vries, Prudhomme et Baillé, 2005).

2.2 Le cas du schéma de principe

Les écrits sur les graphismes les classent en trois familles : les graphes et schémas, les diagrammes et tableaux et les graphismes hybrides mêlant les deux familles précédentes (Doulin, 2001, Hamon, 2009). Le schéma de principe fait partie de la première famille. Il a pour fonction d'expliquer le fonctionnement d'un système technique réel. Il représente les composantes principales et les liaisons importantes de l'objet ou du système. Sa présentation peut comporter plusieurs schémas de complexité croissante. Comme toute représentation schématique, il ne faut pas perdre de vue que la structure d'un schéma de principe est une simplification de la réalité qui permet de distinguer l'essentiel de l'accessoire. Selon Reynolds (1995), lors de la présentation d'un schéma de principe, « les deux écueils à éviter sont l'excès de simplification qui dénature la réalité et l'excès de complexité qui la rend inintelligible. La démarche doit donc être itérative » (*Ibid.*, p.2). De plus, ce schéma se distingue de la plupart des dessins par un moindre souci de rigueur graphique. Il est souvent fait à main levée et peut faire appel à des codes ou symboles. Ceux-ci dépendent du domaine considéré (mécanique, électrique, électronique, etc.). Sa mise en forme ultérieure ne vise qu'à améliorer la reproduction du document.

En synthèse, le tableau 1[14] ci-dessous, présente des points de repère à considérer pour saisir la notion du schéma de principe.

[14] Ce tableau découle d'une adaptation de la manière d'opérationnaliser la définition d'un graphisme technique en général (Hamon, 2009) au cas particulier du schéma de principe.

Points de repère à considérer pour aborder la notion de schéma de principe	
Quoi?	Un schéma de principe est un outil permettant de décrire le fonctionnement d'un objet ou d'un système réel ou imaginé
Pourquoi?	Pour communiquer et s'assurer de la conservation de l'information
Comment?	À l'aide de figures réalisées à main levée en ayant recours à des symboles
Par qui?	Les concepteurs qui imaginent et conçoivent des systèmes
Pour qui?	D'autres concepteurs ou des opérateurs qui mettent en œuvre le système
Où?	Principalement dans le domaine des génies techniques (génie mécanique, électrique, civil, etc.)
Quand?	Surtout au début du cycle de vie d'un produit (conception)

Tableau 1. Points de repère à considérer pour aborder la notion de schéma de principe

3. LE CADRE MÉTHODOLOGIQUE

C'est une étude de cas de quatre enseignantes abordant avec leurs élèves de la 2e année de secondaire l'enseignement du schéma de principe dans le cadre d'un projet appelé Éolocar qui est considérée dans ce texte. Bien que les quatre enseignantes soient parties d'un même projet initial, chacune d'elles l'a adapté plus ou moins différemment.

Rappelons par ailleurs que dans le cadre de l'accompagnement des enseignants de sciences et technologie pour l'appropriation du programme, le ministère a mis à la disposition des enseignants des formations pédagogiques et disciplinaires à travers le Centre de développement pédagogique (CDP)[15]. En lien avec les graphismes techniques, le CDP a élaboré un document à l'intention des enseignants de ST. Ce document, sur lequel nos sujets se sont appuyés comme référence conceptuelle, traite des schémas de principe et de construction. Une copie de ce document se retrouve à l'annexe 1.

3.1 Description du projet Éolocar

Il s'agit d'un concours au sujet de la construction d'un véhicule avec les exigences suivantes : 1) le véhicule doit être capable de se déplacer grâce à un ventilateur; 2) il doit déplacer une masse m; 3) il doit se déplacer en ligne droite; 4) il doit s'arrêter à une cible située à une distance *d* du ventilateur; 5) il doit avoir des dimensions qui lui permettent de rentrer dans une boite à chaussures (dimensions imposées); 6) il doit être réalisé avec des matériaux et du matériel imposé par l'enseignante; 7) le prix du matériel utilisé ne doit pas dépasser 5 $. La formule utilisée pour déterminer le véhicule gagnant est : $p= m^2/d$; m étant la masse déplacée en grammes, d est la distance entre les roues avant du véhicule et la cible. Les enseignantes ont mis

[15] Depuis 2006, Le CDP est l'organisme mandaté par le ministère pour « la formation et le soutien aux formateurs-accompagnateurs des commissions scolaires et des établissements scolaires privés. Agissant au niveau régional, ces équipes assurent à leur tour la formation, l'accompagnement et le soutien, en science et technologie, auprès du personnel scolaire des commissions scolaires de leur région ». Site officiel du CDP (http://www2.cslaval.qc.ca/cdp/pages/presentation.html)

en œuvre ce projet avec quelques variantes au niveau des dimensions, du prix et de la distance du ventilateur.

3.2 Le recueil des données

Les données recueillies proviennent de trois sources :

1) L'observation des enseignantes par enregistrement vidéo. Chaque enseignante était invitée à enregistrer des périodes de son choix. Finalement, chacune d'elles a enregistré des périodes incluant celle durant laquelle elle a traité la notion du schéma de principe.
2) Chaque enregistrement vidéo est précédé d'une entrevue qui permet de recueillir les données en lien avec la planification de la période enregistrée mais également de celles qui la précédent et la suivent. Cette entrevue a porté sur les aspects suivants : les visées sur le plan des savoirs disciplinaires poursuivis par la situation observée, le déroulement prévu, les tâches des élèves et de l'enseignante, les difficultés anticipées au regard des savoirs visés, les approches d'enseignement et les ressources didactiques utilisées. À la fin de chaque période, une entrevue est réalisée afin d'amener l'enseignante à faire un retour sur l'activité observée. Tous les enregistrements (audio et vidéo) ont été transcrits intégralement aux fins d'analyse.
3) Les planifications écrites des enseignantes ainsi que des copies de travaux d'élèves.

4. LES RÉSULTATS

Nous présentons les résultats en deux temps. En premier, nous décrirons brièvement le portrait général des séquences d'enseignement en considérant les aspects suivants : 1) le déroulement général du projet; 2) les étapes structurant le déroulement des périodes d'enseignement enregistrées; 3) le temps effectif consacré à l'enseignement du schéma de principe; 4) les modalités d'organisation de la classe, ainsi que les ressources utilisées par les élèves et les enseignantes (nature de ces ressources et modalités de leur utilisation). Cette analyse s'appuie sur l'observation des enregistrements vidéo et les entrevues préenregistrement. La deuxième partie des résultats sera consacrée à l'analyse fine des moments dédiés à l'enseignement du schéma de principe.

4.1. Description générale du projet mis en œuvre

Afin de situer les séquences analysées, le tableau 2 décrit sommairement l'ensemble des étapes du déroulement du projet Éolocar mis en œuvre par les enseignantes ainsi que la durée en périodes consacrées au projet. Ces étapes sont, selon les enseignantes : l'introduction ou l'amorce du projet, la conception du véhicule, la réalisation ou la construction du véhicule, les essais et la compétition. Les cases encadrées correspondent aux périodes retenues par les enseignantes pour aborder la notion du schéma de principe. Ce sont ces périodes qui ont été enregistrées à la demande des enseignantes.

Enseignantes	1re période	2e période	3e période	4e période	5e période
JULIE	Amorce du projet et début de la conception	Conception et réalisation	Réalisation	Essais et Compétition	-
SUZANNE	Amorce du projet et début de la conception	Conception et réalisation	Réalisation	Essais Compétition	-
HÉLÈNE	Amorce du projet et début de la conception	Conception	Réalisation	Réalisation et essais	Essais Compétition
MANON	Amorce du projet et début de la conception	Conception et réalisation	Réalisation	Réalisation et essais	Essais Compétition

Tableau 2- Description du déroulement du projet Éolocar

On peut noter que la structure du projet est globalement semblable chez toutes les enseignantes avec une période de plus chez HÉLÈNE et MANON qui ont accordé plus de temps aux élèves pour la réalisation de leur véhicule. JULIE et SUZANNE traitent du schéma de principe à la première période après l'amorce du projet. Les élèves sont invités à réfléchir à la conception de leur véhicule et à faire le schéma de principe des solutions retenues. HÉLÈNE et MANON ont choisi la deuxième période pour traiter la notion du schéma de principe au moment de la conception. Ci-dessous, un exemple d'extrait de l'entrevue préenregistrement d'HÉLÈNE justifiant son choix :

Là, ils vont se rendre compte que, pour continuer le projet, ils ont besoin de savoir c'est quoi le schéma de principe. On va comme faire une petite parenthèse pour aller voir qu'est-ce que c'est. Puis, ensuite, on va retourner l'appliquer. HÉLÈNE en entrevue préenregistrement.

Par ailleurs, on peut remarquer que peu importe le nombre de périodes consacrées au projet et la durée accordée à la notion du schéma de principe, celle-ci est enseignée au moment de la conception.

4.2. Description du déroulement général de chaque période

Le déroulement général consiste à repérer les différentes étapes qui structurent une période d'enseignement. Le repérage des étapes s'appuie sur deux éléments : 1) la description du déroulement comme annoncé par l'enseignante lors de l'entrevue préenregistrement; 2) Les transitions annoncées par les enseignantes au moment de l'observation du cours, repérées par les chercheurs. Pour chaque étape repérée, nous décrivons de manière synthétique le contenu et les aspects du schéma de principe traités (Tableau 3). Rappelons que lors des entrevues préenregistrement, les enseignantes étaient invitées à préciser les visées d'apprentissage de chacune des périodes. Pour les quatre enseignantes, le schéma de principe est un objectif principal d'apprentissage poursuivi dans les périodes enregistrées.

	Étapes du cours observées	Contenu de la séquence	Aspect traité du schéma de principe	Savoirs essentiels visés annoncés par l'enseignante
		JULIE		
1	Amorce du projet (Grand groupe GG) (12mn)	Présentation du concours et de l'objet à concevoir Clarification des exigences et des contraintes Explication des critères de la compétition	Aucun	Schéma de principe : *J'aimerais qu'ils comprennent en fin de compte, qu'est-ce que les mouvements de rotation, de translation, qu'est-ce qu'une force.*
2	Présentation des critères d'évaluation du travail de l'élève (GG) (7mn)	Explicitation des critères d'évaluations du projet : démontrer la compréhension de la tâche; faire le schéma de principe du véhicule et le construire	Aucun	
3	Explication de la formule de performance (GG) (4mn)	Introduction de la formule utilisée pour déterminer le gagnant du concours. Explication des paramètres de la formule: $p=m^2/d$	Aucun	
4	Explication des modalités de déroulement du projet (5mn)	Clarification des différents rôles dans la gestion des responsabilités dans l'équipe	Aucun	
5	Présentation du problème de la pince à linge (3mn)	L'enseignante remet aux élèves des pinces à linge et leur demande de faire leur schéma de principe en précisant les ressources disponibles pour chercher la définition et les codes pour représenter ce schéma	Distinguer force et mouvement Comment représenter les forces et les mouvements?	
6	Résolution du problème de la pince à linge (EQ) (22mn)	En équipes de quatre, les élèves dessinent le schéma de principe en consultant la page du manuel indiquée par l'enseignant		
7	Retour en GG (6mn)	Explication du déroulement de la suite du projet	Aucun	
		SUZANNE		
1	Amorce du projet (GG) (11mn)	Présentation du concours et de l'objet à concevoir Clarification des exigences et des contraintes Explication des critères de la compétition	Aucun	Schéma de principe : *Je vise à ce qu'ils aient bien détaillé les mouvements de rotation et de translation. Donc, les mouvements dans le schéma de principe, les forces qui s'appliquent également, puis, s'ils sont en mesure de me définir le schéma de principe, selon une vue ou deux vues.*
2	Présentation des critères d'évaluation du travail de l'élève (4min) (GG)	Explicitation des critères d'évaluations du projet Démontrer la compréhension de la tâche demandée, faire le croquis du véhicule, faire le schéma de principe présentant obligatoirement des forces et des mouvements	Aucun	
3	Explication de la formule de performance (3min) (GG)	Introduction de la formule utilisée pour déterminer le gagnant du concours et explication des paramètres de la formule: $p=m^2/d$	Aucun	
4	Présentation du travail demandé autour du schéma de principe (2mn) (GG)	Introduction du schéma en principe à travers un travail de recherche à faire par les élèves en équipe en utilisant le manuel: Compléter deux pages d'un document remis par l'enseignant : 1) je comprends la tâche, 2) le schéma de principe du véhicule	Comment représenter les forces et les mouvements?	
5	Conception du véhicule (EQ) (38mn)	Faire le schéma le schéma de principe du véhicule à construire et commencer la construction	Comment représenter les forces et les mouvements?	

		MANON		
1	Exploration des éléments constitutifs du véhicule à construire (GG) (4mn)	L'enseignante guide les élèves pour trouver des solutions qui répondent au cahier des charges Elle dessine sur le tableau une solution finale et demande aux élèves de trouver les forces et les mouvements impliqués	Comment représenter les forces et les mouvements?	Schéma de principe et forces : *Ça va être le schéma de principe avec les forces. C'est surtout ça. Le reste du cours, il va y avoir plus de la construction. J'aimerais que suite au schéma de principe, ils soient capables de faire des liens entre les forces qu'ils vont être capables d'identifier, puis, dans leur construction, être capables d'en tenir compte.*
2	Travail de recherche en équipe (EQ) (2mn)	Les élèves consultent le manuel pour trouver comment représenter les forces et les mouvements dans un schéma de principe	Comment représenter les forces et les mouvements?	
3	Retour sur le dessin d'un schéma de principe en grand groupe (GG) (5mn)	L'enseignante valide les réponses des élèves	Comment représenter les forces et les mouvements?	
4	Discussion autour des erreurs de conceptions (GG) (3mn)	L'enseignante rappelle les différentes erreurs possibles de conception en se référant aux autres classes	Aucun	
5	Présentation du matériel disponible pour la construction (GG) (3mn)	L'enseignante présente le matériel disponible au laboratoire et rappelle les règles de sécurité	Aucun	
6	Travail d'équipe autour de la construction du véhicule (16mn)	Les élèves construisent leur véhicule	Aucun	
		HÉLÈNE		
1	Présentation d'un travail de recherche (GG) (2mn)	L'enseignante remet un document à compléter aux élèves en indiquant les pages du manuel à consulter	Qu'est qu'un schéma de principe?	Schéma de principe : *Je veux qu'ils retiennent, c'est quoi un schéma de principe puis, qu'est-ce que ça comprend*
2	Travail individuel (3mn)	Les élèves complètent le document en lisant le manuel	Qu'est-ce qu'une force?	
3	Retour en grand groupe (5mn)	L'enseignante valide les réponses en se référant au manuel	qu'est-ce qu'un mouvement?	
4	Présentation d'un problème d'application (GG) (2mn)	L'enseignante remet des pinces à linge aux élèves et leur demande de faire leur schéma de principe		
5	Résolution du problème en équipe (mn) (6mn)	Les élèves observent les mouvements de la pince et dessinent le schéma en consultant le manuel	Comment représenter les forces et les mouvements?	
6	Retour en grand groupe sur la correction du problème (3mn)	Un élève passe au tableau et dessine son schéma L'enseignante valide sa réponse et les autres copient		
7	Retour au projet de conception du véhicule en équipe (22mn)	Les élèves dessinent le schéma de principe de leur véhicule		
8	Retour en grand groupe (5mn)	Rappel du contenu du prochain cours	Aucun	

Tableau 3- Déroulement général des cours et aspects traités de la notion du schéma de principe

On peut constater, dans un premier temps, que SUZANNE et JULIE ont un déroulement très semblable : les deux enseignantes commençaient le projet par l'explication des critères d'évaluation des travaux à remettre par les élèves; si les quatre enseignantes sont parties d'un même document du projet Éolocar,

HÉLÈNE et JULIE ont adapté le document en intégrant toutes les deux le problème des pinces à linge comme application du schéma de principe pour permettre aux élèves d'avoir une compréhension préalable de ce dernier :

Ils vont pratiquer leur schéma de principe avec l'épingle à linge, avant la fin de la période, la dernière demi-heure, pour qu'ensuite, au prochain cours, ils puissent commencer leur choix possible de leur Éolocar eux-mêmes. (JULIE en entrevue préenregistrement).

Lorsqu'on considère de manière globale le déroulement des cours du point de vue des aspects traités du schéma de principe, on remarque que la quasi-totalité des échanges traitent surtout de la structure du schéma de principe en fonction de l'objet étudié (pince à linge ou véhicule à concevoir).

Les déroulements observés correspondent en grande partie à ceux annoncés par les enseignantes lors des entrevues préenregistrement et traduisent les objectifs d'apprentissage annoncés en lien avec cette notion. En effet, le discours des enseignantes sur les aspects essentiels qu'elles aimeraient que les élèves retiennent de la notion du schéma de principe montre que ceux-ci sont étroitement liés aux notions des forces et des mouvements dans un système.

Cette conception correspond à celle véhiculée par le Centre de développement pédagogique à travers les documents produits à l'intention des enseignants sur la notion du schéma de principe : «Il (le schéma de principe) ne doit préciser que les résultats souhaités et les principes de fonctionnement [...] On schématise : la force d'action; les organes d'entrée (ceux qui reçoivent une action de l'environnement); les organes de sortie (ceux qui exercent une action sur l'environnement); les organes intermédiaires (organes principaux); les symboles de mouvement» (CDP, 2006, p. 4). On retrouve également cette conception dans plusieurs manuels scolaires. À titre d'exemple, *Univers*, la collection utilisée par ces enseignantes définit le schéma de principe comme «un dessin qui représente, de façon simplifiée, le fonctionnement d'un objet. Dans ce type de dessin, les forces et les mouvements en jeu sont bien indiqués» (Lalonde, 2006, p. 207).

4.3 Temps effectif consacré à l'enseignement du schéma de principe

Considérons, à présent, le temps effectif consacré à la notion de schéma de principe pour la période d'enseignement prévue à cet effet. Soulignons au passage que les durées des périodes analysées ne sont pas égales. Pour cela, nous optons pour une présentation du temps en pourcentage.

Enseignantes	JULIE	SUZANNE	HÉLÈNE	MANON
Temps consacré à l'étude du schéma de principe	41 %	23 %	92 %	36 %

Tableau 4- Temps consacré au schéma de principe par période enregistrée

Bien que cette notion soit un objectif principal de la séance, le temps effectivement consacré à son enseignement est variable en fonction des enseignantes. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette variation. Une de ces raisons serait que la notion étant déjà vue en première année du secondaire, le temps qui lui est consacré servirait surtout à la rappeler ou à faire une mise à niveau. L'autre raison découlerait des conceptions que les enseignants ont de cette notion et de la manière de l'enseigner. Ces conceptions se traduisent, entre autres, dans les difficultés qu'elles anticipent avant le déroulement du cours. Ainsi, pour HÉLÈNE et JULIE, qui ont consacré le plus de temps au schéma de principe, les difficultés envisagées sont liées à la structure du schéma de principe :

Je pense qu'ils vont avoir de la misère à distinguer force et mouvement. Ça, c'est ce que moi, j'anticipe. (HÉLÈNE en entrevue préenregistrement).

Le dessin, déjà en partant. Pour l'épingle à linge, ça devrait bien aller parce qu'ils ont un modèle de toutes les façons. Mais, quand ils vont être rendus à l'Éolocar, je sais que ça va être une certaine complication; plus le dessin… Normalement, ils comprennent bien les mouvements où qu'on met la force, mais, encore là, avec l'Éolocar, est-ce qu'ils vont comprendre d'où provient la force? Je me pose la question. (JULIE en entrevue préenregistrement).

Pour MANON et SUZANNE, qui ont consacré le moins de temps au schéma de principe, les difficultés annoncées ne se rapportent pas à la notion même du schéma de principe mais plutôt à la conception technologique et à la construction du véhicule :

Pour les élèves, je pense que le côté création en techno, ça peut être un défi de trouver des solutions pour agencer le… comment ça fonctionne dans le fond, pour que, avec le matériel, ils pourront réussir à faire un produit fini. (MANON).

Face aux élèves, c'est en équipe de deux, d'en arriver à établir un modèle avant même la construction. (SUZANNE).

4.4 Modalités d'organisation de la classe et de l'utilisation des ressources pendant l'enseignement du schéma de principe

Afin d'examiner les modalités d'utilisation des ressources didactiques, nous avons considéré les aspects suivants : la nature des ressources utilisées, les moments d'utilisation par l'enseignante et/ou les élèves et ce, pour une unité de temps de 2mn. Pour les modalités d'organisation de la classe, nous avons considéré les trois cas de figures suivants : Grand groupe (GG); travail en équipes (EQ); travail individuel (IN) (Tableau 5).

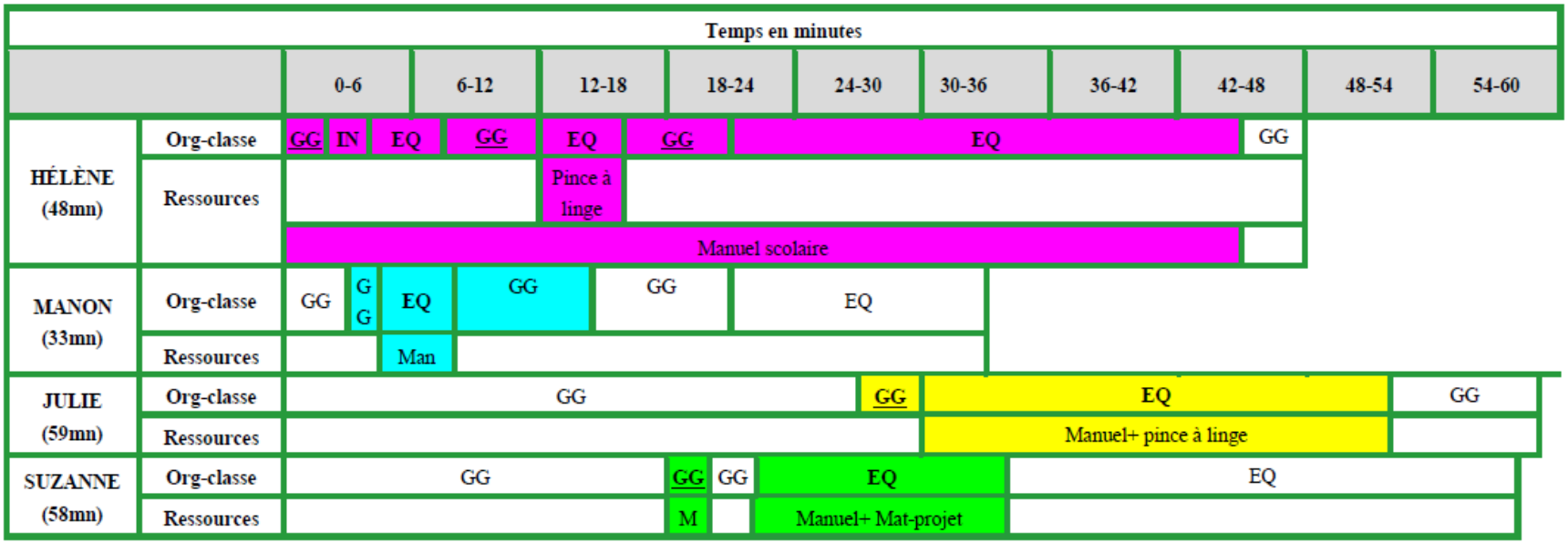


Tableau 5- Modalités d'utilisation des ressources didactiques (diagramme produit à l'aide du logiciel Studiocode)

Légende :

1. Les cases surlignées indiquent les moments d'utilisation du manuel scolaire durant le temps consacré à l'enseignement de la notion du schéma de principe. Les couleurs ne servent qu'à distinguer les enseignantes.
2. Les cases non surlignées indiquent que l'enseignante traitait d'un objet autre que le schéma de principe.
3. Org-classe : organisation de la classe (GG : travail en grand groupe; EQ : travail en équipe; IN : travail individuel)
4. Man : manuel scolaire; Mat-projet : matériel fourni par l'enseignante pour la réalisation du projet
5. Lettres en italique : Ressources utilisées par l'enseignante
6. Lettres en gras : Ressources utilisées par les élèves
7. Lettres gras italique souligné : Ressources utilisées par les élèves et l'enseignante

Modalités d'organisation de la classe pendant l'enseignement du schéma de principe

Organisation de la classe	JULIE	SUZANNE	HÉLÈNE	MANON
En grand groupe	12 %	12 %	22 %	72 %
Travail individuel	0	0	8 %	0
Travail en équipe	88 %	88 %	70 %	28 %

On peut constater que dans le cas d'HÉLÈNE, SUZANNE et JULIE, le manuel scolaire a été utilisé pendant la très grande majorité du temps qui a été réservé au schéma de principe (100 % pour HÉLÈNE et SUZANNE et 86 % pour JULIE). Pour MANON, l'utilisation du manuel a pris 28 % du temps. Rappelons que pour cette enseignante, la majorité du temps utilisé pour enseigner le schéma de principe était pour dégager les solutions de conception.

On remarque également que pour toutes les enseignantes, le travail d'équipe est 100 % accompagné de l'utilisation du manuel. À celui-ci, s'ajoute par moment du matériel de laboratoire comme la pince à linge et le matériel de construction du véhicule. Le manuel semble avoir une place centrale comme source de savoir, et ce, tant pour l'enseignante au moment de la préparation que pour l'élève en classe. Les extraits suivants illustrent bien cette place :

> **JULIE en entrevue :** *Univers* m'a été utile pour lire c'est quoi un schéma de principe, pour comprendre qu'est-ce que ça représente.
>
> **JULIE en classe** (en grand groupe)
>
> Aujourd'hui, vous travaillez sur le schéma de principe… Moi, je ne vous aide pas. C'est à vous de déterminer qu'est-ce qu'un schéma de principe. La seule chose que je vous dis, c'est dans le volume de secondaire 1 (le manuel). J'ai un volume par équipe environ. Sur la feuille, vous avez même la page où vous pouvez aller le lire. C'est à vous de bien comprendre ce qu'est un schéma de principe. Vous allez peut-être devoir chercher un peu dans le volume vos mouvements.
>
> **HÉLÈNE en entrevue :** C'est là-dedans (dans le manuel) que je vais chercher plus les concepts théoriques. Donc, les exemples avec les tire-bouchons, les définitions, vraiment c'est là-dedans qu'ils vont aller chercher leurs informations. Puis, après ça, nous, on va travailler ça en classe. Donc, c'est vraiment comme référence.
>
> **HÉLÈNE en classe** (en grand groupe)
>
> P : Si vous allez à la page 220. (Elle ouvre le manuel). Vous voyez la petite madame, à la page 220, elle pousse sur quelque chose. Donc, la force ce serait quoi? Ce serait une flèche qui s'en irait comment?
>
> E : Vers le bas.
>
> P : Vers la bas. Page 221. Le petit bonhomme qui tire sur une boîte.
>
> E : Vers lui.
>
> P : Ok. Parfait. 228. Mouvement. Page 228. La petite dame qui ouvre son tiroir.
>
> E : Dans les deux sens.
>
> P : Donc, la translation du tiroir comme ça quand je l'ouvre (elle mime le mouvement de tirer un tiroir), comme ça quand je le ferme (elle mime le mouvement de fermer un tiroir.). Page 229. Quand je roule mon arrosoir.

Par ailleurs, au plan des modalités d'organisation de la classe, deux constats sont à noter : mis à part MANON, cette organisation est très semblable pour les enseignantes; le travail d'équipe prend plus que 70 % du temps réservé à l'enseignement du schéma de principe. Ainsi, l'appropriation du schéma de principe par les élèves passe en grande partie par la lecture du manuel. Outre les extraits précédents,

l'exemple suivant illustre bien la place centrale qu'occupe le manuel même lors des échanges en classe et du travail d'équipe :

> E5 : Bien rotation, ce n'est pas rotation, ça ne se tourne pas. Ça fait que là c'est sûr hein? Puis après ça, le mouvement est hélicoïdal. C'est le mouvement d'une pièce lorsqu'elle se déplace le long d'un axe, en tournant sur son axe (l'élève lit dans le manuel).
>
> E4 : Bien, c'est translation.
>
> E5 : C'est la translation.
>
> E4 : Regarde, dans le fond là, c'est la même affaire que ça (elle pointe quelque chose dans son manuel). Bien ça tu tires.
>
> E5 : Tu pousses, puis ça… (Inaudible)
>
> E3 : Là… c'est translation là? Là… avons-nous fini?
>
> E3 : Ah! Maudit! (Il retourne dans son manuel et tourne les pages). Ça ne me tente pas de lire!
>
> E4 : Ça parle de quoi? (Elle regarde dans le manuel de E5). On aura juste à le lire si on en a de besoin.

Les enseignantes qui ont consacré le plus de temps au schéma de principe (HÉLÈNE et JULIE) ont recouru, en plus du manuel, à d'autres objets techniques qui n'étaient pas liés au projet Éolocar (la pince à linge) pour donner l'occasion aux élèves de s'approprier le schéma de principe avant de l'appliquer dans la conception de leur véhicule :

Le but, ça va être de leur faire faire sur leur machine, leur Éléocar. Mais, en premier, ils vont observer un tire-bouchon, ensuite, une épingle à linge. Puis, après ça, ils vont essayer de l'appliquer pour leur bolide. (HÉLÈNE, entrevue pré)

Ils vont pratiquer leur schéma de principe avec l'épingle à linge, avant la fin de la période, la dernière demi-heure, pour qu'ensuite, au prochain cours, ils puissent commencer leur choix possible de leur Éolocar eux-mêmes. Donc, on doit réfléchir à tout ce qui constitue leur schéma, pour pouvoir faire leur choix possible au prochain cours. (JULIE, entrevue pré)

4.5. Les caractéristiques du schéma de principe

Dans cette partie, nous analysons de manière plus fine comment sont traités les différents aspects du schéma de principe qu'on retrouve dans le déroulement général et ce, à travers une grille d'analyse qui s'appuie sur le cadre d'analyse utilisé, à savoir : la fonction du schéma de principe, son usage et sa structure. Cette analyse consiste à mettre en relation le discours des enseignants lors des entrevues, les planifications écrites, les échanges verbaux ou les tâches, les objets et les ressources utilisés en classe et les traces écrites sur le tableau. Ces divers éléments sont considérés comme des traces de la démarche d'enseignement-apprentissage.

4.5.1 Fonction et usage du schéma de principe

Nous avons cherché à savoir si, au moment de l'enseignement du schéma de principe, les enseignantes amènent les élèves à saisir sa pertinence (sa fonction) et si oui comment elles s'y prennent. Pour ce faire, nous avons recouru dans un premier temps à une analyse de contenu des échanges verbaux en classe (Bardin,

2007). Il s'agit de repérer des unités de sens qui renvoient aux questions suivantes : à quoi sert un schéma de principe et pourquoi fait-on un schéma de principe. Les extraits suivants illustrent ces unités de sens :

HÉLÈNE en classe en grand groupe

P : Ok. Donc, on va faire ça ensemble. La comparaison a été plus ou moins fructueuse. Ok. Ça va me prendre quelqu'un qui me donne sa première définition de schéma de principe. Après ça, on va voir s'il manque des éléments

E2 : Un schéma de principe c'est un dessin qui présente un fonctionnement d'un objet. (l'élève lit le manuel)

P : Un fonctionnement d'un objet. Ok.

JULIE en classe en grand groupe

P : Le schéma de principe c'est votre idée de départ. Si vous faites votre idée de départ et qu'il (le véhicule) n'avance pas. Bien, c'est normal, vous allez modifier votre véhicule. Vous n'allez pas modifier votre schéma de principe. Le schéma de principe, c'est votre idée de départ seulement.

Le tableau 6 présente les résultats de cette première analyse.

Enseignantes	JULIE	SUZANNE	HÉLÈNE	MANON
Nombre de références à la fonction d'un schéma de principe	1	0	2	0

Tableau 6- références à la fonction du schéma de principe

On remarque que JULIE et HÉLÈNE ont référé explicitement à la fonction du schéma de principe. Toutefois, cette référence se réduit, chez HÉLÈNE à la lecture de cette fonction par un élève dans le manuel; JULIE, c'est pour le qualifier simplement d'une idée de départ.

Dans un deuxième temps et dans la perspective de repérer des références à la fonction de ce schéma, nous avons analysé l'usage que les enseignantes en font. Nous avons ainsi examiné les différentes tâches demandées aux élèves en lien avec ce schéma ainsi que les rôles joués pas les élèves durant l'exécution de ces tâches en considérant les indicateurs suivants : qui fait le schéma de principe? À l'intention de qui? À quel moment recourt-on à ce schéma et pourquoi? Est-il utilisé une seule fois ou plusieurs et pourquoi? (tableau 7).

Enseignantes	JULIE	SUZANNE	HÉLÈNE	MANON
Destinateur	L'élève	L'élève	L'élève	L'élève
Destinataire	L'enseignante	L'enseignante	L'enseignante	L'enseignante
Moments d'utilisation	Début de la conception	Début de la conception	Début de la conception	Début de la conception

Tableau 7– Résultats de l'usage d'un schéma de principe

On peut remarquer que l'usage de ce schéma est identique chez les quatre enseignantes. Au début de la conception, les élèves sont tenus de faire le schéma de principe de leur véhicule en complétant la section d'un document intitulée : Je dessine le schéma de principe de mon véhicule. Ce document est remis par les élèves à l'enseignante, et ce, avant de commencer la construction.

Anticipant que les élèves risquent de sauter cette étape, les enseignantes ont précisé au moment de l'amorce du projet que ce document compte dans l'évaluation.

L'absence de la sensibilisation à la fonction de communication associée au schéma de principe pourrait d'ailleurs expliquer certaines difficultés que les enseignantes éprouvent au moment de l'enseignement de cette notion. Ci-dessous des exemples d'extraits qui montrent ces difficultés, mais aussi une indépendance des moments de schématisation et de conception :

> **SUZANNE, en entrevue**
>
> Plusieurs voudraient aller essayer leur véhicule avant de faire leur schéma de principe. Puis, ça, je m'oppose à ça.
>
> **HÉLÈNE ,en entrevue**
>
> Des fois, ils (les élèves) peuvent même avoir de la misère, je pense, à savoir pourquoi on a besoin de ça.

4.5.2 Structure du schéma de principe

La structure du schéma de principe présente deux aspects : le code comme moyen de la représentation d'un objet ou d'un système et le référent auquel ce code renvoie. Pour l'analyse de ces deux composantes nous nous sommes appuyés sur les planifications des enseignantes, les transcriptions des échanges en classe ainsi que les traces sur le tableau.

Si la manipulation des codes pour désigner les forces et les mouvements dans les schémas de principe semblent aisée, l'analyse conceptuelle des corrigés des exercices sur les tableaux montrent plusieurs erreurs. Par exemple, dans le problème de la pince à linge, la solution fournie aux élèves se présente comme suite :

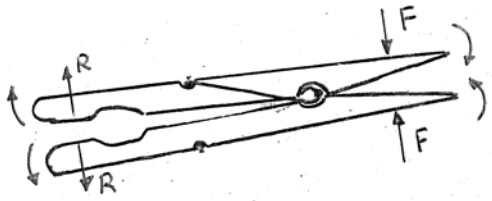


Schéma de principe d'une pince à linge

Or la force de résistance R (indiquée par les deux flèches R) n'existe pas dans ce cas de figure. En fait, pour représenter la pince à linge, deux cas sont possibles :

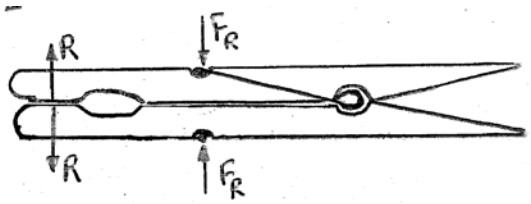


Schéma de principe sans force extérieure

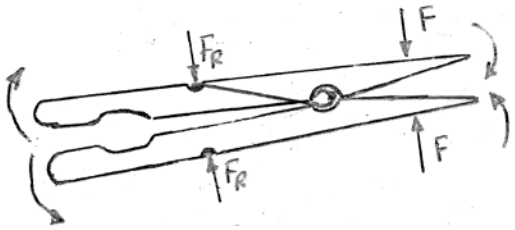


Schéma de principe avec forces extérieures

On peut donc voir que la force de compression exercée par le ressort a été ignorée ou transformée en une force résistante. On peut donc questionner le choix de l'exemple à étudier (la pince à linge) à cause du ressort angulaire qui crée une force de compression, ce qui rend difficile la compréhension du schéma.

Outre les erreurs conceptuelles, l'étude de la notion de force et de la distinction entre les différents types de mouvements est marqué dans les quatre classes par l'appropriation du vocabulaire scientifique (force, mouvement) et le recours par les élèves au sens commun pour exprimer leurs observations comme l'illustrent les extraits suivants :

Classe de JULIE, pendant un travail d'équipe

P : Oui! Tu laisses les flèches, quand même! Mais il faut que tu m'expliques ce que les flèches veulent dire.

E3 : C'est quoi qu'elles veulent dire les flèches?

E5 : Bien… Ça se ferme; ça s'ouvre. (Elle fait le mouvement avec l'épingle).

P : Ok! Lyne, tu étais bien partie. Tu pèses là-dessus, ça s'ouvre et ça se referme. Donc, tu pèses, ça ouvre. Je suis d'accord.

E3 : Moi aussi je suis d'accord.

P : Je veux juste des mots plus scientifiques

E3 : Bien là! Je ne suis pas scientifique moi.

P : Bien cherchez dans votre livre! …Bien sans être des mots scientifiques… Si les mots par rapport à la science…… au lieu de dire on pèse…on va dire autre chose.

E3 : On appuie.

P : Ce n'est pas appuyer non plus. Regardez avec l'exemple.

E6 : Une pression

P : Une pression! C'est déjà pas pire. On met une pression.

P : Ici là (elle pointe dans le manuel) sur votre tire-bouchon, on met une pression, on met une force pour baisser les bras. Ici je fais quoi? (Elle tient l'épingle dans une main et appuie sur les bouts de l'épingle pour l'ouvrir).

P : Oui, je mets une pression. Donc, je force. C'est ça ici vos F, pour force.

E5 : Ah!

Ainsi pour dessiner le schéma de principe, on se fie à ce qu'on « voit » et non au fonctionnement des objets ni aux savoirs conceptuels en jeu. Par exemple, le mouvement de rotation n'existe que si on voit qu'une pièce tourne. D'ailleurs, lorsque le déplacement est réduit, les élèves confondent translation et rotation. Cette confusion s'est produite dans les deux classes dans lesquelles les enseignantes ont utilisé l'exemple de la pince à linge (JULIE et HÉLÈNE). De plus, ces erreurs ne semblent pas être saisies comme des occasions pour amener les élèves à conceptualiser les notions de rotation ou de translation en recourant aux propriétés physiques qui caractérisent ces mouvements (montrer par exemple la différence entre un corps tournant autour de lui même et un corps effectuant une trajectoire circulaire en restant parallèle à lui même).

Classe d'HÉLÈNE, en grand groupe

P : Bien. Ça lève en avant. Regarde, quand je pèse, on a dit que c'était quoi? Quand j'applique une pression?

E7 : Une force.

P : Est-ce que je peux mettre une translation là où il y a une force?

E7 : Oui. Pas une translation, mais il n'y a pas vraiment une rotation. Le petit truc en dedans ça fait une…

P : Bien non. Le mouvement là, quand ça ouvre, c'est quoi?

E7 : Une rotation.

E : Ce n'est pas une rotation.

P : Pourquoi ce ne serait pas une rotation? Peut-être que c'est trop petit pour que tu le voies. Sauf que ça n'ouvre pas en longueur. Ce n'est pas une translation. Ce n'est pas un déplacement. Tu as quelque chose au milieu qui fait que ça va ouvrir en rond. Donc, c'est une rotation. Est-ce qu'il y en a qui avait quelque chose de différent? Est-ce que tout le monde comprend bien pourquoi on met deux forces à l'endroit où je pèse?

E : Bien oui. C'est parce que tu forces.

P : Je mets une pression. Donc, j'exerce une force.

5. Discussion et conclusion

Les résultats que nous venons de présenter, malgré leurs limites associées notamment à la taille de l'échantillon permettent de dégager certains constats qui interpellent l'enseignement du schéma de principe en particulier mais également l'enseignement des concepts technologiques de manière générale. Tout d'abord, au regard de la notion du schéma de principe, les résultats de cette étude montrent que si les enseignantes choisissent pertinemment le moment d'introduire cette notion, l'accent est surtout mis sur sa fonction d'illustration visuelle. Tel qu'il est enseigné, ce schéma pourrait à la limite être remplacé par un simple croquis. De plus, on note une absence de référence à la dimension de communication, fonction centrale de tout graphisme technique. Pour favoriser l'appropriation de cette fonction, certains auteurs, s'inspirant de l'histoire des problèmes de représentation et communication technique, proposent d'introduire l'élève aux caractéristiques d'un processus de communication avec des notions comme celle

d'information[16], de référent qui renvoie à l'objet en question, de support qui renvoie à la base matérielle de l'expression et de message codé comme produit intentionnel qui circule entre un émetteur et un destinataire qui partagent nécessairement la signification de ces codes (Vérillon, 2001). Outre ces propositions, le simple fait de suggérer aux élèves d'échanger leurs schémas et de les amener à dégager les solutions proposées par les autres pourrait contribuer, à notre sens, à les sensibiliser à cette dimension.

Notre étude montre également que si les enseignantes mentionnent explicitement que le schéma de principe est un objectif central d'apprentissage, lorsqu'on analyse de près les différents échanges ainsi que les tâches qui structurent son enseignement, on réalise qu'il n'est en réalité qu'un accessoire qui sert de contexte pour l'étude des forces et des mouvements. Cette conception serait à mettre en relation avec les différentes ressources mises à la disposition des enseignants. Ainsi, si à première vue, la notion du schéma de principe dans le programme de formation se veut générale en ce sens qu'elle n'est connectée directement à aucun champ technologique particulier, l'analyse des situations servant d'exemples à présenter aux élèves qu'on retrouve dans les documents produits à l'intention des enseignants montre que cette notion est étroitement associée au domaine de la mécanique. Aucun exemple d'un schéma de principe d'un autre domaine (électrique, électronique, etc.) n'est cité. Si on considère, avec Martinand (2003), que l'une des finalités de l'enseignement de la technologie est d'introduire progressivement l'élève à la complexité du champ de référence technique à travers des situations d'enseignement-apprentissage qui présentent un caractère de technicité, plusieurs questions se posent : devrait-on amener l'élève à saisir la diversité des situations techniques ou doit-on se limiter à certains domaines? Et quels graphismes retenir alors?

En admettant que le domaine de la mécanique soit le plus approprié pour les élèves à cet âge, du fait du caractère concret des mécanismes à représenter, le schéma de principe tel qu'il est présenté aux enseignants est en fait un hybride de plusieurs schémas mécaniques : le croquis pour l'idée première d'un mécanisme; le schéma cinématique pour certaines liaisons et quelques mouvements; le Diagramme de corps libre pour les forces. Si on considère que chaque schéma a sa raison d'être, cet amalgame qui combine forces et mouvements dans un même schéma risque de causer des obstacles à la compréhension des mécanismes. En effet, lorsqu'un corps est en équilibre sous l'action de plusieurs forces (le cas de la pince par exemple), il n'y a pas de mouvement. Et lorsqu'il y a mouvement, le sens, la direction, la position et l'intensité des forces peuvent varier. Il est donc discutable de représenter les forces et les mouvements dans un même schéma. La question qui se pose serait pourquoi ne pas recourir à des schémas connus, bien établis et qui ont fait leur preuve dans le champ de la mécanique? On pourrait ainsi, si on veut rester général, se contenter du croquis de différentes solutions. Par contre, si on veut introduire les notions des forces et des mouvements, on pourrait alors procéder en deux temps : 1) introduire un schéma de fonctionnement qui explique les mouvements des pièces sous l'effet de la ou des forces externes appliquées, représenté sous forme d'un ou de plusieurs dessins et d'un texte explicatif (sans les forces intermédiaires); 2) recourir ensuite au

[16] Vérillon (2001) définit l'information comme ce « qui permet à l'individu, par rapport à une situation ou un objet, de réduire l'incertitude, la méconnaissance et l'imprécision dans laquelle il se trouve » (Vérillon, 2001, p. 34).

diagramme de corps libre de l'objet au complet qui est un schéma simplifié avec les diverses pièces, les liaisons entre les pièces et les forces qui s'appliquent lorsque l'objet considéré est isolé de tout autre objet.

Au niveau des approches d'enseignement mises en avant par les enseignantes, les résultats montrent qu'en général, celles-ci souhaitent engager les élèves dans leurs apprentissages : la présentation d'un projet autour d'un concours qui conduit les élèves à saisir un besoin avec un cahier des charges; la présence d'opportunités de conception amenant les élèves à anticiper l'objet à réaliser, la place importante accordée à la fois à la confrontation entre les élèves d'une équipe pour négocier une solution et à la recherche individuelle. Toutefois, lorsqu'on analyse de près les démarches d'enseignement-apprentissage utilisées, on constate, à l'instar de plusieurs études antérieures (Hasni et Roy, 2006; Hasni, accepté) une centration sur l'acquisition du vocabulaire scientifique et technologique et une pauvreté au niveau des démarches de conceptualisation ainsi qu'une dissociation entre l'action et l'appropriation conceptuelle. Nous notons aussi la prédominance des manuels scolaires dans cette appropriation conceptuelle. Ceux-ci constituent la principale source de savoir utilisée par les élèves pour lire les définitions du schéma de principe, trouver des exemples qui permettent la distinction entre la rotation et la translation; etc.

Si dans l'enseignement des sciences, les auteurs précités appelaient déjà à la vigilance à propos de la relation entre les concepts scientifiques et les concepts de sens commun en montrant que « l'usage dans le quotidien de mots tels que ceux de force, de fruit, d'énergie, etc. risque d'interférer avec leur signification sur le plan scientifique » (Hasni et Roy, 2006), en technologie ce risque de confusion est encore plus présent. Notre analyse le confirme. En effet, l'enseignement des concepts comme le schéma de principe, de force et de mouvement se réduit à trouver « les bons mots » et à faire des dessins[17] dont l'usage et la pertinence restent mystérieux aux yeux des élèves. Mais, ce qui est le plus frappant, c'est le fait que la préoccupation centrale dans les classes considérées est tournée vers la réussite de la construction du véhicule. Nous avons là des indices qui tendent à confiner que les cours de technologie risquent dans certains cas de se réduire à des séances de bricolage. Rappelons qu'en 1998, au moment de la préparation de l'implantation de la récente réforme scolaire qui annonçait l'intégration des ST, la Commission des programmes d'études émettait déjà des réserves : « force est de reconnaître que, dans la perception populaire, elle (l'éducation technologique) est trop souvent réduite à ses aspects manuels ou de savoir-faire pratiques » (CPE, 1998).

En conclusion, ce travail nous permet de rappeler l'importance et l'urgence de mettre au clair les finalités de l'éducation technologique et d'assurer une meilleure formation des enseignants dans ce domaine disciplinaire.

---

[17] À titre d'exemple, dans la question sur les défis auxquels les enseignantes font face au regard du concept de schéma de principe, la réponse d'une des enseignantes montre qu'elle ne parvient pas à faire la distinction entre la schématisation technique et dessin artistique : « le dessin, pour moi, je pense que je trouve ça plus difficile que les élèves, la partie dessin. Je n'ai pas vraiment de talent en dessin. Je ne suis pas capable de dessiner ce que j'imagine »

Bibliographie

Centre de développement pédagogique (2006). Initiation à la schématisation : Types de schémas, Règles de schématisation, Symboles utilisés. Document téléaccessible à l'adresse: http://www2.cslaval.qc.ca/cdp/UserFiles/File/telechargement/schematisation.pdf Consulté le 10 juillet 2010

Commission des programmes d'études (1998). L'enseignement des sciences et de la technologie dans le cadre de la réforme du curriculum du primaire et du secondaire. Avis au ministre de l'Éducation. Québec, Gouvernement du Québec. Document accessible à l'adresse <http://www.ccpe.gouv.qc.ca/sc-tech.htm#NT1#NT1>.

Commission des programmes d'études (2003). Enseignement secondaire, premier cycle. Avis au ministre de l'Éducation sur l'approbation du programme de formation de l'école québécoise. Québec : Commission des programmes d'études.

De Vries, M. et Mottier, I. (dir). (2006). International Handbook of Technology Education: Reviewing the Past Twenty Years. Rotterdam/Taipei: Sense Publishers

De Vries, M. (2005). The Nature of Technological Knowledge: Philosophical Reflections and Educational Consequences. International Journal of Technology and Design Education 15, 149–154

De Vries, M., Custer, R., Dakers, J. et Martin, G. (dir.) (2007). Analyzing Best Practices in Technology Education. Rotterdam, Sense Publishers.

Doulin, J.(2001). Graphismes techniques. In J. Colomb et J.-L. Martinand. Éléments pour une didactique comparée : langue écrite, graphismes et construction des savoirs (97-122).

Géronimi, A., De Vries, E., Prudhomme, G. et Baillé, J. (2005). Objets intermédiaires dans une situation de conception en technologie avec CAO au collège. Aster, 41, 115-137

Glomeron, F. (2001). Unité et cohérence de la formation des professeurs de technologie au collège - Contribution à la définition des registres de technicité et des compétences professionnelles nécessaires. Thèse de Doctorat, École Normale Supérieure de Cachan

Hamon, C. (2009). Graphismes techniques : tâches, natures et causes des difficultés des apprenants. Aster, 48. 39-96

Hasni, A. (accepté). Problématiser, contextualiser et conceptualiser en sciences : point de vue d'enseignants du primaire sur leur pratique de classe. In A. Hasni et G. Baillat. (dir.). Pratiques d'enseignement des sciences et technologies dans le contexte des réformes curriculaires : points de vue des enseignants, des formateurs et des chercheurs. Reims : Presses universitaires de Reims.

Hasni, A. et Roy. P. (2006). Comment les manuels scolaires proposent-ils d'aborder les concepts scientifiques avec les élèves? Cas des concepts de biologie. In, J. Lebrun, J. Bédard et A, Hasni (dir.). Matériel didactique et pédagogique: Soutien à l'appropriation ou déterminant de l'intervention éducative (p. 125-162). Ste Foy: Presses de l'Université Laval.

Lebeaume, J. (2006). Les sciences et la technologie au Collège. In Hasni, A.; Lenoir, Y.; Lebeaume, J. (dir.). (2006). La formation à l'enseignement des sciences et des technologies au secondaire dans le contexte des réformes par compétences (p. 97-117). Québec: Presse de l'Université du Québec.

Lebeaume, J. et Cartonnet, Y. (2004). Quelques orientations introductives pour un bilan des recherches en didactique des disciplines technologiques. In J. Lebeaume, Y. Cartonnet et P. Vérillon (dir.). Séminaire de didactique des disciplines technologiques : bilan des recherches en didactique des disciplines technologiques. Cachan : STEF, INRP,

Lebeaume, (2004). Revue des revues. In J. Lebeaume, Y. Cartonnet et P. Vérillon (dir.). Séminaire de didactique des disciplines technologiques : bilan des recherches en didactique des disciplines technologiques. Cachan : STEF, INRP,

Martinand, J.-L. (2003). L'éducation technologique à l'école moyenne en France : problèmes de didactique curriculaire. Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies, 3(1), 101-106.

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. (2006). Programme de l'école québécoise. Québec : Gouvernement du Québec.

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (2005). Le renouveau pédagogique : ce qui définit « le changement » préscolaire primaire, secondaire. Québec : Gouvernement du Québec.

Ministère de l'Éducation du Québec (1997). L'école, tout un programme. Énoncé de politique éducative. Québec : Gouvernement du Québec

National Research Council (2002). Technically Speaking: Why All Americans Need to Know More About Technology. Committee on Technological Literacy: National Research Council; National Academy of Engineering: Greg Pearson and A. Thomas Young.

Rabardel, P. (1995). Les hommes et les technologies. Paris : Armand Colin.

Rabardel, P. et Weill-Fassina, A. (1992). Fonctionnalités et compétences : dans la mise en œuvre de systèmes graphiques techniques. Intellectica, 15, 215-240

Rabardel, P. et Weill-Fassina, A. (dir.)(1987). Le dessin technique : apprentissage, utilisation, évolution. Paris : Hermès.

Vérillon, P. (2001). Modéliser l'apprentissage de la lecture des graphismes techniques : l'apport des approches psychologiques du dessin technique In J. Colomb et J.-L. Martinand. Éléments pour une didactique comparée : langue écrite, graphismes et construction des savoirs (21-41)

Vérillon, P. (1996). Approches psychologiques et didactiques en technologie : l'exemple du dessin technique. Aster, 22, 127-147

Reynes, L. (1995). Schémas. Modes d'emploi. Techniques de l'ingénieur. Document publié le 10-05-1995 sous le numéro T4550. Document téléaccessible à l'adresse : http://www.techniques-ingenieur.fr/book/t4550/schemas-modes-d-emploi.html

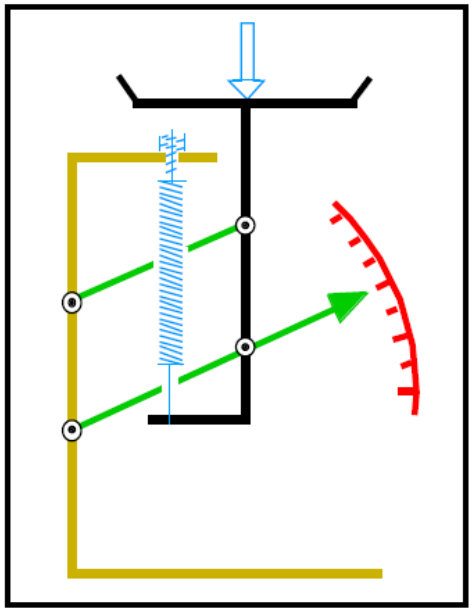
Annexes

Extrait du document de formation produit par le CDP sur la notion des schémas technologiques

centre de développement pédagogique
pour la formation générale en science et technologie

INITIATION À LA SCHÉMATISATION

- Types de schémas
- Règles de schématisation
- Symboles utilisés
- Exemples



Décembre 2006

Les langages en technologie

Lors de la conception d'un objet technique, le ou la technologue a besoin d'un langage qui lui permet d'exprimer sa pensée avec rapidité. La schématisation, contrairement au dessin technique, constitue un outil fort utile et rapide d'utilisation. C'est une forme de langage technique moins normalisé que le dessin industriel. Ce dernier répond à des normes, à des règles et à des techniques plus universelles, comprises par tous ceux qui travaillent en technologie. Il est davantage utilisé au cours des étapes ultérieures de réalisation d'un prototype et pour la fabrication en série.

Le schéma

- Figure réduite à des éléments essentiels pour montrer la disposition d'une machine et en expliquer le fonctionnement. (Réf. dictionnaire Quillet.)

- Dessin ne comportant que les traits essentiels de la figure représentée afin d'indiquer non sa forme, mais ses relations et son fonctionnement. (Réf. dictionnaire Larousse.)

- Figure donnant une représentation simplifiée et fonctionnelle d'un objet, d'un mouvement, d'un processus, d'un organisme. (Réf. dictionnaire Le Robert.)

Les schémas technologiques

Un schéma technologique est une forme simplifiée de dessin technique qui permet d'illustrer rapidement :

- un problème technologique;
- la position d'un objet technique dans son environnement et, si nécessaire, dans son installation;
- le ou les principes de fonctionnement de cet objet;
- la forme générale, la constitution et le mécanisme technologique de cet objet.

Compte tenu de ce qu'on veut illustrer, on distingue au moins cinq schémas technologiques, c'est-à-dire le schéma de situation du problème, le schéma de situation de l'objet technique, le schéma d'installation, le schéma de principes et le schéma de construction.

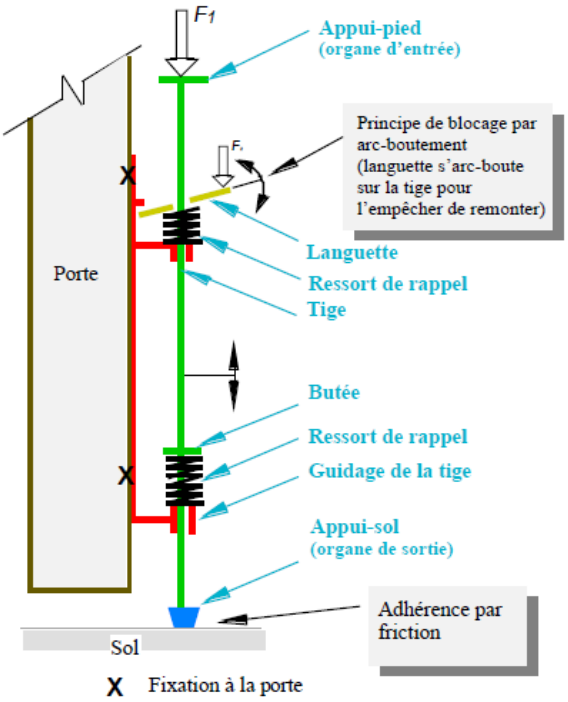
Un schéma technologique peut être partiel ou global, selon qu'il représente l'ensemble d'un objet ou seulement certains de ses aspects.

L'ARRÊT DE PORTE

Le schéma des principes

L'ÉTUDE DES PRINCIPES implique l'utilisation d'un schéma pour représenter la fonction à remplir par l'objet technique. Il ne doit préciser que les résultats souhaités et les principes de fonctionnement.
Le schéma de principes peut être évolutif c.-à-d. qu'au fur et à mesure que la conception de l'objet évolue, le schéma initial se transforme et comporte des éléments ou des principes additionels. Le schéma final présente alors les principes retenus.
On schématise :
• la force d'action;
• les organes d'entrée (ceux qui reçoivent une action de l'environnement);
• les organes de sortie (ceux qui exercent une action sur l'environnement);
• les organes intermédiaires (organes principaux);
• les symboles de mouvement.

Schéma de principes



Centre de développement pédagogique
pour la formation générale en science et technologie

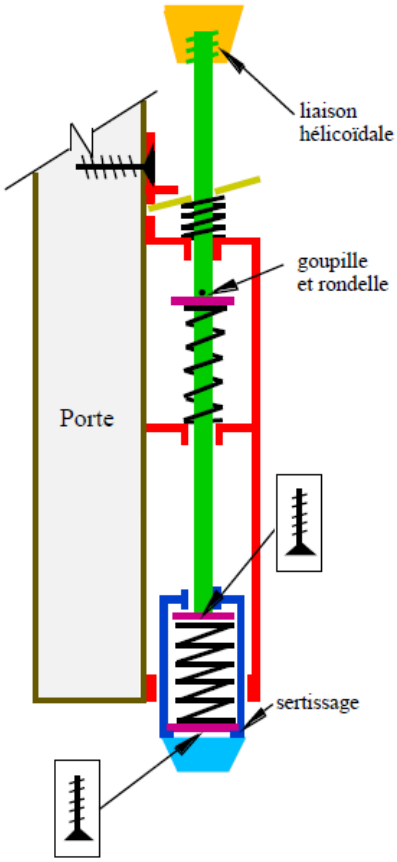
Le schéma de construction

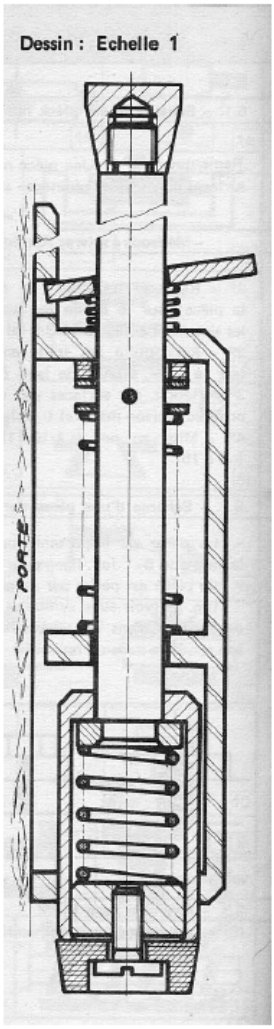
Pour l'ÉTUDE DE CONSTRUCTION, on utilise un schéma afin de représenter le type de solution technologique adoptée pour solutionner les problèmes soulevés dans le schéma de principes. Il illustre le fonctionnement de l'objet technique et les éléments qui assurent ce fonctionnement.

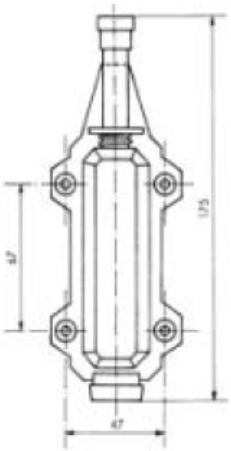
On schématise :

- les organes concernant directement le fonctionnement (organes de guidage, de transmission, etc.);
- les organes mobiles (organes de réglage, de blocage, etc.);
- les organes de liaison ou le symbole du caractère de la liaison réalisée;
- les organes intermédiaires.

Schéma de construction (ou schéma constructif)







5

Centre de développement pédagogique pour la formation générale en science et technologie

L'ENSEIGNEMENT DE L'ESPACE DANS DEUX CONTEXTES DIFFÉRENTS D'APPRENTISSAGE : EN CLASSES DE SCIENCES ET DE MATHÉMATIQUES

Valérie Munier[1], Patricia Marchand[2] et Hélène Merle[1]
[1]LIRDEF, Université Montpellier 2 – IUFM de Montpellier
[2]CREAS, Université de Sherbrooke

Introduction

L'apprentissage de l'espace est partie intégrante du programme de formation élémentaire de mathématiques autant au Québec qu'en France (MELS, 2003; MEN, 2007). Il s'agit pour l'élève de structurer l'espace, c'est-à-dire d'acquérir des connaissances spatiales permettant de contrôler convenablement ses relations à l'espace sensible. Si on s'appuie sur cette définition, il est bien évident que l'appréhension de l'espace ne pourra, d'une manière réaliste, se cantonner à la classe de mathématiques. « Savoir reconnaître, décrire, fabriquer ou transformer des objets; déplacer, trouver, communiquer la position d'objets ou encore reconnaître, décrire, construire ou transformer un espace de la vie ou de déplacement » (Berthelot et Salin, 1999-2000, p.38) sont autant de connaissances spatiales pouvant être développées dans le cadre d'apprentissages autres que mathématiques, notamment en physique. Nous pouvons prendre en exemple les activités liées au repérage sur Terre à l'aide d'une boussole ou encore l'étude des phénomènes astronomiques.

Une première conception liée à l'apprentissage de l'espace est qu'« il suffit d'observer pour comprendre et de voir pour savoir » (Berthelot et Salin, 1999-2000, p.40). Mais cela n'est pas aussi simple qu'il n'y paraît, en particulier pour nos élèves de l'école élémentaire. De nombreuses difficultés d'apprentissage apparaissent en classe de mathématiques (Charnay et Mante, 2008; Berthelot et Salin, 1999-2000). Dans le cadre de ses recherches au CREAS Marchand (2006 et 2009a) propose une structure génératrice d'activités (SGA) permettant d'aborder cet apprentissage avec un regard nouveau, ainsi que plusieurs recommandations pour cet apprentissage en classe de mathématiques. Quelques questions se posent donc d'emblée : cet apprentissage se déroule-t-il autrement en classe de physique? Observons-nous les mêmes lacunes pour les mêmes élèves? Pouvons-nous exploiter la SGA afin de générer des activités en classe de physique? Des recherches menées au LIRDEF portent spécifiquement sur l'apprentissage de l'astronomie par des élèves de l'école élémentaire (explication de la succession des jours et des nuits, des saisons, des phases de la Lune, des éclipses) et sur les difficultés des élèves dans ce domaine (Merle, 1999, 2000, Merle et Munier, 2003, Munier et Merle, 2005). Ainsi, l'expertise développée par les membres de ce laboratoire est sollicitée afin d'apporter des éléments de réponses à cette première série de questions en lien avec l'enseignement-apprentissage de l'espace en classe de sciences et de mathématiques à l'école élémentaire.

D'un autre point de vue, selon la modélisation de la pensée géométrique développée par Van Hiele, le développement de l'espace pose problème pour la majorité des élèves, et même certains adultes ne réussissent pas à dépasser le premier niveau de compréhension (Van de Walle et Lovin, 2008). Qu'en est-il de nos futurs maîtres? Quelle est l'importance de leur appréhension de l'espace en contexte mathématique ou physique? Les étudiants en formation des maîtres au Québec éprouvent des difficultés liées aux concepts mêmes qu'ils devront enseigner, soit ceux ciblés par le programme de formation de l'école élémentaire (Marchand, 2010; Morin et Theis, 2006) et nous pouvons donc présumer que les connaissances spatiales seront également lacunaires. Est-ce le cas en France pour les futurs enseignants de l'école élémentaire? Il s'agit ici de questions que nous aimerions examiner dans le cadre de ce projet de recherche. Les membres de l'équipe formateurs en physique à l'IUFM ont également constaté la difficulté des enseignants-stagiaires en astronomie : en fin de formation, ils sont nombreux à dire qu'ils redoutent d'avoir à enseigner l'astronomie, car ils ne sont pas à l'aise avec les savoirs en jeu. Nous nous sommes interrogés sur l'origine de ces difficultés. La compréhension des phénomènes abordés nécessite une bonne appréhension de l'espace et des capacités de décentration. Il faut être capable de se repérer à la fois sur Terre, grâce à des repères tels que verticale, horizontale, points cardinaux, et dans l'espace astronomique (macro-espace). Il faut de plus mettre en relation la vision d'un observateur terrestre (ce que je vois quand je regarde par la fenêtre) et celle d'un observateur excentré qui observerait le système solaire depuis l'espace. C'est pour cette raison qu'un projet de recherche impliquant le LIRDEF (V. Munier, J-F. Favrat et H. Merle) et le CREAS (P. Marchand) portant sur l'enseignement-apprentissage de l'espace s'est développé depuis 2008.

Ce projet de recherche aborde l'enseignement apprentissage de l'espace selon deux points de vue complémentaires :

- le point de vue de l'apprentissage des élèves en physique selon les balises établies par les recherches menées en classe de mathématiques.
- le point de vue des compétences des futurs maîtres dans cette appréhension de l'espace dans les deux contextes d'enseignement, physique et mathématique.

Deux hypothèses de recherche plus spécifiques, émergeant respectivement de ces deux points de vue, sont mises à l'épreuve dans ce projet :

1. (élèves) La SGA et les recommandations établies pour l'amélioration de l'appréhension de l'espace en classe de mathématiques sont transférables en classe de physique.
2. (futurs maîtres) Notre hypothèse est que les difficultés en astronomie, identifiées chez les futurs enseignants, sont pour partie liées à une appréhension de l'espace peu développée.

Cadre conceptuel

Ces deux hypothèses de recherche reposent sur des concepts-clés tels la notion même de connaissances spatiales, les trois types d'espace et de problématique de référence que définissent Berthelot et Salin (1992; 1993-1994), le développement des connaissances selon le modèle élaboré par Van Hiele, la SGA et les recommandations découlant des résultats de recherches de Marchand (2006; 2009*b*).

Les connaissances spatiales, précédemment définies comme étant la structuration de l'espace, sont les connaissances qui permettent aux élèves de contrôler leurs relations avec l'espace sensible (Berthelot et Salin, 1999-2000). Cette définition nous permet de développer les trois autres éléments-clés de notre cadre conceptuel.

Berthelot et Salin (1993-1994) ont défini trois types d'espace : le *microespace*, qui fait référence à l'espace de la feuille, est le plus petit des trois, mais demeure l'espace le plus exploité en classe de mathématiques à l'école élémentaire (papier-crayon); le *mésoespace* forme un espace un peu plus grand à l'intérieur duquel l'élève est inclus, et peut correspondre à l'espace de la classe; et le *macroespace*, le plus grand, inclut le sujet, tout comme le *méso-espace*, mais ne peut être découvert en entier par le sujet d'un seul point de vue, l'espace délimité par un quartier étant l'exemple générique. L'identification de ces trois types d'espace permet d'envisager et de structurer de multiples possibilités lors de la planification des activités, autant auprès des élèves de l'école élémentaire que des étudiants en formation des maîtres, en lien avec l'appréhension de l'espace.

Berthelot et Salin (1992) mettent également en lumière trois problématiques en lien avec cet apprentissage, en distinguant trois rapports essentiels à l'espace. Premièrement, la *problématique pratique* fait référence aux situations d'action et de communication essentiellement contrôlées par les rapports spatiaux et empiriques. Dans un tel contexte, il n'y a aucun souci de généralité puisque le travail se concentre sur des cas précis et concrets (justification empirique). La seconde, la *problématique de modélisation*, vise précisément la modélisation de l'espace. Tout comme la précédente, l'espace de référence est celui de l'espace sensible, mais la validation, interne, consiste en une interaction entre l'espace sensible et un modèle spécifique. La dernière, la *problématique de géométrie*, met en jeu un espace conceptualisé dans lequel une suite cohérente de propositions est énoncée menant nécessairement à une déduction uniquement fondée sur les propriétés géométriques et spatiales des objets géométriques. Ce deuxième élément conceptuel proposé par Berthelot et Salin nous permet de cerner plus spécifiquement la problématique visée par les activités que nous proposons aux élèves et aux futurs enseignants.

Le développement des connaissances spatiales a été exploré par plusieurs auteurs. Pour cette étude, nous retenons le modèle élaboré par **Van Hiele** (1959, repris par Van de Walle et Lovin, 2008), qui met en évidence le développement de la pensée géométrique de manière générale, et incluant le développement des connaissances spatiales. Il comporte cinq niveaux hiérarchiques de compréhension, chacun mettant en évidence des objets de la pensée géométrique qui deviennent les points de départ pour les niveaux subséquents. Une version explicitant davantage les niveaux de compréhension des connaissances spatiales a été exposée par Marchand (2009b). Au premier niveau se situe l'étude des objets et de leurs positions dans l'espace visible et accessible pour les élèves. Une activité typique sera la reproduction, à l'aide du matériel, d'une construction de cubes présentée sur une table à l'élève. Le deuxième niveau est caractérisé par l'intériorisation des objets et de leurs positions dans l'espace. Pour ce niveau, nous retrouvons entre autres des activités exigeant une anticipation de la part des élèves, par exemple demander aux élèves d'anticiper tous les solides possibles à partir d'un certain nombre de figures planes. Ce type d'activité est propice au développement des connaissances spatiales puisqu'elle exige une manipulation mentale des figures afin

d'envisager tous les agencements possibles. Par contre, elle est peu proposée par les enseignants (Berthelot et Salin, 1999-2000; Marchand, 2006*b*). Le troisième niveau est consacré à la manipulation des objets et de leurs positions, toutes deux intériorisées. Ainsi, il est possible d'étudier les objets et leur position dans l'espace alors que plusieurs éléments ne sont plus ou pas accessibles. Par exemple, on peut demander aux élèves d'anticiper le solide résultant de la rotation d'un triangle rectangle dont l'axe de rotation serait son hypoténuse. Les deux autres niveaux faisant partie du modèle de Van Hiele ne seront pas traités dans cet article, car ils ciblent des contenus mathématiques plus avancés que ceux poursuivis par notre étude, qui se limite aux apprentissages de l'école élémentaire. Ce modèle représente, tout comme les concepts précédents, un point de référence pour caractériser la nature des activités proposées à l'apprenant (enfant ou adulte).

Un dernier élément conceptuel sur lequel nous nous appuyons est constitué par la structure génératrice d'activités (SGA) et les recommandations présentées par Marchand (2006 et 2009a). La SGA illustre les variables didactiques (Descaves, 2007) à considérer lors de l'élaboration des activités à proposer aux apprenants. Elle se compose de cinq variables didactiques. La première variable didactique fait référence aux objets sélectionnés dont la nature, la complexité et la quantité doivent être prises en considération. La deuxième variable concerne la prise en compte du développement des connaissances spatiales, comme celui illustré précédemment par Van Hiele. La troisième touche le type d'espace impliqué dans l'activité proposée, comme Berthelot et Salin les définissent (micro, méso et macro). La quatrième variable représente les types (description, construction, représentation, recherche, etc.), la quantité et la combinaison des tâches que nous pouvons proposer aux élèves afin de traiter des connaissances spatiales. La dernière variable est un élément incontournable, sans lequel l'activité pourrait tendre vers un échec d'un point de vue du développement des connaissances spatiales : il faut absolument provoquer, lors de l'activité, des moments où la vue ne suffit plus comme moyen de résolution afin d'obliger une intériorisation des actions de l'apprenant. De plus, il est essentiel que l'enseignant centre son questionnement sur cette étape de l'activité (Marchand, 2009*a* et 2009*b*). Les recommandations proposées par cet auteur ont permis d'observer, lors de recherches antérieures, une intériorisation des connaissances spatiales en classe de mathématiques et dans un contexte sportif.

Parmi ces recommandations nous retenons pour ce projet la valorisation d'activités exploitant le mouvement (pas seulement la vue) dans des espaces variés (micro, méso et macro) et de tâches d'anticipation comme point d'ancrage des activités.

Ces éléments conceptuels constituent le cadre de référence sur lequel nous nous appuierons pour élaborer notre méthodologie de recherche, et qui nous guidera dans l'analyse des résultats obtenus.

Méthodologie de recueil des données

Ce projet est encore dans une phase exploratoire pour les deux volets (point de vue de l'apprentissage des élèves et de la compétence des futurs maîtres). La méthodologie retenue pour le recueil des données pour chacun de ces volets est brièvement décrite ci-dessous.

Pour la première hypothèse, nous nous attardons sur la question suivante : comment pouvons-nous tirer profit des recommandations, propres au développement des connaissances spatiales en contexte mathématique, pour les classes de sciences? Pour y répondre, nous optons pour une démarche méthodologique en quatre temps :

Temps 1 : Choix de l'apprentissage visé et favorable au développement des connaissances spatiales.

Temps 2 : Choix de notre échantillon d'élèves.

Temps 3 : Élaboration et expérimentation, sous forme d'entrevue semi-dirigée, de la séquence d'activités visant l'apprentissage choisi et prenant en compte les résultats de recherche antérieurs liés au développement des connaissances spatiales en classes de mathématiques.

Temps 4 : Analyse des résultats des élèves.

La passation sous forme d'entrevue semi-dirigée est ici préconisée étant donné le caractère exploratoire de la recherche. Par contre, la séquence d'activités élaborée dans le cadre de ce projet pourra être reprise lors d'une recherche subséquente pour une expérimentation en classe.

Ainsi, l'apprentissage de la boussole a été choisi puisqu'il s'agit d'un instrument dont la maîtrise est nécessaire au vu du programme de formation (MEN, 2008). Cet apprentissage est abordé par les élèves de grade 4 et donc nous avons interrogé 20 élèves d'une classe de CM1 ayant préalablement étudié l'utilisation de la boussole avec leur maître. Pour définir la tâche prescrite aux élèves au cours de nos entrevues, nous avons adapté une activité que nous avions développée dans un autre contexte et qui ne prévoyait pas, au départ, de phase d'anticipation (Jasmin, Merle et Munier, 2006). Cette activité comporte 3 séances. Les deux premières permettent aux élèves de maîtriser l'utilisation de l'instrument boussole et elles ont été vécues à l'identique par tous les élèves de la classe. En revanche nous avons expérimenté deux versions différentes de la troisième séance. La première version est la version initiale, alors que la deuxième version met davantage l'accent sur une intériorisation des actions liées à l'exploitation de la boussole en fonction de la SGA. Le protocole d'entrevue est présenté en annexe 1.

Notre deuxième hypothèse se traduit par la question suivante : existe-t-il une corrélation entre les connaissances spatiales développées par les futurs maîtres en sciences et en mathématiques? Pour y répondre, quatre temps méthodologiques, similaires à ceux exposés pour la première hypothèse, ont été retenus :

Temps 1 : Sélection des connaissances visées en géométrie et en physique.

Temps 2 : Choix de notre échantillon.

Temps 3 : Élaboration et passation du questionnaire évaluant les connaissances spatiales, respectivement en physique et en géométrie.

Temps 4 : Analyse des résultats de ce recueil des données.

Pour tester cette hypothèse nous avons élaboré et testé un questionnaire papier crayon en deux parties : une partie porte sur l'astronomie et l'autre sur la géométrie, toutes deux ciblant les connaissances spatiales dans les domaines respectifs. Ce questionnaire a été soumis à 40 professeurs des écoles stagiaires (PE2) ayant suivi un cours d'astronomie et une formation en mathématiques pendant leur année de formation avec des enseignants différents. Les deux parties ont été contrebalancées : la moitié des étudiants a commencé par les items d'astronomie, l'autre par la partie géométrie.

Partie astronomie : Les contenus en jeu dans ces questions relèvent de la fin de l'école élémentaire ou du début du collège. Tous les items testent les capacités de décentration des étudiants. Il s'agit de voir s'ils sont capables d'une part de mettre en relation ce que voient des observateurs situés à des endroits différents de l'espace à un instant donné et d'autre part d'intérioriser la rotation de la Terre autour de son axe au cours du temps.

Les items A2 et A4 portent sur le passage de la vision d'un observateur terrestre (pour lequel le Soleil se lève par exemple) à celle d'un observateur depuis l'espace à un instant donné.

Les items A3 et A5 demandent de visualiser la rotation de la Terre sur elle-même dans un référentiel lié à des étoiles fixes au cours du temps; l'item A6 porte sur la compréhension des phases de la Lune (pour une position donnée de la Lune sous quelle forme la voit-on depuis la Terre?).

Partie géométrie : les items sont sélectionnés d'après les différentes composantes des connaissances spatiales que nous pouvons traiter en géométrie. Le but étant ici de questionner les étudiants sur chacune d'entre elles afin d'avoir un portrait global de leur appréhension de l'espace dans un contexte géométrique. Les questions retenues font référence à des contenus de la fin de l'école élémentaire et début du collège. G1 traite de la rotation mentale de solides : nous présentons, à droite, l'illustration du solide de départ et demandons si le solide illustré à gauche peut être obtenu à partir du premier par le biais d'une rotation. Ce premier item est tiré des études de Shepard et Metzler (1971) dont nous possédons des résultats qui serviront de point de comparaison. G2 concerne le repérage dans un plan qui se traduit par la description du trajet d'une tortue dans le plan cartésien, décomposé en plusieurs mouvements et en termes de pas et de rotation. G3 vise le déplacement mental du sujet autour d'une table (décentration); ainsi, nous présentons une construction de cubes posée sur une table et nous demandons de dessiner, chronologiquement, les vues du solide présenté lorsqu'on se déplace autour de ce solide. Enfin, l'item G4 montre des cordes emmêlées et demande si un nœud apparaîtra lorsqu'on tire sur les extrémités de la corde. Ce dernier item fait référence à l'anticipation d'un mouvement dans le plan.

Résultats pour la question 1 en lien avec l'apprentissage spatial des élèves

L'activité proposée lors du protocole correspond à la dernière leçon d'une séquence d'enseignement portant sur la boussole. Nous avons proposé deux versions : la première (groupe A) est une leçon où aucune demande d'anticipation n'est exigée de la part des élèves. La deuxième intervention (groupe B) a été adaptée afin de demander la même tâche, mais avec anticipation. Deux groupes équivalents ont été constitués par le maître de la classe. Dans les deux cas, les élèves doivent utiliser un message « codé » pour

écrire, grâce à la boussole, des lettres majuscules. Pour chaque lettre on propose des déplacements qui permettent de l'« écrire » (par exemple « 2 pas vers le sud, un pas vers l'est » dessine un L). Ce test a été réalisé sous forme d'entretiens individuels menés par les chercheurs.

Nous analyserons tout d'abord l'activité des élèves dans ces deux situations.

Groupe A (sans demande d'anticipation)

Les élèves du groupe A effectuent l'activité en disposant d'une boussole. Malgré cela ils pourraient spontanément essayer d'imaginer la lettre sans se déplacer, dès le départ, au cours ou à l'issue du déplacement; ce qui montrerait une bonne appréhension à l'espace. Nous avons observé si c'était le cas et si cette anticipation se mettait en place en cours d'activité.

Une première remarque concerne le positionnement des élèves : une majorité d'entre eux (7 sur 10), boussole en main, restent toujours orientés face au Nord lorsqu'ils effectuent leurs déplacements : ainsi, pour se déplacer vers le sud, l'élève recule au lieu de se retourner. Un seul élève, qui par ailleurs effectue tous les déplacements correctement, reste tourné vers le tableau (qui est vers l'ouest) et 2 élèves seulement s'orientent dans la direction de leur déplacement. Ils semblent, par conséquent, avoir besoin d'un point de référence stable et concret (avec leur corps) afin d'effectuer ces déplacements dans l'espace.

On constate également une très grande centration sur l'instrument : les élèves ne quittent pas des yeux la boussole, même ceux qui l'utilisent avec facilité. Certaines remarques montrent que l'utilisation de la boussole n'est pas acquise pour tous et que la notion de direction n'est pas construite, ainsi Miyu affirme que l'aiguille tourne alors que c'est elle qui tourne le cadran. Certains comportements relèvent de la même difficulté : Zaccharia tourne sans arrêt le cadran de la boussole sans savoir expliquer pourquoi.

Il semblerait que les problèmes techniques liés à l'utilisation de la boussole empêchent ces élèves d'utiliser « mentalement » les points cardinaux, une fois le nord repéré grâce à l'instrument. Ainsi, une focalisation sur l'action concrète évacue la nécessité d'une action intériorisée, comme également observé en classe de mathématiques (Marchand, 2006). On pourrait penser qu'il s'agit pour eux de se « rassurer » (la confusion est-ouest étant fréquente, même chez des adultes!), mais cette interprétation n'est sans doute pas suffisante. En effet, certains sont même en difficulté lors de déplacements vers le sud : ainsi Nouhaila, Zaccharia (même après plusieurs essais) ne reviennent pas sur leurs pas pour dessiner la première branche du U, Caroline s'étonne de repasser sur le même trajet, alors que Jules dit « je vais retourner sur mes pas ». De la même façon, Carla ne revient pas sur ses pas pour dessiner la barre du T (déplacement vers l'ouest puis vers l'est). Nombre d'enfants ne sont donc pas capables d'utiliser mentalement les points cardinaux pour se déplacer sans la boussole, mais même ceux qui ont manifestement intériorisé ces directions (Jules par exemple) restent focalisés sur leur boussole : est-ce un effet du contrat didactique, des choix didactiques ou une difficulté à réfléchir mentalement avant d'agir? Autrement dit l'accent mis dans la pédagogie sur « l'activité » de l'élève n'est-elle pas prise « au pied de la lettre », le terme activité étant lié à une activité manipulatoire : la manipulation ne se fait-elle pas, parfois, au détriment d'une réflexion chez l'élève et, par conséquent, du développement de leur appréhension de l'espace?

On constate en effet que la majorité des élèves de ce groupe n'énonce la réponse (la lettre) qu'après avoir regardé la lettre dessinée par le chercheur sur le sol (7 sur 10 et ce pour les 3 lettres). Ce constat met en évidence que ces élèves utilisent la même procédure du début à la fin de l'activité; aucune progression du point de vue des stratégies n'est observée. Seuls 3 élèves énoncent une lettre, et seulement la troisième, avant de terminer leur déplacement. On constate donc très peu de velléité d'anticipation spontanée, ce qui montre la nécessité d'une incitation explicite pour que les élèves fassent cet effort d'intériorisation.

Groupe B (avec demande d'anticipation)

Nous avons essayé de voir si les élèves étaient capables de visualiser mentalement le chemin décrit et sinon quel étayage était nécessaire pour qu'ils y parviennent. Nous nous sommes ensuite intéressées à l'évolution des performances des élèves au cours de cette activité en regardant à quelle étape ils étaient capables d'identifier chacune des lettres (1 : sans déplacement, 2 : avec déplacement, 3 : en observant le déplacement du chercheur, 4 : en lisant la lettre tracée au sol).

Le tableau ci-dessous indique le nombre d'élèves ayant réussi à chaque étape pour la première et la dernière lettre.

		Étape à laquelle les élèves parviennent à identifier la première lettre				
		1	2	3	4	Total
Étape à laquelle ils identifient la troisième lettre	1	4	1	1	2	8
	2	0	2	0	0	2
	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
	Total	4	3	1	2	10

On constate que quatre élèves parviennent à visualiser la lettre sans se déplacer dès la première lettre. Trois ont besoin de réaliser le déplacement, un de voir le chercheur se déplacer et deux n'y parviennent pas. Deux élèves ont besoin pour chaque lettre d'effectuer le déplacement pour imaginer la lettre. En dehors de ces deux élèves, tous parviennent à la fin de l'entretien à imaginer d'emblée la 3e lettre alors qu'elle est plus complexe.

Le travail d'anticipation demandé permet donc un progrès : c'est le cas pour tous les élèves (4 sur les 6 susceptibles de progresser – situés au-dessus de la diagonale dans le tableau ci-dessus). Ce type de progression ponctuelle a également été observée par Marchand (2009*a*) pour une activité similaire demandant aux élèves d'anticiper le solide de révolution résultant de la rotation d'une figure autour d'un axe de rotation confondu à un de ses côtés ou passant à l'intérieur de la figure.

On constate que parmi les élèves qui ne trouvent pas la lettre à la première étape, c'est majoritairement le fait d'effectuer le déplacement qui permet de réussir l'activité, alors que dans l'activité sans anticipation le fait de faire le déplacement ne suffit pas puisque pratiquement tous les élèves se retournent pour voir la lettre tracée au sol. Ce dernier constat vient renforcer les résultats préalablement obtenus par Marchand (2006) et Poirier (1999), qui mettent en lumière qu'une centration sur l'action concrète vient court-circuiter le passage à l'action intériorisée, comme l'anticipation de la lettre dans notre cas.

Résultats globaux pour la question 2 en lien avec les compétences spatiales des futurs enseignants

Nous allons maintenant présenter les résultats obtenus avec les 40 futurs maîtres de l'école élémentaire en géométrie et en astronomie.

Analyse par discipline

	Partie géométrie /5	Partie astronomie /5
Nombre de stagiaires en « réussite » $3,5<N\leq5$	19	22
Nombre de stagiaires en difficulté $N<2,5$	11	9

On peut noter que dans chaque domaine la moitié des stagiaires environ réussit la grande majorité des activités. En revanche, un quart d'entre eux sont en grande difficulté (note inférieure à la moyenne).

En astronomie, des difficultés demeurent malgré une formation, ce qui pose problème dans la mesure où ces stagiaires sont censés enseigner ces contenus dès la rentrée scolaire qui suit. En mathématiques, nous savions que les futurs enseignants éprouvaient des difficultés face à plusieurs concepts mathématiques et ce nouveau constat vient ajouter un nouveau problème. En réalité, ces résultats démontrent que les lacunes observées chez les élèves de l'école élémentaire et du collège se retrouvent également chez les étudiants en formation des maîtres, d'où la nécessité de développer les compétences spatiales dans l'enseignement dès le plus jeune âge.

Cela confirme les nombreux travaux (Berthelot et Salin, 1992; Clements et Battista, 1992; Whiteley, 2004; Van de Walle et Lovin, 2008; Marchand, 2009) qui montrent que le sens spatial est insuffisamment travaillé alors qu'il s'agit d'une compétence transversale utile à de nombreuses disciplines (géométrie, physique, technologie, EPS, etc.).

Analyse des performances individuelles et des corrélations éventuelles géométrie-astronomie

Les performances croisées des enseignants-stagiaires sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Astronomie / Géométrie	Note N>3,5	2,5≤N≤3,5	N<2,5
Note N>3,5	13	4	2
2,5≤N≤3,5	4	3	3
N<2,5	5	2	4

On constate que la moitié des stagiaires ont des résultats similaires dans les deux domaines (diagonale du tableau). En particulier un tiers d'entre eux environ (13) réussissent à la fois les items d'astronomie et ceux de géométrie.

Par contre, parmi les stagiaires ayant des difficultés en astronomie (dernière colonne du tableau), certains ont de bons résultats en géométrie. De la même façon, 5 stagiaires ayant une note inférieure à la moyenne en géométrie réussissent pourtant les items d'astronomie. On n'observe donc pas de lien automatique entre la réussite aux items d'astronomie et de géométrie.

Comme nous l'avons vu, comprendre les phénomènes astronomiques nécessite d'être capable de changer de point de vue, compétence qui est testée dans les items A2 et A4. Pour affiner l'analyse précédente, nous avons comparé les réponses à ces items aux réponses obtenues pour les items G1 et G3 de la partie mathématique du questionnaire qui mettent à l'épreuve cette compétence.

Items « différents points de vue » (G1, G3 et A2, A4)

Astronomie / Géométrie	Note N>1,5	1≤N≤1,5	N<1
Note N>1,5	13	8	3
1≤N≤1,5	5	3	4
N<1	2	1	1

On constate que parmi les 20 étudiants qui ont très bien performé en physique, 13 étudiants (65 %) réussissent également très bien en géométrie et seulement 2 (10 %) ont de très grosses difficultés dans ce domaine. On peut se demander si cela ne peut pas être dû à une difficulté à lire les représentations des solides ou encore à la différence de l'espace de référence (microespace versus macroespace).

Parmi les 8 qui éprouvent des grandes difficultés en physique, un seul est aussi en grande difficulté en géométrie.

Discussion

Nous avions deux questions de recherche. Nous les reprenons à présent et apportons des éléments de réponses.

Q1 : Comment pouvons-nous tirer profit des recommandations, propres au développement des connaissances spatiales en contexte de mathématiques, en classes de sciences?

Les recommandations issues des recherches dans le domaine de la didactique des mathématiques ont été prises en compte pour l'élaboration de la version B de l'intervention portant sur l'utilisation de la boussole. Ainsi, nous avons fait le choix de réaliser l'activité dans le mésoespace où l'élève était amené à réaliser mentalement des déplacements. Nous nous situons dans une problématique pratique selon Berthelot et Salin et au deuxième niveau du modèle de Van Hiele. En centrant l'activité de l'élève sur l'anticipation du résultat, au lieu de la réalisation du trajet, nous avons augmenté le niveau de difficulté de l'activité spatiale (passant du premier au deuxième niveau de Van Hiele). De plus, cette demande explicite d'anticipation a provoqué un moment clé durant l'activité où l'élève était obligé d'appréhender mentalement l'espace. Cette exigence s'est avérée nécessaire étant donné que l'anticipation n'est pas apparue spontanément pour le groupe contrôle. Nous avons remarqué également que le mouvement pouvait faciliter l'intériorisation des actions des élèves ayant plus de difficulté à s'imaginer mentalement le résultat. Par ces constats, nous pouvons en déduire que les recommandations ainsi que la SGA élaborée par Marchand (2006) peuvent se transférer en classe de sciences afin d'améliorer l'appréhension de l'espace. L'expérimentation a été réalisée en France, il faudrait réaliser la même expérience auprès d'élèves québécois afin de comparer les résultats respectifs.

Q2 : Existe-t-il une corrélation entre les connaissances spatiales développées par les futurs maîtres en sciences et en mathématiques?

À la suite de cette première étape exploratoire, nous ne pouvons pas affirmer qu'il y a une corrélation entre les connaissances spatiales développées en géométrie et celles développées en astronomie. Les résultats obtenus pour ces deux domaines nous permettent seulement de mentionner que la majorité des sujets qui réussissent le mieux dans un domaine réussissent également bien dans l'autre. Par contre, notre échantillon nous a fourni des résultats qui nous empêchent de conclure sur la réciproque; autrement dit, ce ne sont pas tous les sujets ayant des difficultés dans un domaine qui en ont dans l'autre. Afin de creuser cette question, il faudrait analyser davantage les tâches proposées en termes d'espace mis en jeu (micro, méso ou macro), le niveau de développement spatial impliqué et les objets proposés. Un entretien individuel faisant suite à ce questionnaire pourrait d'ailleurs alimenter nos résultats; ce cinquième temps sera à considérer pour les

prochaines passations. Même si la corrélation n'a pu être mise en évidence, nous en arrivons tout de même à la conclusion qu'il y a un grand nombre d'étudiants en formation des maîtres, pratiquement la moitié, qui éprouve encore des difficultés en lien avec les connaissances spatiales. Ce résultat a des répercussions importantes sur leur formation et devra être approfondi par des recherches ultérieures. Tout comme pour la première question, le questionnaire a seulement été réalisé en contexte français et il devra être repris pour les étudiants québécois en formation des maîtres.

En conclusion, plusieurs autres questions apparaissent dans ce champ de recherche. Entre autres, du point de vue de l'apprentissage, nous nous demandons si les connaissances spatiales développées par les élèves du primaire pour un contexte donné peuvent être mobilisées dans d'autres contextes, devenant, par conséquent, une stratégie spontanée et efficace pour les élèves. Plus globalement du point de vue de l'enseignant, les constats observés par ce projet nous mènent à nous questionner sur le rôle et la place de la manipulation d'objets réels dans la construction des savoirs (pourquoi, comment et quand manipuler?). Enfin, les deux domaines des mathématiques et de la physique dont il était question dans ce projet, soit respectivement la géométrie et l'astronomie, sont souvent les champs délaissés par les enseignants au primaire, on peut se demander quelle en est la raison.

Bibliographie

Berthelot, R. et Salin M.-H. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire*. Thèse de doctorat non-publiée, Université de Bordeaux I, Bordeaux, France.

Berthelot, R. et Salin, M.-H. (1993–1994). L'enseignement de la géométrie à l'école primaire. *Grand N*, *53*, 39–53.

Berthelot, R. et Salin, M.-H. (1999-2000). L'enseignement de l'espace à l'école primaire. *Grand N*, 65, 37-59.

Charnay, R. et Mante, M. (2008). *Concours de professeurs des Écoles. Mathématiques. Tome 1*. Éditions Hatier, Paris.

Clements, D. H. et Battista M. T. (1992). Geometry and spatial reasoning. In A. Douglas et Grouws (eds.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (420–464). New York, NY : Macmillan publishing company.

Descaves, A. (2007). *Mathématiques Du Professeur Des Écoles*, Hachette Éducation, Paris.

Jasmin, D., Merle, H. & Munier, V. (2006) : *Apprendre à se repérer, de la boussole au satellite, guide de l'enseignant, activités transdisciplinaires sciences, mathématiques, géographie*, collection Passerelle, Hatier, Paris.

Marchand, P. (2006). *La géométrie, tout un sport!* Montréal, Québec, Canada: Éditions Bande Didactique.

Marchand, P. (2009a). L'enseignement du sens spatial au secondaire : Analyse de deux leçons de troisième secondaire. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education* (CJSMTE), 9, no.1, 29-48.

Marchand, P. (2009b). Le développement du sens spatial au primaire. *Bulletin de l'AMQ* (association mathématique du Québec), vol. XLIX, no.3, 63-79.

Marchand, P. (2010). Premier chapitre. Formation initiale des maîtres au primaire et en adaptation scolaire et sociale : quelle formation mathématique? In J. Proulx & L. Gattuso (eds), *Formation des enseignants en mathématiques : tendances et perspectives actuelles*. Sherbrooke, Québec, Canada : Éditions du CRP.

MELS, ministère de l'éducation, du sport et des loisirs (2003). *Programme de formation de l'école québécoise.* Éducation préscolaire, enseignement primaire.

Merle, H. (1999). Difficultés dans la conceptualisation du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même. *Didaskalia*, 14, 61-94.

Merle, H. (2000). Comment aider à modéliser "le ciel et la Terre"? *Aster*, 31, 37-70.

Merle, H., & Munier, V. (2003). Comment conceptualiser la hauteur du Soleil en tant qu'angle au cycle 3? *Aster*, 36, 39-68.

Munier V., Merle, H., & Gerber, N. (2005). Le repérage de la position du Soleil : une première approche des coordonnées polaires en classe de 4ème. *Bulletin d'Union des Physiciens*, 870, 83-98.

Ministère de l'Education Nationale (France). (2007). *Mise en œuvre du socle commun de connaissances et de compétences; horaires et programmes d'enseignement de l'école primaire*. BOEN Hors série n°5 du 12 avril 2007, volumes 1-a et 1-b.

Ministère de l'Education Nationale (France). (2008). *Horaires et programmes d'enseignement de l'école primaire*. BOEN Hors série n°3 du 19 juin 2008.

Morin M.-P. et Theis, L. (2006). Mesures d'aide en mathématiques pour soutenir les étudiantes et étudiants de la formation initiale qui présentent des difficultés. In N. Bednarz, & C. Mary (Eds.), *L'enseignement des mathématiques face aux défis de l'école et des communautés. Actes du colloque Espace Mathématique Francophone* (CD-ROM). Sherbrooke, Québec, Canada : Éditions du CRP.

Poirier, L. (1999, septembre). Réflexion autour du matériel de manipulation. *Instantanées mathématiques, 36*, no. 1, 4–12.

Shepard, R.N. et Metzler, J. (1971). Mental rotation of three dimensionnal objects. *Science*, 171, 701-703.

Van de Walle, J. A. et Lovin, L. H. (2008*). L'enseignement des mathématiques. L'élève au centre de son apprentissage. Tome 3*. Traduit par C. Kazadi et M. Poirier-Patry, Éditions du Renouveau pédagogique inc., Saint-Laurent.

Van Hiele, P. M. (1959). La pensée de l'enfant et la géométrie. *Bulletin APMEP*, 198, 199-205.

Whiteley, W. (2004) *Visualization in Mathematics: Claims and Questions towards a Research Program*, 6 pages, http://www.math.yorku.ca/~whitely.

Annexe 1

Protocole d'entrevue

Plusieurs séances sur la boussole ont été animées par le maître de la classe de CM1 dans laquelle nous avons expérimenté. Lors de nos tests nous nous sommes assurés que les élèves savent utiliser la boussole pour déterminer les points cardinaux (N, S, E, O et directions intermédiaires : NE, SO…) et se déplacer dans une direction donnée. Dans quelques cas, nous avons dû revenir sur le mode d'emploi de cet instrument.

½ classe A : les élèves agissent concrètement sans demande explicite de notre part d'anticipation spatiale.

Consigne : Sur cette carte on a écrit des déplacements que tu dois effectuer en utilisant la boussole. Ces déplacements dessinent sur le sol une lettre majuscule qu'il faudra reconnaître. Au fur et à mesure de tes déplacements, je vais tracer ton chemin sur le sol.

L'élève effectue les déplacements codés à l'aide de la boussole, un chercheur dessine à la craie sur le sol ses déplacements (donc la lettre) puis lui demande quelle est la lettre dessinée.

½ classe B : le chercheur sollicite les images mentales des élèves (anticipation spatiale).

Consigne : Sur cette carte on a écrit des déplacements qu'on peut effectuer en utilisant la boussole. Ces déplacements dessinent sur le sol une lettre majuscule qu'il faudra reconnaître.

1) Essaie de deviner la lettre sans te déplacer.
   L'élève, qui ne dispose ni de papier ni de crayon, doit tout d'abord imaginer mentalement le résultat qui serait obtenu par déplacement, sans se déplacer.
2) Puisque tu n'y arrives pas réalise le déplacement puis essaie de deviner la lettre que tu as parcourue sur le sol.
   S'il n'y parvient pas l'élève effectue le déplacement après qu'on lui ait indiqué la direction du Nord et doit imaginer le parcours qu'il a réalisé sans l'avoir tracé par terre.
3) Puisque tu n'y arrives pas je vais réaliser le déplacement devant toi, essaie de deviner la lettre que j'ai parcourue sur le sol.
   S'il n'y parvient toujours pas, le chercheur se déplace devant l'élève qui l'observe et tente d'imaginer la lettre.
4) Puisque tu n'y arrives pas tu vas refaire les déplacements et au fur et à mesure je vais tracer ton chemin sur le sol.
   Enfin, si l'élève est toujours en échec, le chercheur dessine sur le sol, au fur et à mesure, les déplacements effectués par l'élève à l'aide de la boussole.

Un certain nombre de questions clefs guide le chercheur dans son échange avec les élèves. Par exemple :

- Arrives-tu à t'imaginer le trajet?
- Est-ce que le fait de réaliser les déplacements t'aide à imaginer la lettre?
- Que vois-tu dans ta tête? Te vois-tu faire les déplacements ou vois-tu le trajet par terre?

Les lettres données aux deux ½ classes sont de difficultés similaires. Pour chaque élève nous avons utilisé trois lettres appartenant chacune à une des trois catégories ci-dessous :

- directions simples sans aller-retour : C, P, O
- directions simples avec allers-retours : T, U
- directions inclinées sans aller-retour : N, Z

Ces lettres sont données par ordre de difficulté croissante, mais choisies de façon aléatoire dans chaque catégorie pour éviter les échanges entre élèves.

L'analyse porte sur la comparaison des activités et l'activité des élèves.

ENSEIGNEMENT DE LA MÉDECINE ET PENSÉE COMPLEXE. L'EXEMPLE DE *SOWA RIGPA*

(MÉDECINE TIBÉTAINE OU MÉDECINE AMCHI)

Marie-Thérèse Nicolas, Claude Caussidier, Christian Reynaud
et Daniel Favre
LIRDEF, Composante Didactique et Socialisation

1. Présentation – État de la situation

Actuellement en occident, un problème général en éducation vient du fait que les connaissances sont fragmentées et que ce morcellement des connaissances sous-tend tout l'apprentissage et la transmission. Pour les étudiants cela se traduit par une grande difficulté à faire des liens entre les connaissances et entraîne des difficultés de compréhension de la complexité des phénomènes et du réel. Étudier d'autres systèmes de transmission et d'apprentissage dans des contextes différents de celui du monde occidental peut s'avérer riche en enseignement. C'est ce que nous abordons ici sur le thème de la médecine. En effet, dans ce domaine aussi, on constate que les connaissances sont fragmentées et que, sous couvert d'objectivité, il y a dissociation totale entre d'une part le vécu et la conscience de l'homme et, d'autre part, l'univers naturel. À la suite d'Auguste Comte (1798-1857) et du développement de la démarche positiviste, la science a été cloisonnée en disciplines hiérarchisées. Le raisonnement se fait par disciplines, ce qui entraine une difficulté, un obstacle pour les étudiants souvent incapables de faire des liens entre elles. De plus, avec Descartes (1596-1650) et la conception mécanistique de l'homme, la vision de la nature est réduite à celle d'une matière observable et manipulable, ce qui a créé une tendance à la séparation et à l'exclusion. D'une manière générale, l'éducation occidentale ne nous incite guère à avoir une vision globale de l'univers et du réel qui nous entourent, car l'enseignement est toujours découpé en disciplines, ou en sous-disciplines fragmentées et isolées. En conséquence, il est difficile d'aborder les situations dans leur totalité, leur complexité et leur dynamique.

En médecine, et bien évidemment dans son apprentissage, une vision de l'individu pensé abstraitement, sérialisé, et uniquement mis en chiffres et statistiques prévaut actuellement. Lina Bertola (2004) et Didier Sicard (2004) ont bien analysé cette démarche dans laquelle :

- il y a réduction du malade à sa maladie,
- la personne malade est réduite à ses paramètres,
- il y a irruption exclusive des données chiffrées et des images,
- il ne reste que les faits et un corps objet, objet de diagnostics chiffrés et mis en images, objet de thérapies,

- la règle est la norme et non plus la personne (la biomédecine exprime cette normalité par ces paramètres biochimiques : des mesures, des quantités, de l'imagerie). « L'acte de relier [qui] est le fondement même du vivant » ainsi que l'écrit Hélène Trocmé-Fabre (2006) est perdu. Sicard (2002) peut écrire : « Nous sommes arrivés à un degré de parcellisation de l'être humain qui me semble extrême dans le sens où par exemple, un cardiologue refusera d'entendre parler de neurologie et réciproquement. »

Il y a une vingtaine d'années, une nouvelle façon d'enseigner la médecine est apparue, avec une nouvelle discipline : « la médecine factuelle » (Evidence Based Medicine, EBM, 1992). « La finalité de l'EBM est uniquement de mieux soigner au sens de "plus rationnel, plus valide" et donc plus efficace » (Pellet, 2006). L'EBM est une médecine fondée sur les preuves, qui se veut universelle et dont l'enjeu est la rationalisation entière de l'acte médical (Savard, 2003).

Nous posons alors la question : comment acquérir des connaissances et conserver une approche médicale qui ne fragmente pas, qui ne divise pas le savoir et le vécu, l'esprit et le corps (ce corps qui devient de plus en plus virtuel (Sicard, 2002) et qui est capable de considérer en même temps l'homme et le monde? Comment mettre en œuvre une démarche globale d'enseignement et d'apprentissage?

Comment généralement un objet d'étude est-il traité en occident? D'abord par l'emploi d'une démarche réductionniste en divisant l'objet pour mieux l'analyser et le connaître… de l'extérieur, ce qui a pour conséquence une vision dualiste du monde. De plus, seules ces connaissances de l'extérieur sont considérées et utilisées comme ayant une valeur universelle, que l'on ne met que très rarement en doute. Ainsi depuis plus de 200 ans, la pensée scientifique occidentale est appliquée dans tous les domaines du savoir humain.

Pour tenter d'appréhender avec un angle de vue différent les situations d'apprentissage, nous avons choisi d'étudier une autre médecine issue d'une autre culture et donc de concepts et d'approches différents. Notre choix s'est porté sur *Sowa Rigpa*, la science des soins, médecine pratiquée en Himalaya et au Tibet, appelée aussi médecine amchi (nom local du praticien), médecine traditionnelle de l'Himalaya ou encore médecine tibétaine[1].

Pourquoi s'intéresser au système médical tibétain, à Sowa Rigpa?

Il y a, en dehors de l'aspect de la thérapeutique elle-même, au moins deux raisons majeures pour justifier cet intérêt et cette démarche dans le cadre de l'enseignement et de l'éducation. Tout d'abord, la médecine tibétaine (*Sowa Rigpa*) est un exemple vivant de médecine actuellement enseignée et pratiquée et dont les concepts fondamentaux s'inscrivent, comme nous allons l'illustrer, dans le paradigme de la complexité tel que l'a développé Edgar Morin (1990). Ensuite, parce que l'enseignement utilise des créations didactiques originales, non simplifiantes, qui conservent et exposent la complexité : les arbres de la médecine.

---

[1] C'est le terme que nous utiliserons fréquemment, tout en étant conscients qu'il est réducteur. Le terme correct serait : praticien de *Sowa Rigpa*, mais celui-ci n'a pas toujours une connotation claire dans le contexte occidental.

Ces deux aspects offrent une perspective très riche de confrontation avec l'éducation dans les sociétés occidentales dites « avancées », dont Morin (1999*a*) a fait le constat suivant : « La parcellisation et la compartimentalisation des savoirs rendent incapable de saisir "ce qui est tissé ensemble" ».

Après avoir brièvement présenté les concepts et paradigmes de *Sowa Rigpa*, nous nous intéresserons aux pratiques de son enseignement et de l'enseignant, et des étudiants en situation.

2. Entre pensée complexe et pensée simplifiante : quel paradigme est mis en jeu dans la science *SOWA RIGPA*?

Sowa Rigpa est l'une des quatre médecines savantes à corpus écrit; les trois autres étant la médecine ayurvédique, la médecine chinoise et la médecine gréco-persane, ancêtre de la biomédecine contemporaine. Brièvement, ses concepts fondamentaux sont les suivants (Meyer, 1988; Tsona & Dakpa, 2001) :

- Tout être vivant est composé de 5 éléments (terre, eau, feu, air, espace), et est régi par un équilibre délicat établi entre les 3 *nyepas* = humeurs/énergies (appelés *Lung, Tripa, Bakan*). Ils constituent les invariants de *Sowa Rigpa*.
- Rien n'est permanent, que ce soit dans les composants ou les concepts.
- Tout est interdépendant, donc le corps et l'esprit, et rien n'existe de par lui-même sans relation avec d'autres phénomènes.

Notre analyse montre que l'épistémologie de cette médecine est soutenue par le paradigme de la complexité (Nicolas *et al.*, 2010) de Morin (1990). Le paradigme de la complexité repose sur trois principes illustrés comme suit :

Paradigme de la simplification	**Paradigme de la complexité**
Principe dualité/disjonction	Principe dialogique (association complexe, distinction mais non disjonction)
Principe de causalité linéaire (lois, invariance)	Principe récursif (autoproduction/autoorganisation, principe de causalité complexe comportant causalité mutuelle, interrelation, interrétroaction, synergie)
Principe d'isolement/disjonction (de l'objet par rapport à son environnement, et entre l'objet et le sujet qui le perçoit ou conçoit)	Principe hologrammatique (inscription du tout dans chacune des parties pourtant singulières)

(D'après Morin, 1990 et. Reynaud,1997)

Les trois principes du paradigme de la complexité peuvent être illustrés dans la médecine *Sowa Rigpa* de la façon suivante :

- Principe dialogique : pour les médecins tibétains, chaque élément naturel existe sous deux états opposés, selon la logique que s'il y a un poison, il doit y avoir un remède (Dorjee *et al.*, 2005).

- Principe récursif : manière dont les médecins tibétains envisagent à la fois le déclenchement et le traitement des maladies. En effet, selon cette médecine, la santé repose sur l'équilibre dynamique entre les 3 « *nyepas* », à la fois humeurs, énergies et moteurs des fonctions physiologiques, mais aussi poisons de l'esprit, chaque *nyepa* étant toujours envisagé par rapport aux 2 autres. Lorsque le déséquilibre s'installe, dans un ou plusieurs *nyepas*, la maladie se déclare. Mais si le déséquilibre est traité par un changement de régime ou de comportement, en une boucle récursive, un effet se produit, non seulement sur l'énergie déséquilibrée, mais sur les trois énergies qui peuvent alors, de nouveau interagir en équilibre (Figure 1).

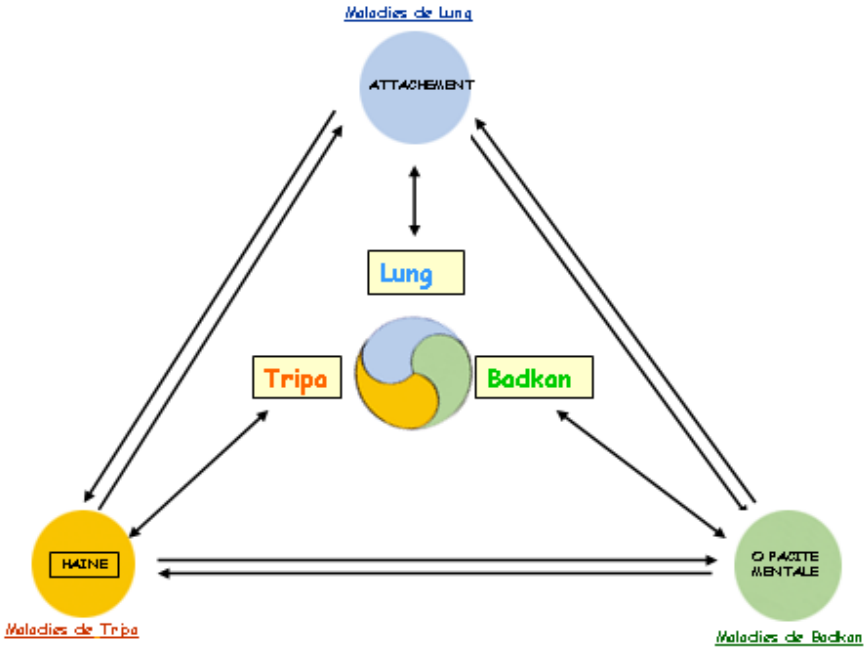


Figure 1: Interactions entre les 3 « nyepas » : humeurs/énergies (Lung, Tripa et Badkan) et poisons de l'esprit (attachement, haine, ignorance) : graines sommeillantes de la maladie.

- Principe hologrammatique : dans la technique de diagnostic qu'est la prise de pouls[2]. En médecine tibétaine, chacun des 12 pouls reflète directement l'état d'un organe. S'il y a un problème au niveau d'un organe, le pouls est modifié… et le médecin le diagnostique.

La démarche de *Sowa Rigpa* repose donc bien sur le paradigme de la pensée complexe, que ce soit dans sa conception de la personne au sein de son environnement ou dans l'approche de ses différents éléments constitutifs, chacun fonctionnant dans un équilibre dynamique et interdépendant. Les concepts de

[2] Le pouls en médecine tibétaine : la prise de pouls est issue de la médecine chinoise mais elle en diffère sur certains points (Meyer, 1988). Schématiquement, la lecture des pouls se fait successivement ou simultanément sur les artères radiales des avant-bras droit (6 pouls) et gauche (6 pouls). Elle permet au praticien de connaître l'état des organes. À chacun des doigts (index, majeur, annulaire) utilisés pour la prise de pouls, correspondent les pouls de 2 organes. Il y a aussi les 7 pouls de divination et des pouls dits spéciaux mais qui ne font pas directement partie de la méthode de diagnostic courante du médecin.

Sowa Rigpa sont stables, car ils constituent les bases d'un système explicatif qui a fait ses preuves et qui fonctionne. Toutefois, la possibilité d'évolution et de changements est envisageable, s'il est démontré que ces concepts ne sont plus valables ou opératoires.

Notre question est : comment est enseignée cette complexité afin de promouvoir et de maintenir une construction des conceptions de la santé et l'environnement qui n'isole pas la partie du tout?

3. Méthodologie

C'est une recherche qualitative utilisant majoritairement comme moyens d'étude, l'observation directe et participante et des entretiens semi-dirigés.

La méthodologie repose sur l'observation, l'immersion et l'analyse de situations réelles d'enseignement, d'apprentissage et de formation en relation avec le développement des sujets : étudiants et enseignants. La connaissance des processus d'enseignement et d'apprentissage est acquise grâce à l'expérience concrète des contraintes et des normes du groupe social étudié. Cette participation permet de tester les idées explicatives et de les réviser sans cesse pour proposer des analyses pertinentes. La confrontation entre ce qui est dit dans les entretiens et ce que les acteurs font effectivement devient une procédure d'expérimentation. Nous avons vu ci-dessus, que les concepts de la médecine tibétaine relèvent de la pensée complexe, et nous allons montrer que la façon d'apprendre permet la conservation et l'ancrage de la complexité dans l'esprit de l'étudiant. *Comment apprend-on en Himalaya?*

Deux cadres d'étude ont été abordés :

- Un enseignement fondé sur la lignée, enseignement de type « traditionnel » (c'est-à-dire s'inscrivant dans une lignée, avec transmission de maître à élèves) lors d'un séjour de quatre mois dans le petit village de Karsha (Chukchijal, Zanskar, J&K) en Himalaya Indien, chez le maître amchi Lonpo Sonam Wangchuck.
- Un enseignement académique au TMAI (Tibetan Medical and Astrological Institute), École de médecine du Men Tsee Khang à Dharamsala (HP) en Inde, durant 6 semaines.

4. Enseignement de type « traditionnel », fondé sur la lignée

La lignée des maîtres est très importante dans cette transmission orale car elle témoigne en quelque sorte de la qualité des connaissances transmises. Elle montre comment les savoirs ont été établis et transmis. La lignée de Sonam Wangchuck est prestigieuse puisque parmi ses ancêtres figure Sangyé Phuntsog, amchi/astrologue érudit du Zanskar, qui au milieu du XIXe siècle a enseigné la médecine et la langue tibétaine à Alexandre Csoma de Köros (1839), le père de la tibétologie. Le maître a suivi une éducation poussée avec différents maîtres (enseignants) (Figure 2).

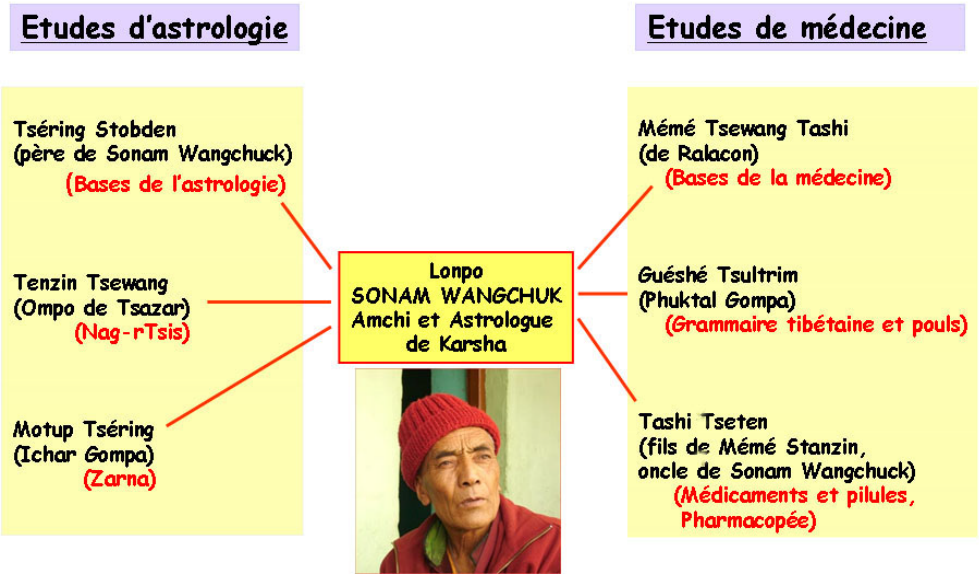


Figure 2 : Cursus d'apprentissage de la médecine et de l'astrologie de l'amchi Sonam Wangchuck.

Le maître doit avoir développé différentes qualités; il doit avoir acquis les trois non-peurs, caractéristiques du thérapeute c'est-à-dire, ne craindre ni la maladie, ni le malade, ni la mort (Bueso, 1998) : « Non-peur de la maladie, parce qu'il a acquis la maîtrise de sa technique médicale, non-peur du malade, parce qu'il a développé une attitude d'esprit empreinte d'une immense bonté, non-peur de la mort, parce qu'il a puisé dans les enseignements du bouddhisme une profonde connaissance du processus de "mort, naissance, vie, mort…", ce qui se traduit par une parfaite sérénité de chaque instant. »

Il faut remarquer que, traditionnellement, un médecin tibétain doit intégrer dans sa pratique l'enseignement et la transmission de son savoir à des élèves.

L'hiver pendant lequel j'ai participé à l'enseignement de Sonam Wangchuck, il avait trois élèves, chacun d'entre eux se trouvant à une étape particulière du processus d'apprentissage. L'enseignement se fait à la demande, c'est-à-dire, quand les étudiants ont la possibilité de venir : en hiver, période où les travaux domestiques sont réduits. L'enseignement n'a pas lieu le matin car, Sonam Wangchuck, qui est moine, fait ses pratiques religieuses. Il y a une exception toutefois, dans le cas d'une consultation, Sonam Wangchuck remet sa pratique à plus tard, expression de sa disponibilité vis-à-vis de ses patients. Autrefois, le cursus traditionnel s'étendait généralement sur 9 à 12 ans, ou même plus. Il comprend, outre la mémorisation du *Gyud-Zhi*, la reconnaissance et la récolte des plantes médicinales, la préparation des médicaments, et la pratique médicale.

Le maître fait naître chez l'étudiant une posture qui l'incite à constamment se situer et savoir où il en est par rapport à l'enseignement donné. Et ce, afin que le savoir, les savoirs, qui ont des références au départ extérieures à l'étudiant, deviennent des connaissances personnelles, subjectives. En d'autres termes, l'étudiant doit s'approprier le savoir et cette appropriation du savoir le fait changer. Pour

Sonam Wangchuck, l'étudiant " doit intégrer l'enseignement, le mettre en pratique pour aider les autres, et il doit transmettre son savoir." En outre, mémoriser le texte est une étape essentielle sur le chemin de la compétence clinique qui est l'acquisition de la maîtrise pratique de ce qui a été mémorisé. C'est ce qu'expérimente le deuxième étudiant qui se trouve dans une phase de compréhension et de début de mobilisation mais aussi de transfert, pour la fabrication de médicaments par exemple. Il reçoit les commentaires et les explications du maître. Il observe sa pratique médicale avant de s'impliquer. Enfin, il s'implique dans la fabrication des médicaments, pratique pharmaceutique qu'il effectue avec l'étudiant confirmé. Ce dernier, qui est dans la phase de mobilisation de la pratique médicale réalise des consultations et a de nombreux échanges avec Sonam Wangchuck. Quel que soit le niveau de l'étudiant, ce dernier manifeste un profond respect envers le maître.

5. Formation académique au Collège de médecine, Men Tsee Khang

Le cursus comprend 5 ans d'études et 1 ou 2 années de clinicat avec un médecin confirmé.

Chaque année, l'étudiant apprend par cœur les quatre traités formant le *Gyud-Zhi* [partiellement traduit en anglais : Ambrosia Tantra (1977), The basic Tantra and the explanatory Tantra (2008)]; il étudie des sujets non médicaux, comme la grammaire tibétaine ou le vocabulaire, un syllabus de biologie, et un syllabus de botanique (avec sortie sur le terrain). Biologie et botanique sont enseignées par des enseignants scientifiques (non médecins).

L'enseignement se fait sous forme de cours magistraux, le professeur lit un paragraphe du *Gyud-Zhi* et le commente. Les étudiants ne prennent que peu de notes, mais chacun annote son livre qu'il apprendra par cœur.

L'évaluation est de type académique avec des examens écrits et oraux sous forme de contrôle continu des connaissances : 3 fois par an (après 3 mois, 6 mois et 9 mois de cours).

Le maître ou le professeur est celui qui aide l'étudiant à s'approprier un savoir. Mais l'étudiant doit suivre strictement les concepts et les limites imposées par le maître, puis comprendre la théorie et sa pratique. Dans tous les cas, seul l'apprenant est auteur de son apprentissage, c'est aussi ce qu'écrit Giordan (1998). Dans cet apprentissage, l'accent est mis sur l'enseignant tout autant que sur l'étudiant, car c'est l'enseignant ou le maître qui « accompagne » l'apprenant pour favoriser la construction et l'émergence de structures mentales. Le maître ou l'enseignant transmet aussi des valeurs concernant notamment les règles d'éthique et de comportement du médecin, valeurs qui s'exprimeront dans les relations entre le médecin et ses patients.

Dans la transmission de *Sowa Rigpa*, le but de l'apprentissage est d'acquérir une complète connaissance :

- du corps et de l'esprit,
- des désordres existant en soi-même et chez les autres, l'homme étant dans la nature. Sur ce dernier point, il y a une différence nette avec l'approche occidentale pour laquelle l'homme domine la nature.

Il est intéressant de mettre en parallèle le premier but ci-dessus, avec la réflexion de Christian Hervé (2000) (ancien membre du Comité d'éthique en France) sur le même sujet : « Rarement abordée par les médecins

qui pour la plupart s'en tiennent à une vision mécanistique du corps, la question fondamentale des rapports du corps et de l'esprit est déniée dans la société ».

6. Comment la prise en compte de la complexité par la médecine tibétaine est-elle enseignée?

L'enseignement est de type frontal c'est-à-dire que l'étudiant doit enregistrer, comprendre, mémoriser. Mais tout comme dans la méthode constructiviste, l'enseignant va amener l'étudiant à construire son savoir, et ce par un cheminement qui est propre, dans le cas qui nous préoccupe, à l'enseignement de *Sowa Rigpa* (mais qui existe aussi dans l'enseignement bouddhiste) à savoir:

- la 1re année, on voit tout,
- la 2e année, on voit tout,
- la 3e année on commence à entrer dans les détails et on sépare, et à chaque fois avec des angles de vue différents et plus ou moins développés.

Cette approche du corpus permet de conserver en priorité l'approche systémique et complexe.

L'enseignement repose sur le *Gyud-Zhi*. Le texte est écrit sous forme de dialogues avec des questions et des réponses. Les aspects qui m'apparaissent importants sont les suivants :

- On enseigne la contextualisation : non pas d'une manière théorique, intellectuelle et abstraite mais, par exemple, en considérant qu'une maladie n'a jamais une cause unique; il y a des causes de base et des causes contextuelles; ainsi le déclenchement d'une maladie n'est jamais sous-tendu par une causalité linéaire. On ne réduit pas et on ne limite pas le connaissable à ce qui est mesurable et quantifiable, ni à une connaissance additive, les éléments sont considérés comme distincts mais non séparés, et l'aspect individuel et subjectif jamais écarté.
- On enseigne l'illusion et la relativité de ce que l'on observe, donc la possibilité d'erreur. Cette facette est en totale opposition avec la « tradition scientifique occidentale qui toute entière a privilégié l'idée que la connaissance est un miroir de la nature » (Varela, 1988). Dans la culture himalayenne, sous l'influence de la philosophie bouddhiste, la connaissance n'est pas un pur reflet des choses, n'est jamais la réalité. Et, comme le dit Morin (2005) « l'épistémologie moderne rejoint ce concept, car elle a montré que la théorie scientifique n'est pas le reflet du réel mais une construction de l'esprit qui essaie de s'appliquer sur le réel », ces constructions de l'esprit étant « des traductions du réel dans un langage qui est le notre c'est-à-dire celui d'une culture donnée, dans un temps donné ».

La rationalité de *Sowa Rigpa* s'efforce d'unir la cohérence et l'expérience.

Pour les enseignants, qu'est-ce qu'enseigner?

En biomédecine, c'est d'abord fournir un enrichissement informationnel (pensée simplifiante), présenté sous forme de disciplines, de structures intellectuelles juxtaposées. En occident, la mort, par exemple, est absente du cursus universitaire et est rattachée à une pathologie. En médecine tibétaine, au contraire, il

s'agit de provoquer un changement de conception (pensée complexe), en créant des liens. On peut dire que l'on enseigne ce qui relie, ce qui libère.

Qu'est-ce qui fait sens? En biomédecine, ce sont les marqueurs biologiques, les données, les statistiques, les images, la notion de cause est remplacée par la notion de risque. En médecine tibétaine, ce qui fait sens, c'est la personne, son ressenti; la personne n'est jamais confondue avec sa maladie.

Les médecins tibétains ont de tout temps considéré que chaque individu a son monde à lui et crée lui-même son monde, ce qui est assez proche de ce que von Uexküll (1934) a redécouvert au 20e siècle, conceptualisé sous le nom d'umwelt. Ainsi, chaque animal se crée son monde en lui donnant du sens et le monde n'existe pas de manière objective. On peut dire que *Sowa Rigpa* a toujours considéré « l'umwelt » de chaque individu, en y ajoutant la dimension spirituelle de l'esprit. Il est ainsi écrit dans le Dhammapada (stances sur l'enseignement du Bouddha) :

« Nous sommes ce que nous pensons.
Tout ce que nous sommes apparaît avec nos pensées.
À partir de nos pensées, nous créons le monde. »

L'esprit est donc le cœur, le centre de tout, le moteur qui entraîne le corps vers un état de bonne santé ou de maladie. Nous ne voyons jamais le monde tel qu'il est mais toujours à travers les visions déformées de l'esprit; et être aveugle à la réalité signifie s'isoler, se séparer du monde environnant. En conséquence, l'approche tibétaine de la guérison concerne de manière ultime l'accroissement de notre conscience pour élever notre perception limitée, cause de la maladie. Les textes médicaux décrivent le cœur comme la demeure de l'esprit. Et dans *Sowa Rigpa* l'esprit est au dessus du cœur. C'est le « chef » du cœur. Mais toujours, il faut être conscient, ainsi que le dit le Dr. Pema Dorjee (2005) que : « le monde n'est pas différent de l'esprit, l'esprit est le monde MAIS le monde n'est pas l'esprit ».

Prenons quelques autres exemples :

Qu'entend-t-on par médecine en occident? C'est la norme statistique, le risque normalisé, la performance et l'efficacité de l'action; alors qu'en *Sowa Rigpa*, ce qui importe c'est l'approche globale de l'individu qui est unique. L'accent est mis sur l'écoute du patient, sur son expérience au sens de ressenti à la première personne, et la médecine doit prendre en compte tous ces aspects.

Comment est considéré le corps? Le corps malade n'est pas un objet; il est indissolublement lié à un sujet, une personne singulière mais toujours constituée des mêmes éléments, commun à tout être vivant et non pas une mécanique et des données chiffrées.

Comment est envisagée la maladie? Ce n'est ni uniquement un problème biologique, et surtout ce n'est pas quelque chose d'étranger, d'anormal, qui vient de l'extérieur. C'est un dérèglement, un déséquilibre interne qui affecte la personne dans son ensemble. C'est ce même concept que l'on retrouve dans la médecine hippocratique.

Quelles sont les causes? En biomédecine on cherche et on considère encore fréquemment qu'une maladie a une cause unique, par un agent extérieur (expression de causalité linéaire), alors qu'en médecine tibétaine, les causes sont multiples, et à l'origine c'est l'esprit (expression de causalité récursive, complexe).

Dans l'enseignement lui-même que ce soit dans l'enseignement académique ou traditionnel, il y a deux points à souligner :

- Il y a d'abord transmission orale par la lecture du texte, puis transmission du sens par les explications. L'accent est mis sur l'écoute et l'attention.
- Il y a toujours plusieurs expositions du texte : d'abord d'une manière condensée (plan), puis d'une manière plus détaillée (explications), viennent ensuite les instructions puis la synthèse pour favoriser l'assimilation et avoir une vision d'ensemble.

Pour les enseignants de *Sowa Rigpa*, il apparaît que transmettre, c'est guider l'étudiant afin de lui permettre de faire l'expérience du savoir, de la connaissance médicale. Dans le processus d'enseignement, on retrouve les deux types de connaissances soulignées, dans un autre contexte, par Filliot (2007) : une connaissance intellectuelle, utilitaire, transmissible par la pensée discursive afin d'acquérir des « compétences sociales nécessaires et même indispensables dans toute vie en société ». Il y a aussi une connaissance, non communicable par des mots mais ancrée dans le concret et qui se forge et s'acquiert par l'expérience. C'est ce que Morin (2005) appelle « comprendre humainement », « comprendre comme sujet ». Ou comprendre/expérimenter à la première personne. Ainsi donc, le maître, le professeur, n'est pas uniquement centré sur le contenu du savoir à enseigner, mais d'abord sur l'apprenant et sa relation au contenu. Il transmet un ensemble de connaissances mais aussi de valeurs dont l'étudiant a besoin pour faire l'expérience liée à sa pratique de soins.

7. Comment la complexité est-elle intégrée par les étudiants? Qu'est ce qu'apprendre? Quelles sont les méthodologies d'apprentissage?

Qu'est ce qu'apprendre?

Pour Giordan (1998) apprendre « c'est organiser un système de conceptions », mais aussi (Giordan, 2002) « ce n'est pas seulement transmettre ou recevoir, c'est aussi transformer les idées, les façons de raisonner ». Pour Sonam Wangchuck, le mot apprendre a deux sens : c'est à la fois s'instruire, acquérir des connaissances, et pouvoir, dans sa pratique les utiliser avec discernement, mais c'est aussi transmettre son savoir. Le premier aspect important de l'apprentissage est l'importance et le rôle de la mémoire et de la mémorisation corrélée à un apprentissage par cœur : mémorisation d'abord des textes médicaux (*Gyud-Zhi)*, avec transmission orale et des pratiques.

L'accent mis sur la mémorisation rappelle l'art de la mémoire tel qu'il a été développé en occident dans l'antiquité et le moyen-âge. (Yates, 1966; Carruthers, 2002).

Dans nos sociétés occidentales, on considère en général que la répétition et la mémoire servent à l'accumulation des connaissances, et ce d'une manière linéaire. En médecine tibétaine, la mémoire sert au non-oubli de l'objet connu et empêche la distraction, donc favorise une meilleure concentration et un meilleur discernement. Enfin, elle permet l'intégration de plus en plus intime du savoir dans la vie et l'acquisition d'un savoir-faire qui devient un savoir-être.

- Pourquoi la mémorisation a-t-elle une si grande valeur dans l'éducation?
- Quel est le rôle de la mémoire dans le processus d'apprentissage?

Il s'agit d'un apprentissage par cœur, à haute voix, qui nécessite attention, persévérance et répétition, ce qui permet la concentration et évite la dispersion. Il existe des aides à la mémorisation telles que la versification (le *Gyud-Zhi* est écrit en vers) et le rythme à 9 temps, bien étudiés par Millard (2002) dans une école de médecine au Népal, et l'emploi de listes, techniques courantes dans les traditions orales. En conséquence, la répétition et la mélodie produisent une imprégnation du texte dans la mémoire de l'apprenant, et ce, de manière indélébile. Les explications et commentaires ne viennent qu'après la connaissance par cœur. Le but est l'imprégnation du texte de manière permanente dans la mémoire de l'apprenant, afin de mobiliser de manière pertinente et efficace les savoirs nécessaires dans la pratique médicale. Au début, tout n'est pas compris ni intégré mais, pour utiliser une métaphore chère à la pensée tibétaine, la mémorisation agit comme la mise en terre de graines qui, un jour, s'épanouiront. C'est ce qu'expérimente le premier étudiant, une jeune nonne qui répète et apprend par cœur le *Gyud-Zhi*.

Cette importance et ce rôle de la mémoire sont, en occident, actuellement en voie de disparition avec les nouvelles technologies de l'information. Ce qui amène Jean-Michel Cornu à constater (2008): « Actuellement on a perdu la mémoire et en perdant la mémoire, n'a-t-on pas perdu une forme de pensée? »

Pour l'enseignement de *Sowa Rigpa,* on enseigne une organisation des savoirs avec l'origine, l'histoire et la transmission au travers des lignées. Ceci permet d'exposer et d'intégrer l'histoire de cette médecine et la façon dont les savoirs ont été établis et transmis. Cet aspect rejoint ce que souligne Morin (1999*b*) à propos de l'histoire : « l'histoire devrait jouer un rôle clé … en permettant à l'élève de s'incorporer l'histoire de sa nation, de se situer dans le devenir historique. »

Répétition et persévérance sont caractéristiques de la méthodologie d'apprentissage, associées à l'attention et à la concentration. La répétition force à concentrer l'attention sur le texte, au lieu de se disperser. Cela exige de l'effort, mais permet d'approfondir le sens, et cela conduit à un enracinement.

On enseigne à affronter l'incertitude de la vie courante … Par exemple, l'incertitude du moment de la mort. Mais pour autant, il n'y a pas confusion entre le bouddhisme et le système médical. Ainsi que le souligne Tokar (1998) « la médecine tibétaine et le bouddhisme sont deux systèmes différents, qui sont séparés comme deux doigts d'une main … Mais qui sont reliés dans la main elle-même ».

La question du temps, et donc de la maturation des connaissances est importante. Elle est mise en évidence dans la façon dont les questions sont considérées. Ainsi, les questions ne révèlent pas une curiosité, mais une intégration partielle du sujet et un manque de discernement. Elles sont donc peu fréquentes et ne donnent

généralement pas lieu à une réponse directe et immédiate. Il n'est pas rare que ce soit seulement le lendemain où les jours suivants, que le maître, à l'occasion d'un dialogue, revienne sur la question posée.

Enfin, tout comme dans la méthode constructiviste, l'enseignant va amener l'étudiant à construire son savoir, et ce, par un cheminement qui est propre, dans le cas qui nous préoccupe, à l'enseignement de la médecine tibétaine, ainsi c'est seulement en 3e année (sur un cursus de 6) que l'on entre dans les détails et que l'on sépare.

Comment concrètement cet enseignement se déroule-t-il?

Avec l'apprentissage successif des quatre volumes du traité de médecine, c'est une stratégie d'apprentissage qui est présentée, éclairée sous des angles différents. S'il s'agit d'un apprentissage par cœur, on enseigne ce qu'est une connaissance pertinente, non isolée, contextualisée, afin de comprendre et la mémorisation est toujours associée à la réflexion, car « étudier sans réfléchir est stérile » (Borromée *et al.*, 1984). L'étudiant va donc d'abord écouter, recueillir l'enseignement, le mémoriser pour pouvoir réfléchir, le comprendre, avoir des explications et enfin passer à la pratique. Faute de quoi, pour les médecins tibétains, la connaissance acquise risque de n'être qu'intellectuelle et donc, selon l'enseignant, que superficielle.

L'accent est mis sur l'enseignement et la pratique de l'éthique du maître comme de l'étudiant qui apprend la médecine afin d'aider les autres. Cet apprentissage conduit aussi à la transformation de son propre être. Il s'agit là d'une transmission de compétences axiologiques. Ce qui rappelle Platon pour qui l'éducation ne conduit pas a une simple érudition, mais conduit surtout à une conversion de l'âme.

Enfin, les étudiants apprennent à organiser leurs connaissances, en utilisant les arbres de médecine.

Autres éléments essentiels, l'attention et la concentration

Le texte n'est pas considéré comme quelque chose qu'on devrait avoir dans le rayonnage de sa bibliothèque afin de le consulter, il doit être incorporé et faire partie intégrante de l'apprenant qui est alors un expert avec un savoir-faire sans faille. La mémoire a un rôle actif dans la production du sens, donc dans la créativité (cf. Filliot, 2007). Les apprenants amchi, pour devenir des praticiens compétents, doivent acquérir la maîtrise de ce qu'ils ont mémorisé.

Petit à petit, ce qui a été mémorisé sera compris, approprié par l'apprenant et intégré dans sa sphère de compétence. Et ce, par trois moyens :

- la transmission orale, l'apprentissage, les explications, l'exégèse dans le contexte du « cours »,
- l'observation et l'implication dans la pratique médicale,
- l'implication dans la pratique pharmaceutique.

Ainsi, la connaissance préalablement mémorisée et apprise n'est pas seulement rappelée mais énactée (au sens de Varela, 1993), c'est-à-dire guidée par la perception de ce que l'amchi voit, et les structures cognitives émergent des schèmes sensorimoteurs récurrents qui permettent à l'action d'être guidée par la perception. Le sens est, à travers la mémoire, produit par un processus qui lie ensemble des éléments associés dans l'esprit du praticien.

« L'apprentissage est rarement le produit d'une simple transmission. C'est surtout le résultat d'un processus de transformation… De transformation des questions, des idées initiales, des façons de raisonner. ». Cette remarque de Giordan (1998) peut s'appliquer à l'enseignement donné par le maître aux étudiants tibétains. En effet, la posture de l'enseignant et le développement de ses qualités associent la dimension cognitive et psychoaffective, c'est l'amour d'autrui : attention bienveillante et gratuite, qui est aussi sagesse et discernement. Ce sont des postures imprégnées par la philosophie bouddhique. L'enseignant enseigne ce qu'il est et non ce qu'il sait.

Pour Giordan (2002), « apprendre n'est pas seulement mémoriser, se conditionner ou encore échafauder un système de connaissances cohérentes. C'est aussi modifier, parfois en profondeur, la structure même de la pensée ».

Au final, dans la transmission de Sowa Rigpa, qu'est-ce qu'apprendre?

Pour A. Giordan (1998) et Giordan & Saltet (2007) apprendre c'est : (1) comprendre, (2) mémoriser, (3) mobiliser. Dans la transmission de *Sowa Rigpa*, on retrouve cette triade mais dans un ordre différent, c'est d'abord (1) mémoriser, puis (2) comprendre, et (3) mobiliser. On retrouve les trois pôles identiques mais dans un ordre différent. Dans les deux cas, seul l'apprenant est auteur de son apprentissage

Que ce soit dans l'enseignement traditionnel selon la lignée ou dans l'enseignement dans l'école de médecine du MenTsee Khang, apprendre peut se relier suivant la figure 3.

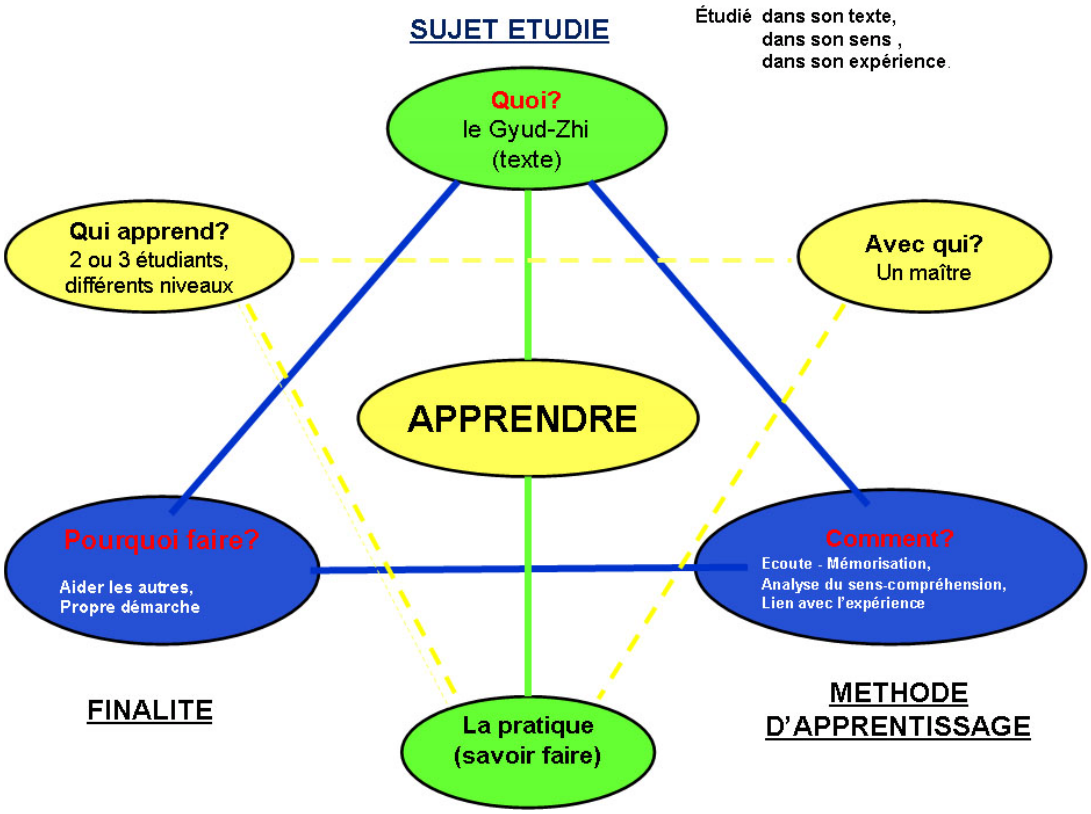


Figure 3 : Les constantes dans l'apprentissage de *Sowa Rigpa* dans l'enseignement traditionnel (lignée) et dans l'enseignement académique.

Si l'on revient aux écrits de Morin (1999a) dans « Les 7 savoirs nécessaires à l'éducation du futur », il observe que : « L'unité complexe de la nature humaine… est complètement désintégrée dans l'enseignement à travers les disciplines… », et il poursuit : « Il faut la restituer, de façon à ce que chacun, où qu'il soit, prenne connaissance et conscience à la fois de son identité complexe *[et nous ajouterions : et unique]* et de son identité commune avec tous les êtres humains *[et nous ajouterions : avec tous les êtres vivants]* ». C'est ce qui est réalisé dans la transmission de *Sowa Rigpa*. En effet, les amchis et les enseignants de médecine tibétaine, ont su conserver et ont d'emblée une vision intégrée et systémique de la personne dans son environnement dont ils se considèrent comme partie prenante, c'est une illustration du paradigme de la pensée complexe.

Toutefois ce qui est surprenant, c'est qu'en dépit d'un type d'enseignement très dogmatique, l'étudiant, et donc le praticien, conservent une approche complexe du sujet médical et du patient. Pourquoi? C'est une question qui mériterait réflexion. Mais peut-être est-ce, en partie, tout simplement parce que, comme le suggère Krishnamurti (1974) l'enseignant enseigne ce qu'il est et non ce qu'il sait.

Enfin, il y a aussi dans l'enseignement de *Sowa Rigpa* une dimension qui est essentielle : c'est l'intériorité. Elle n'est ni mesurable, ni quantifiable. Elle est pourtant le socle de l'action éducative. C'est ce que l'on retrouve aussi chez les Indiens d'Amérique, ou en Afrique. « Oublier cette dimension essentielle *[comme nous le faisons trop souvent en occident],* c'est réduire l'apprentissage à une mécanique sans signification humaine au profit du culte de la performance. » (Filliot, 2007). Dans *Sowa Rigpa*, il ya une éthique (un comportement éthique) pour enseigner la médecine, de même que pour recevoir l'enseignement. Elle porte sur la manière d'écouter l'enseignement et la manière de donner l'enseignement.

8. La gestion des connaissances et la communication des savoirs

Un autre aspect important dans l'apprentissage est la façon dont sont conçues et expérimentées la gestion des connaissances médicales et la communication de ces savoirs. C'est une des questions les plus aigües dans l'enseignement supérieur, car elle concerne la maîtrise des informations, des savoirs et des concepts de la médecine pour en avoir une vision organisée à la fois globale et précise, autrement dit : comment faire des liens?

La réponse de la médecine tibétaine c'est, cartographier pour maîtriser… « Car une image vaut mille mots ». Il y a, encore actuellement, création et développement de toute une famille d'outils : les représentations spatiales de concepts, nommées Mind mapping, Knowledge mapping, cartes conceptuelles ou cartes heuristiques. (Deladrière *et al.*, 2004) Ce sont des cartes qui, en cartographiant l'information, permettent de découvrir, outils qui permettent d'être au clair avec ses idées, ses informations, ses connaissances, et ce, entre autres, en établissant des liens (cf. Le Bihan, et l'EFH). Car (selon C. Tricot, 2006), « le problème n'est plus l'archivage ou l'indexation des informations, mais celui d'une appréhension globale reposant sur les connaissances de l'organisation ».

Les enseignants de la médecine tibétaine ont fait un choix particulier : les arbres déployés de la médecine (Figure 4).

Figure 4 : Arbre de médicine (physiologie) montrant les deux troncs de la santé (équilibre) et du déséquilibre (Musée du TMAI, Dharamsala, Inde).

Ce sont des instruments de production et d'exposition des connaissances qui peuvent être considérés des modèles heuristiques donnant une représentation verbale (quand on les apprend à haute voix) et iconique (par le graphisme et leur valeur sémiotique) du fonctionnement d'un système réel, ici celui de l'équilibre ou du déséquilibre, lié à la santé ou à la maladie. Carruthers (2002) dans un autre contexte, insiste aussi sur « le besoin qu'a l'homme de visualiser ses pensées comme un ensemble organisé d'images ou de représentations ».

Les représentations spatiales de concepts sont anciennes. En 1984, Novak et Gowin les ont repensées pour les présenter sous forme de « concept maps », cartes d'organisation d'idées et de représentation non linéaire de l'information qui sont des outils pour acquérir des procédures d'apprentissage (Figure 4). Ces cartes ont pour fonction de construire des liens entre les concepts ou entre les attributs d'un même concept. Elles expriment donc visuellement le concept d'interrelation, concept essentiel dans tout apprentissage. Il s'agit donc de cartes d'organisation d'idées et de représentations non linéaires de l'information.

Trois arbres déployés apparaissent à la fin du premier des quatre volumes du *Gyud-Zhi*:

1. L'arbre de la physiologie : arbre de la santé et de la maladie, appelé parfois arbre de l'équilibre et du déséquilibre.
2. L'arbre du diagnostic.

3. L'arbre de la thérapeutique ou arbre des soins.

Il est d'ailleurs intéressant de mettre en parallèle ce qui a sous-tendu la démarche de Sangyé Gyatso (17e siècle) (Meyer, 1990), concepteur des arbres tels qu'ils sont connus aujourd'hui et qui a finalisé leur représentation, et la réflexion contemporaine de Morin (1999b) pour qui, « L'aptitude à contextualiser et à globaliser les savoirs devient un impératif d'éducation ». Sangyé Gyatso justifie ainsi l'exécution des tankas (peinture sur tissu) des arbres de médecine : « Il m'apparut que l'identification (des concepts et des objets) sur des peintures spéciales serait utile à une compréhension de fond » afin que « tout le contenu du *Guyd-Zhi* soit, depuis l'érudit jusqu'à l'enfant, compris aisément comme la vue d'un fruit dans le creux de la main » (dans Meyer, 1990). Quand les étudiants apprennent le *Gyud-zhi*, ils apprennent les arbres qu'ils construisent eux-mêmes, démarche qui permet aux étudiants de s'approprier le savoir. Enfin, ces arbres sont aussi utilisés dans l'évaluation des connaissances.

Ces arbres ne sont pas qu'une classification comme dans le cas d'un arbre phylogénétique. Ce sont des arbres de dialogue, des images scientifiques. Or, qu'est-ce qu'une image scientifique? C'est « un énoncé iconique » qui « concerne une interprétation scientifique du monde qui est encodée dans l'image » (Clément, 1996). C'est le cas de ces arbres déployés; le premier, permet d'illustrer et donne à voir immédiatement l'ensemble des éléments : humeurs, nyepas, constituants… etc. et leur interrelation pour produire l'équilibre ou le déséquilibre. Le deuxième illustre les processus pour effectuer un diagnostic, et le troisième pour déterminer les thérapeutiques applicables pour la guérison.

Ces arbres ont été publiés pour la première fois par le « Courrier de l'Unesco » (Khoudanova, 1979). Ces dessins apportent des informations, les hiérarchisent et forment le substrat de connaissances inhérentes à *Sowa Rigpa*. Ils rassemblent et illustrent les points essentiels de l'enseignement médical correspondant aux chapitres 3 à 5 du premier tantra ou traité racine. Les couleurs selon les trois humeurs (bleu pour lung, jaune pour tripa et blanc pour badkan), permettent de caractériser l'appartenance humorale de chaque feuille considérée. Chaque feuille apparaît comme une partie d'un ensemble, avec une position particulière dans cet ensemble, selon, par exemple, qu'il est en bas ou en haut du tronc de la bonne santé. Ainsi, dans l'arbre de la physiologie (Figure 4) représentant l'état de bonne santé ou d'équilibre (tronc de gauche) et l'état de déséquilibre ou de maladie (tronc de droite), chacune des feuilles représente un élément d'un de ces états. La structure de l'arbre constitue un modèle cohérent qui permet de visualiser la complexité. Les arbres déployés « sont des instruments de production d'exposition des connaissances » c'est-à-dire des modèles, selon la définition donnée par Le Moigne (1985).

Durant leur apprentissage, les futurs médecins sont incités à reconstruire ces arbres (Amchi Lungtok, communication personnelle). J'ai pu moi-même l'observer lorsque Motup, étudiant amchi, a passé son examen traditionnel d'amchi, au Zanskar (2007) (Figure 5).

Figure 5 : Construction de l'arbre de la santé (équilibre) et du déséquilibre, à l'aide de tiges de bois et de galets, lors de l'examen traditionnel d'amchi au Zanskar en 2007.

9. Conclusion

Cette étude des concepts et de la transmission de *Sowa Rigpa* illustre que l'on est là dans une épistémologie de la complexité. L'enseignement de *Sowa Rigpa* ne fournit pas uniquement une connaissance explicative de la santé et/ou de la maladie, ou plutôt de l'équilibre et du déséquilibre, mais une connaissance compréhensive qui fait appel à l'ouverture, la communication et à l'empathie. D'ailleurs, historiquement, dès sa fondation et son établissement, la médecine tibétaine a reçu et intégré avec succès des apports d'autres médecines sans négliger les connaissances médicales endogènes puisque le premier congrès mondial de médecine a été organisé au Tibet au 10e siècle. Elle est donc caractérisée dès le départ par un mode de pensée capable de relier des connaissances et de les intégrer.

Si la médecine occidentale à cause de sa trop grande compartimentation a du mal à envisager une construction de l'objet qui prenne en compte l'ensemble des disciplines nécessaire à sa compréhension, les amchi enseignant *Sowa Rigpa*, ont su conserver et ont d'emblée une vision intégrée et systémique de la personne dans son environnement dont ils se considèrent comme partie prenante.

Sowa Rigpa et son enseignement nous offrent un exemple de réflexion et me semblent être une illustration d'une complexité vécue, enseignée et toujours opératoire et opérante dans le contexte himalayen. Il me semble que l'occident, dans son propre contexte, pourrait trouver profit de s'inspirer d'une telle démarche. En effet, quels sont les choix à retenir de ce voyage en *Sowa rigpa* :

1) L'intérêt de la curiosité et de l'ouverture, l'intérêt d'aller voir ailleurs… dans des contextes dits, de façon un peu impérialiste « traditionnels »… Car le système occidental n'est aussi qu'un système traditionnel mais qui s'est (à l'heure actuelle) imposé et s'impose mondialement par la force.
2) Faire preuve d'humilité et accepter de changer nos façons de voir et de faire!!!!

Bien sûr, il n'est pas question d'appliquer à la lettre les méthodes observées qui ne sont pas dans notre contexte occidental. Bien sûr, cela nécessite de réfléchir, de s'imprégner d'abord des démarches philosophiques de complexité (Morin, 1999*b*; 2005), d'émergence et d'énaction (Varela, 1993, 1996), pour les employer de manière originale à chaque nouvelle situation.

Ensuite, cela nécessite aussi de s'entrainer, d'expérimenter à la première personne… et de permettre aux étudiants et aux élèves de suivre la même démarche. C'est une des démarches de base de tout enseignement traditionnel dans quelque domaine que ce soit (en Asie, Afrique, chez les indiens ou les peuples dits autochtones). C'est ce que nous avons oublié et qu'il nous faut redécouvrir et réapprendre nous-mêmes.

Il me paraît nécessaire de faire le choix de la complexité, non seulement en médecine mais dans tout enseignement, complexité comme instrument d'investigation, d'enseignement et d'apprentissage. Cela permettra, me semble-t-il, d'intégrer l'aspect connaissance et l'aspect humain, indispensable pour permettre un développement harmonieux de l'homme et de sa place de responsable en tant que citoyen du monde.

Références :

Bertola L. 2004 – Ethique et Education. Un autre regard. *.Eds paradigme Idea, Nice, Fr.*

Borromée A., Dagpo Rimpoché, Laforêt C. 1984 - Le Dalaï Lama. *Edss Olivier Orb, Paris, Fr.*

Bueso G. 1998 - Parlons tibétain. *Ed. L'Harmattan, Paris, Fr.*

Carruthers M. 2002 - Machina memorialis. *Paris: Editions NRF, Paris, Fr.*

Clément P. 1996 - L'imagerie biomédicale. *Aster*, 22, 87-99.

Cornu J.M. 2008 - Nouvelles technologies, nouvelles pensées. *Editions Fyp, Paris, Fr.*

Csoma de Körös A. 1839 - Analysis of a Tibetan Medical Work. *Journal of the Asiatic Society of Bengal*, n° 37, 1-20.

Deladrière J., Le Bihan F., Mongin P., Rebaud D. 2004 - Organisez Vos Idees - avec le Mind Mapping. *Dunod Ed., Paris, Fr.*

Dorjee P., Jones J., Moore T. 2005 - Heal your spirit, heal yourself. *Ed. Watkins publishing, London, UK.*

EBM, Evidence based-medicine. (1992) A new approach to teaching the practice of medicine. *JAMA*, 268, 2420-2425.

Filliot P. 2007 - L'éducation spirituelle ou l'autre de la pédagogie. *Thèse Université de Paris 8* 380p. (http://www.grouperavi.org/acc_manchettes_2.php)

Giordan A. 1998 - Apprendre! *Belin Ed. Paris, Fr.*

Giordan A. 2002 - Apprendre. Conférence, 10 octobre 2002, à l'ENS Paris. (http://www;diffusion.ns.fr/index.php?idconf=99&res=conf)

Giordan A. et Saltet J. (2007). Apprendre à apprendre. *Librio Ed., Paris, Fr.*

Hervé C. 2000 – Ethique, politique et santé. *PUF Ed., Paris, Fr.*

Khoundanova L.K. 1979 - La médecine tibétaine. *Courrier de l'Unesco*, n°7, I, 20-24.

Krishnamurti J. 1974 - Réponses sur l'éducation. *Eds Bartillat, Paris, Fr.*

Le Bihan – site de l'Ecole Française de l'Euristique (http://www.efh.fr/sitemap/)

Le Moigne J.L. 1985 - Qu'est ce qu'un modèle? Les modèles expérimentaux et la clinique, *Ed. AMRP, Fr*

Meyer F. 1988 - Gso-Ba Rig-Pa, le système médical tibétain. *Ed. CNRS. Paris, Fr.*

Meyer F. 1990 - Introduction à l'étude d'une série de peintures médicales créées à Lhassa au 17ème siècle. In « Tibet, civilisation et société ». *Ed. Fondations Singer-Polignac,Paris, Fr.*

Meyer F. 1998 - "Théorie et pratique de la médecine tibétaine", Médecines orientales. Guide illustré des médecines d'Asie. *Ed. Solin/Actes Sud, Arles, Fr.*

Millard C. 2002 - Learning processes in a Tibetan Medical School. *PhD - University of Edinburgh, Department of Social Anthropology, Edinburgh, UK.*

Morin E. 1990 - Introduction à la pensée complexe. *Ed. du Seuil, Paris, Fr.*

Morin E. 1999a - Les sept savoirs nécessaires pour l'éducation du futur. *Paris: UNESCO*

Morin E. 1999b - La tête bien faite. *Ed. du Seuil, Paris, Fr.*

Morin E. 2005 - Complexité restreinte, complexité générale. *Colloque « Intelligence de la complexité : épistémologie et pragmatique ». p.1-27. Colloque de Cerisy*, *Fr.*

Nicolas M.T. 2010 – Enseigner la medicine: comment apprendre à faire des liens? In *« Complexité 2010 » : « La pensée complexe : défis et opportunités pour l'éducation, la recherche et les oganisations »*, Lille, 31 mars-1 avril 2010. pp.12.

Novak J., Gowin D.B. 1984 - Learning how to learn. *Cambridge Uni. Press, UK.*

Pellet J. 2006 - Le cauchemar d'Hippocrate. *Ed. Yves Michel, Barret sur Méouges, Fr.*

Reynaud C. 1997 -.Contribution à la formalisation et à la communication d'un concept

d'écologie des milieux littoraux : les écosystèmes paraliques - Interprétation épistémologique et propositions didactiques. *Thèse de doctorat, Université Montpellier 2. Fr.*

Sicard D. 2002 - La médecine sans le corps. *Ed. Plon, Paris, Fr.*

Sicard D. 2004 - Réflexions sur le progrès en médecine. *Revue Médecine et Hygiène*, n° 2491, 1535-1538.

The Ambrosia Heart Tantra (with annotations by Dr. Yeshi Dönden) 1977 - *Library of Tibetan Works and Archives*, *Dharamsala, India,* 118p.

The Basic Tantra and the Explanatory Tantra from the secret quintessential instructions on the eigth branches of the Ambrosia essence Tantra 2008 - *Men tsee Khang Publications*, *Dharamsala,* 375p.

Tokar E. 1998 - Defining a role for tibetan medicine in the context of modern healthcare. *In Asian Medicine - Tradition and modernity, 2*(2)*, p.304-315, Brill Editions, NL.*

Tricot C. 2006 - Cartographie sémantique. *Thèse Université de Savoie,* 278p.

(www.knowledge-mapping.net/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=28)

Trocmé-Fabre H. 2006 - Relier, ce mot clé du vivant. In « *Le journal des chercheurs* » 16 octobre 2006 (http://www.barbier-rd.nom.fr/journal/article.php3?id_article=661).

Tsona LT. & Dakpa T. (2001). Fundamentals of Tibetan Medicine. *Men Tsee Khang Publications, Dharamsala*, *India*.

Uexküll von J. (1965) Mondes animaux, mondes humains. 1934 - *Traduction française Ed. Denoël, Paris, Fr.*

Varela F. 1988 – Invitation aux sciences cognitives. *Ed. Seuil, Paris, Fr.*

Varela F. 1993 - L'inscription corporelle de l'esprit. *Ed. Seuil, Paris, Fr.*

Varela F. 1996 - Quel savoir pour l'éthique? *Ed. La Découverte, Paris, Fr.*

Yates, F. 1966 - L'art de la mémoire. *Ed. Gallimard, Paris, Fr.*

ANALYSE DU POTENTIEL INTERDISCIPLINAIRE DE SITUATIONS D'APPRENTISSAGE CONÇUES PAR DES ENSEIGNANTS DE MATHÉMATIQUES ET DE SCIENCE

Hassane Squalli et Geneviève Barabé[1]
CREAS, Université de Sherbrooke

1. Éléments de problématique

1.1 L'interdisciplinarité au Québec: une injonction institutionnelle

Au Québec, le nouveau programme de mathématiques, sciences et technologies au premier cycle du secondaire (Gouvernement du Québec, 2004) est un programme intégré, plutôt que cloisonné en matières indépendantes. Pour favoriser cette intégration, les nouveaux programmes de l'école québécoise au primaire (Gouvernement du Québec, 2001) et au secondaire (Gouvernement du Québec, 2004) font de l'interdisciplinarité une de leurs orientations prioritaires. En outre, au secondaire les mathématiques, les sciences et technologies font partie du même domaine d'apprentissage: « le regroupement des disciplines par domaines représente un pas vers le décloisonnement des matières scolaires, en ce sens qu'il permet de les situer par rapport à des domaines de référence et incite l'enseignant à concevoir sa discipline comme une partie intégrante d'une dimension importante de la formation de l'élève » (*Ibid.*, p. 15). Le ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport du Québec ajoute : « depuis fort longtemps, ces disciplines sont intrinsèquement reliées et leur évolution de même que leur dynamique interne portent la marque de leur synergie. Ainsi, qu'il s'agisse de la conception ou de la représentation de certains objets technologiques, de la construction de modèles mathématiques ou encore de la représentation de phénomènes scientifiques naturels, l'interdisciplinarité qui les caractérise s'avère incontournable » (*Ibid.*, p.61). Par ailleurs, l'interdisciplinarité au secondaire implique non seulement des interactions entre des savoirs disciplinaires différents, mais aussi une collaboration entre les spécialistes de ces disciplines lors de la planification et lors de l'enseignement et de l'évaluation des apprentissages. Dans son avis *L'appropriation locale de la réforme : un défi à la mesure de l'école secondaire,* le CSE (2003) souligne que « le regroupement des disciplines en grands domaines d'apprentissage diminue fortement le cloisonnement disciplinaire. L'interdisciplinarité appelle un travail de collaboration et de concertation entre les enseignantes et enseignants pour aménager des situations d'apprentissage et d'évaluation qui abordent plus d'une matière. L'approche par compétences implique la réalisation de projets globaux et intégrateurs et la résolution de problèmes complexes qui débordent le champ d'une seule discipline. » (p. 33).

[1] Ce texte est une version de travail, il est proposé comme base de discussion lors des Rencontres scientifiques Sherbrooke-Montpellier.

En somme, le recours à des approches interdisciplinaires dans l'enseignement entre mathématiques et sciences et technologies est une injonction institutionnelle forte au Québec. Les enseignantes et enseignants de mathématiques et de sciences et technologies sont donc fortement invités à collaborer ensemble dans la planification, la réalisation et l'évaluation de situations d'apprentissage interdisciplinaires. Cette injonction institutionnelle pose cependant un grand défi pour les enseignantes et les enseignants, tout particulièrement ceux des mathématiques, qui peuvent n'avoir reçu aucune formation en sciences durant leur formation initiale.

Dans une recherche récente, Hasni et ses collaborateurs (Hasni *et al.*, soumis) ont étudié les pratiques déclarées de l'interdisciplinarité chez un échantillon de 89 enseignantes et enseignants du secondaire (36 enseignent les sciences et technologie, et éventuellement d'autres matières mais pas les mathématiques (ST); 17 personnes enseignent les mathématiques et, éventuellement, les autres matières mais pas les sciences et technologies (M); 9 enseignent les sciences et technologies et les mathématiques (STM); et 27 prennent en charge les autres matières et n'enseignent ni les sciences et technologies, ni les mathématiques (AU). Les données ont été recueillies au moyen d'un questionnaire. Il ressort de cette étude que les personnes qui enseignent soit les mathématiques ou les sciences (mais pas les deux) son celles qui disent recourir le moins à des démarches interdisciplinaires dans leur pratique. Et quand elles y recourent, elles privilégient d'autres matières que les mathématiques ou les sciences

Si ces données confirment une tendance générale, nous sommes alors loin de la concrétisation d'une des priorités de la réforme actuelle, à savoir le recours à des pratiques interdisciplinaires entre mathématiques et sciences.

1.2 Contexte de l'étude

Dans le cadre des recherches que nous menons actuellement au Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences (CREAS), nous collaborons depuis 5 années avec des enseignants de sciences et technologies et mathématiques (STM) du premier cycle du secondaire, dans le cadre d'un dispositif de recherche-développement-accompagnement. Nous poursuivons essentiellement deux principaux objectifs :

- Décrire la manière avec laquelle les enseignantes et les enseignants abordent l'enseignement des STM avec leurs élèves;
- Soutenir les enseignantes et les enseignants dans le recours à des approches et des ressources favorisant un meilleur apprentissage des STM par les élèves.

Au cours de l'année 2007-2008, le dispositif de recherche-accompagnement-formation a porté sur l'enseignement interdisciplinaire en mathématiques, sciences et technologies. Il s'est déroulé en trois temps. Dans un premier temps, en collaboration avec des conseillers pédagogiques, nous avons organisé 3 journées continues d'études auxquelles ont participé 28 enseignantes, enseignants et conseillers pédagogiques. Durant ces journées, l'équipe de recherche a apporté des éclairages théoriques sur la notion d'interdisciplinarité et a accompagné des enseignants de mathématiques et des enseignants de sciences et technologie réunis dans de petits groupes pour la planification de situations d'apprentissages interdisciplinaire en STM. Dans un deuxième temps, les enseignants ont expérimenté les situations

planifiées dans leurs classes. Ces leçons sont filmées et font partie des données de recherche. Elles servent aussi, dans une troisième phase, de base de discussion lors des rencontres de retour réflexif sur ces expérimentations.

Nous avons présenté ailleurs (Squalli, Theis, Hasni et Benoit, 2009) une analyse du travail de planification d'une situation d'apprentissage interdisciplinaire en STM d'une équipe formée de deux enseignantes de mathématiques et de deux enseignantes de sciences. Ce travail s'est déroulé sur deux journées. Voici quelques résultats de cette analyse :

- Tout au long des échanges, les idées initiatrices proviennent presque exclusivement des enseignantes de sciences. À aucun moment les mathématiques n'étaient le point de départ de la discussion pour l'élaboration d'une situation d'apprentissage interdisciplinaire.
- Plusieurs moments de blocage ont eu lieu lors des échanges. Deux principales raisons expliquent ces blocages; 1) une enseignante de mathématique juge pauvre le potentiel mathématique de la situation explorée; 2) difficultés chez les enseignantes de sciences d'expliquer aux enseignantes de mathématiques de manière non superficielle les interactions entre les concepts de sciences et les concepts de mathématiques en jeu dans la situation explorée. Ces blocages n'ont pas permis au groupe de retenir certaines situations potentiellement riches en interactions entre mathématiques et sciences.
- Face à ce travail collaboratif de planification d'une situation interdisciplinaire entre mathématiques et sciences et technologies, les enseignantes de sciences et technologies et de mathématiques occupent des positions asymétriques. En effet, lors des échanges, nous avons noté que les enseignantes de sciences et technologies proposaient des thèmes dans leur domaine en sciences ou technologies et indiquaient des contenus mathématiques en jeu dans ces thèmes. Elles ont certaines connaissances des mathématiques enseignées au secondaire, mais elles restent au niveau de l'application de modèles mathématiques (les mathématiques sont souvent exploitées pour le calcul et la représentation des données expérimentales). Les enseignantes de mathématiques, quant à elles, se trouvaient souvent dans la position de chercher à comprendre les phénomènes scientifiques pour greffer des contenus mathématiques du programme de secondaire. Elles étaient amenées à réfléchir au niveau de la construction des modèles mathématiques.

Dans ce texte, nous présentons une analyse de situations d'apprentissage, en termes de leur potentiel interdisciplinaire, conçues par 8 équipes d'enseignants de sciences et de mathématiques lors de ces 3 journées d'étude portant sur la thématique de l'interdisciplinarité.

2. Cadrages théoriques

2.1 La notion d'interdisciplinarité

Dans la littérature scientifique, il existe une variété de termes pour désigner le décloisonnement disciplinaire. Pour clarifier la notion d'interdisciplinarité, nous utiliserons le cadre conceptuel développé dans les travaux (Hasni, 2001; Hasni et Lenoir, 2001; Lenoir, 1991; Lenoir et Sauvé, 1998*a*, 1998*b*). L'interdisciplinarité à l'école consiste en «la mise en relation de deux ou plusieurs disciplines scolaires […] et qui conduit à l'établissement de liens de complémentarité ou de coopération, d'interpénétration ou

d'actions réciproques entre elles sous divers aspects (finalités, objets d'études, concepts et notions, démarches d'apprentissage, habiletés techniques, etc.), en vue de favoriser l'intégration des processus d'apprentissage et des savoirs chez les élèves» (Lenoir et Sauvé, 1998*a*, p. 12).

Ainsi définie, « l'interdisciplinarité met l'accent sur deux aspects importants de l'intégration. Le premier est celui de la construction ou de la mobilisation, dans le cadre de situations éducationnelles appropriées, de concepts, d'habiletés, de méthodes, de compétences, etc. propres aux disciplines impliquées. En ce sens, le concept d'interdisciplinarité permet de garder et d'affirmer la référence aux disciplines scolaires, à leurs spécificités et à leurs interrelations fécondes. Le deuxième aspect est celui qui consiste à considérer l'intégration plus qu'un produit (intégration prise en charge par le programme, les manuels ou les enseignants), mais comme processus qui se situe au cœur des démarches d'enseignement et d'apprentissage. » (Hasni *et al.*, 2008)

En se basant sur une analyse critique des écrits scientifiques qui traitent de la mise en œuvre de l'interdisciplinarité, Hasni et Samson (à paraître) soulignent les points suivants qui doivent guider la planification de situations interdisciplinaires :

- L'interdisciplinarité ne consiste pas à nier le recours aux disciplines;
- L'interdisciplinarité ne peut s'improviser lors de l'action pédagogique en classe; elle nécessite, au préalable, une analyse curriculaire afin de déterminer les points de complémentarité et de convergence entre les différentes matières, puis une collaboration entre les spécialistes disciplinaires lors de la planification et lors de l'enseignement et de l'évaluation des apprentissages;
- L'interdisciplinarité doit se baser sur des relations égalitaires entre les disciplines;
- Les activités interdisciplinaires doivent poursuivre l'apprentissage des contenus et le développement des compétences visées par les programmes pour chacune des disciplines impliquées;
- L'interdisciplinarité n'est pas l'approche thématique, où le thème ne constitue qu'un déclencheur et un prétexte pour poursuivre des enseignements disciplinaires cloisonnés.

Par ailleurs, Les liens interdisciplinaires peuvent concerner les différentes composantes des apprentissages disciplinaires : les savoirs conceptuels, les habiletés, les démarches, les compétences, etc. (Hasni *et al.*, en préparation).

Les liens peuvent se faire selon plusieurs modalités, dans lesquelles les apprentissages concernés (concepts, habiletés, démarche) sont construits, ou mobilisés :

Des exemples de situations illustrant ces liens sont donnés dans (Hasni *et al.*, en préparation).

2.2 L'analyse des pratiques d'enseignement

2.2.1 Considérations d'ordre général

Dans ce texte l'expression *pratique d'enseignement* est utilisée comme raccourci de l'expression pratique d'enseignement d'enseignant de mathématiques. Le mot enseignant est pris dans le sens générique bien que

nous n'ayons aucune prétention de généralisation; notre étude porte sur les pratiques d'enseignants singuliers.

Nous reprenons la définition de Robert et Rogalski (2002) pour définir les pratiques d'enseignement : « tout ce que l'enseignant ou l'enseignante met en ouvre avant, pendant et après la classe (conceptions activées au moment de la préparation des séances, connaissances diverses, discours mathématique et non mathématique pendant la classe, gestes spécifiques, corrections des productions d'élèves, etc.) » (p. 506)

Nous optons pour une analyse des pratiques d'enseignement d'un point de vue didactique, notre cadre d'analyse est basé sur les postulats suivants :

- Le projet de l'enseignant est de faire avancer les apprentissages des élèves par rapport à un contenu mathématique précis. L'analyse de la pratique d'un enseignant consiste alors à analyser comment l'enseignant vise à réaliser son projet.
- Les connaissances des élèves sont les produits de leurs activités.
- Les élèves construisent leurs connaissances à travers des activités à caractère mathématique, i.e. mettant en jeu un contenu mathématique. Seul ce type d'activités est pris en compte dans notre analyse.
- Les activités des élèves sont essentiellement provoquées par les tâches que leur propose l'enseignant. En lien avec cette étude, l'analyse du potentiel en constructions mathématiques de ces tâches est essentielle pour comprendre l'activité de l'enseignant en classe.
- La gestion que fait l'enseignant de la rencontre des élèves avec les savoirs est primordiale pour l'apprentissage des élèves.

Par conséquent, notre analyse de la pratique d'enseignement des mathématiques par un enseignant retient les trois dimensions suivantes :

1. Les tâches mathématiques proposées par l'enseignant
2. les activités à caractère mathématique provoquées par ces tâches
3. La gestion que fait l'enseignant de la rencontre des élèves avec les savoirs

Dans cette étude nous ne retenons que la première dimension du travail de l'enseignant. De plus, nous nous intéressons uniquement aux tâches mathématiques figurant dans la planification de la leçon ou d'une séquence de leçon. Ces tâches sont décrites dans ce que nous appelons un document de travail destiné aux élèves. Ce document renferme généralement, une mise en situation, un problème à résoudre ainsi qu'une description d'une méthodologie de travail (étapes de travail, travail en équipe, etc.).

2.3 Considérations d'ordre méthodologiques

2.3.1 Description des données

Les données sont formées de 8 documents de travail élaborés pour l'essentiel lors du travail collaboratif en équipe d'enseignants de mathématiques et de sciences et technologies dans le cadre des 3 journées de formation décrites auparavant.

Nous présentons en annexe une brève description des situations d'apprentissages ainsi que des intentions didactiques. Les intentions didactiques ainsi que les contenus visés en mathématiques et en sciences et technologie sont tirés de l'entrevue préenregistrement de la réalisation en classe de la situation d'apprentissage.

2.3.2 Méthode d'analyse

L'analyse a priori des situations d'apprentissage se fait en plusieurs étapes.

Dans un premier temps, nous identifions les principaux concepts en mathématiques et en sciences et technologie en jeu dans la situation. Ensuite, nous situons ces contenus dans le programme de formation du premier cycle. Cette première analyse nous permet de bien situer les intentions didactiques de l'enseignant par rapport aux exigences du programme de formation. Elle nous permet aussi de comprendre le choix de l'enseignant concernant certaines variables didactiques de la situation et de baliser les analyses du potentiel de la situation qui seront réalisées ultérieurement. Dans une seconde étape des analyses, nous faisons une analyse de la tâche du point de vue de l'élève. Il s'agit d'anticiper les raisonnements, erreurs et difficultés que peut éprouver un élève lors de la réalisation de la tâche. Dans cette analyse, notre focus est porté de manière particulière sur les interactions possibles entre connaissances mathématiques et connaissances en science et technologies qui pourraient potentiellement survenir lors de la réalisation de la tâche par un élève.

Enfin, une dernière étape de l'analyse consiste à identifier le potentiel d'interactions entre mathématiques et sciences de la situation mais non exploité par l'enseignant.

3. Quelques résultats

Comme il a été attendu, toutes les situations d'apprentissage font appel à des contenus en mathématiques et en sciences et technologie qui sont en lien avec le programme de formation. Nous avions déjà relevé ce fait lors du travail en équipe de conception d'une situation d'apprentissage intégrant les mathématiques et les sciences et technologies dans le cadre des 3 journées de formation. Puisque les idées initiatrices des situations explorées provenaient des enseignants de sciences et technologie, les enseignants de mathématiques de l'équipe avaient comme premier souci que la situation fasse appel à un contenu mathématique visé dans le programme de formation. Dans la situation *Je brûle pour toi* l'objectif poursuivi en science est l'étude des changements de phase de la matière. Sous l'impulsion de l'enseignante de mathématiques, le groupe a conçu la situation d'apprentissage comme un projet technologique visant la fabrication d'une bougie selon un cahier de charges incluant une contrainte liée au coût de production. Les élèves avaient une liste de prix de trois magasins, le calcul du meilleur coût nécessite la manipulation de fractions, de taux et de pourcentage. Bien que dans un projet technologique, les questions du coût doivent être prises en comptes, dans ce projet, une approche interdisciplinaire nécessiterait d'exploiter les connexions entre des connaissances mathématiques et des connaissances scientifiques liées au phénomène de changement de phase.

L'analyse des documents de travail de cette enseignante de mathématiques est d'une enseignante de science et technologie montre que la première a orienté la tâche des élèves essentiellement vers le calcul du coût de

fabrication d'une bougie; les élèves exécutaient ensuite un protocole de laboratoire préétablit pour la fabrication de la bougie. En revanche, la seconde a voulu exploiter le potentiel interdisciplinaire de la situation. Par exemple, les élèves devaient étudier expérimentalement la relation entre l'état de la matière et la température. En outre, un laboratoire sur la masse volumique a été prévu pour amener les élèves à constater empiriquement la constante du rapport entre la masse et le volume. En effet, la notion de masse volumique offre une belle opportunité pour un travail interdisciplinaire. Paradoxalement, ce concept n'est objet d'apprentissage qu'en 3e secondaire! Voilà ce qui pourrait expliquer pourquoi l'enseignante de science ne l'a pas traité en profondeur. Ce concept modélise la relation entre la masse et le volume d'une substance homogène (liquide, solide ou gazeuse). Il exprime un phénomène important: dans des conditions de non variation de la pression atmosphérique et de la température, la masse croit de manière linéaire en fonction du volume. Le rapport de la masse d'une substance par son volume est toujours constant. Cette constante qui s'exprime en kg/m3 est la masse volumique de cette substance. D'un point de vue mathématique, la compréhension de cette notion nécessite un travail de généralisation, un objectif d'apprentissage au programme de mathématique de secondaire 1 : pressentir la régularité, la formuler, la justifier. Elle peut donner lieu à une démarche expérimentale. En outre, elle soulève un grand nombre de questions dont la réponse est à chercher du côté des sciences : pourquoi une telle relation entre la masse et le volume? Pourquoi deux substances différentes ont des masses volumiques différentes? Deux variables déterminent la masse volumique: la structure moléculaire qui influe sur le pavage de l'espace, la nature de la substance qui influe sur la masse d'une molécule.

Les trois situations suivantes sont celles qui offrent le plus grand potentiel interdisciplinaire exploité, à différents degrés, dans les documents de travail :

- Soulever la lune… rien de plus simple! Les leviers; Les plans inclinés.

Toutes ces situations font appel aux concepts de machine simple, à l'aide d'une approche expérimentale les élèves devaient découvrir la loi associée à la machine simple. À titre d'exemple, dans le cas de la situation *Soulever la lune… rien de plus simple!* trois laboratoires étaient prévus, un pour chacune des machines simples suivantes : le levier, le plan incliné, la poulie. Les protocoles de chacun de ces laboratoires étaient conçus selon la même logique. Par exemple, le laboratoire sur les leviers se déroule en 3 étapes. Dans la première, les élèves doivent trouver expérimentalement la distance (minimale) d_2 du pivot pour placer une masse donnée m_2 pour soulever une masse m_1 déjà été placée de l'autre côté du pivot à une distance d_1 du pivot. Cette tâche est répétée plusieurs fois pour différentes masses et différentes distances du pivot. Les élèves consignent dans un tableau les valeurs trouvées entre les masses et les distances. Pour amener les élèves à réfléchir sur une régularité (le rapport entre les masses est égal au rapport entre les distances) on demande aux élèves de prédire la distance où l'on doit placer une masse de 500 g sans que le matériel permette de répondre expérimentalement. Pour valider la réponse des élèves, on leur demande de représenter graphiquement la relation entre les masses m_2 (variable indépendante) et les distances d_2 (variable dépendante), pour soulever une masse m_1 placée à une distance d_1 du pivot. Ils doivent ensuite inférer la loi : $d_2 = \frac{m_2}{m_1} d_1$.

Nous ne disposons malheureusement pas du document de travail d'un des enseignants de mathématiques qui avait collaboré avec cet enseignant de sciences à la conception de cette situation. Car si cette situation contient des connexions fécondes entre mathématiques et sciences, elle est aussi un lieu de confrontation épistémologique entre la démarche expérimentale en science et une démarche expérimentale en mathématiques. En effet, la relation précédente entre les distances et les masses a le statut d'une loi dont la validation repose sur l'expérience (une expérience répétée dans les mêmes conditions aboutit aux mêmes résultats; la loi permet de faire des prédictions qui peuvent être validées expérimentalement). En revanche, d'un point de vue purement mathématique, la régularité établie à partir d'un nombre fini de données n'aboutit qu'à une conjecture et non à un théorème. Dans ce sens la relation $d_2 = \frac{m_2}{m_1} d_1$ n'a pas un caractère général.

Dans le cas des cinq autres situations, le potentiel interdisciplinaire n'a été que partiellement exploité.

Par exemple, dans la situation *Un système solaire près de chez-vous*, les élèves doivent élaborer une maquette représentant le système solaire sur un espace de 5m par 10m. La principale difficulté est l'introduction d'une double échelle afin de conserver de manière proportionnelle les distances entre les planètes et le Soleil ainsi que le diamètre de chacune des planètes. Les distances et les diamètres étant d'ordre de grandeur très différent, les élèves devaient employer deux échelles différentes afin de respecter la contrainte concernant les dimensions du mur. De cette situation, nous constatons que les questions de sciences et celles de mathématiques sont disjointes l'une de l'autre et que le contexte de l'astronomie, n'a aucun rôle dans la résolution mathématique de la situation. Toutefois, une discussion sur la démarche de modélisation du système solaire aurait pu permettre aux élèves de connecter des connaissances du système solaire. Par exemple, on ne semble pas questionner le fait que les distances entre les planètes et le Soleil ne sont pas fixes, on se contente de tenir pour acquis dans le modèle mathématique que les distances soient fixes. Dans le même ordre d'idée, les planètes, qui sont sphériques, sont représentées par leur projection dans le plan, soit des cercles. Cette modélisation du système solaire peut occasionner certaines difficultés chez les élèves, surtout au niveau de leur conception scientifique.

4. En guise de conclusion

Cette étude exploratoire, bien qu'encore partielle, soulève certaines difficultés de l'opérationnalisation d'un enseignement interdisciplinaire entre mathématiques et sciences et technologie, une des orientations importantes du programme de formation de l'école québécoise. Nous avons remarqué que les situations d'apprentissages de notre échantillon qui offrent le plus d'opportunités de connexions entre des connaissances mathématiques et des connaissances en sciences et technologie sont celles qui font vivre aux élèves une véritable démarche expérimentale en science basée sur une démarche de modélisation mathématique.

Par ailleurs, cette étude montre toute l'importance pour les enseignants de mathématiques et de sciences d'avoir des connaissances de l'autre champ disciplinaire leur permettant de comprendre les interactions entre les deux disciplines, tout particulièrement dans le cadre des contenus enseignés à un même niveau d'études. Aussi, elle met à jour le problème de la formation initiale et continue des enseignants de

mathématiques et de sciences pour les préparer ou les accompagner à recourir dans leur enseignement à une approche interdisciplinaire entre mathématiques et sciences et technologies. Une des voies qui nous semble à explorer en formation initiale et continue est la modélisation mathématique comme occasion d'un travail interdisciplinaire et comme sujet de collaboration entre enseignants de sciences et technologies et enseignants de mathématiques.

Références

CONSEIL SUPERIEUR DE L'EDUCATION (1982). *Le sort des matières dites "secondaires" au primaire* (Avis au ministre de l'Éducation). Québec: Conseil supérieur de l'éducation.

CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'ÉDUCATION (2003). *L'appropriation locale de la réforme : un défi à la mesure de l'école secondaire*. Avis au ministre de l'Éducation, du Loisir et du Sport. Québec : Conseil supérieur de l'éducation.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (2001). *Programme de formation de l'école québécoise. Éducation préscolaire et enseignement primaire*. Québec : Ministères de l'éducation.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (1964). *Rapport de la Commission royale d'enquête sur l'enseignement dans la province de Québec (Rapport Parent). Tome 2 : la structure pédagogique du système scolaire*. Québec: Commission royale d'enquête sur l'enseignement dans la province de Québec.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (2004). *Programme de formation de l'école québécoise. Enseignement secondaire, 1er cycle*. Québec : Ministères de l'éducation.

HASNI, A., LENOIR, Y., LAROSE, F., SAMSON, G., BOUSADRA, F. & C SATIRO DOS SANTOS C. (2008). Enseignement des sciences et technologies et interdisciplinarité: point de vue d'enseignants du secondaire québécois sur leurs pratiques. In A. Hasni et J. Lebeaume (dir.), Interdisciplinarité et enseignement scientifique et technologique (75-110). Sherbrooke-Lyon : Éditions du CRP-INRP.

HASNI, A. (2001). *Les représentations d'une discipline scolaire – l'activité scientifique – et de sa place au sein des autres disciplines formant le curriculum chez des instituteurs marocains*. Thèse de doctorat (Ph.D.), Université de Sherbrooke.

HASNI, A. ET LENOIR, Y. (2001). La place de la dimension organisationnelle dans l'interdisciplinarité: les facteurs influençant les pratiques de recherche et d'enseignement. *In* Y. Lenoir, B. Rey, I. Fazenda (dir.), *Les fondements de l'interdisciplinarité dans la formation à l'enseignement*. Sherbrooke: Éditions du CRP. (p. 179-204).

HASNI, A. ET SAMSON, G. (à paraître). La question de l'intégration dans le référentiel des compétences professionnelles au Québec: enjeux et défis pour la formation à l'enseignement des sciences. *In* Y. Lenoir. et M. Bru. (dir), *Les référentiels dans la formation à l'enseignement. Quels référentiels pour quels curriculums?* Sherbrooke : Éditions du CRP.

LENOIR, Y. (1991). *Relations entre interdisciplinarité et intégration des apprentissages dans l'enseignement des programmes d'études du primaire au Québec*. Thèse de doctorat (nouveau régime) en sociologie, Université de Paris 7, Paris.

LENOIR, Y ET SAUVE, L. (1998*a*). L'interdisciplinarité et la Formation à l'enseignement primaire et secondaire: quelle interdisciplinarité pour quelle formation? Introduction du numéro thématique:

Interdisciplinarité et formation à l'enseignement primaire et secondaire. *Revue des sciences de l'éducation, XXIV* (1), 3-29.

LENOIR, Y. ET SAUVE, L. (1998*b*). De l'interdisciplinarité scolaire à l'interdisciplinarité dans la formation à l'enseignement: un état de la question. 1. Nécessité de l'interdisciplinarité et rappel historique. *Revue française de pédagogie, 124*, 121-153

Squalli, H., Laurent Theis, L, Hasni, A et Benoit, D. (2009). L'interdisciplinarité entre mathématiques et sciences à l'école secondaire. Une étude de cas. Actes du colloque EMF-2009.

Annexe

Brèves présentation des 8 situations d'apprentissages

Situation 1

Un système solaire près de chez vous

Le document de travail analysé est celui d'un enseignant de ST pour une classe de secondaire 2.

Description de la tâche : L'objectif de l'activité est de collecter des informations sur le système solaire et de le représenter sur un mur (5 m par 10m) en utilisant une double échelle : une pour les distances entre les planètes et le soleil et l'autre pour les diamètres des planètes. Les informations nécessaires doivent être extraites du manuel scolaire ainsi que d'un dossier de presse préparé par l'enseignant.

Intentions didactiques de l'enseignant :

- que les élèves soient capables de nommer les planètes
- de réinvestir adéquatement le vocabulaire lié à l'astronomie
- de développer la capacité à résoudre des problèmes et à travailler en coopération.

Contenu mathématique visé (selon l'enseignant) :

- notions relatives aux grands nombres, notation scientifique; proportions
- représentation du système solaire sur un mur respectant les distances relatives au soleil et les diamètres des planètes

Contenu en science et technologie visé (selon l'enseignant) :

- système solaire; ordre des planètes; distance entre les planètes

Situation 2

Je brûle pour toi

La situation a été réalisée de manière indépendante par des enseignantes de mathématiques et des enseignantes de sciences et technologie.

Description de la tâche : Projet pour des élèves de secondaire1 pour la fabrication d'une bougie colorée de 95 grammes à partir d'une liste de matières de base.

Intention didactique de l'enseignante (ST) :

- utiliser divers concepts scientifiques pour expliquer divers phénomènes scientifiques (transfert des connaissances)
- comprendre le sens de masse volumique

Contenu mathématique visé (selon l'enseignante) :

- rapports, opérations sur les fractions, volume

Contenu en science et technologie visé (selon l'enseignant) :

- changements de phase (solide, liquide, gazeux), masse volumique

Situation 3

Soulever la lune… rien de plus simple!

Cette situation est destinée à une classe de secondaire 1.

Description de la situation : Au moyen de la réalisation de plusieurs laboratoires, cette situation vise à ce que les élèves découvrent les lois liées à certaines machines simples (levier, poulie, plan incliné).

Intentions didactiques (selon l'enseignant) :

- Comprendre les machines simples et être capable des les appliquer à la vie e tous les jours. Repérer les machines simples dans les objets de la vie courante.
- Être en mesure de faire des proportions et de comprendre l'efficacité des machines simples d'un point de vue mathématique.

Contenu mathématique visé :

- Les proportions

Contenu en science et technologie visé :

- Les machines simples, le principe de levier et de plan incliné.

Situation 4

Cerclisme ou cyclisme

Description de la tâche : Projet technologique pour des élèves de secondaire 2. Le but est de concevoir un plan d'entrainement pour un cycliste selon certaines contraintes.

Intentions didactiques (selon l'enseignant) :

- Que les élèves comprennent qu'il y a un rapport entre le nombre de dents du pallier et le nombre de dents du pignon dans l'engrenage.
- Que les élèves consolident les apprentissages réalisés durant l'année (taux et circonférence).

Contenu mathématique visé :

- Circonférence
- Taux

Contenu en science et technologie visé :

- Machines simples
- Mécanisme de transmission du mouvement (engrenage).

Situation 5

Les leviers

La situation *Les leviers* a été présentée à des élèves de secondaire 1. Le but de cette est de à formuler la règle mathématique concernant les leviers en utilisant le langage adéquat, c'est-à-dire les mots charge, force et bras de levier.

Intentions didactiques selon l'enseignant :

- Faire voir aux élèves que les machines simples servent et qu'elles permettent de réduire les efforts.

Contenu mathématique visé (selon l'enseignant)

- Concept d'égalité

Concepts scientifiques visés (selon l'enseignant)

- Les machines simples, en particulier le levier.

Situation 6

Les plans inclinés

Situation conçue pour des élèves de secondaire 2 dans une classe de mathématiques.

Description de la tâche : les élèves doivent réaliser 9 stations`avec des plans inclinés de différents angles. Pour chaque station les élèves doivent trouver la amasse à suspendre à l'extrémité du plan incliné pour faire bouger le bolide posé sur l'autre extrémité. Les données sont consignées dans un tableau. Les élèves doivent alors trouver la régularité qui se dégage.

Intentions didactiques selon l'enseignant :

- Que les élèves aient une idée concrète de ce que représente le sinus d'un angle

Contenu mathématique visé (selon l'enseignant)

- Le sinus d'un angle dans un triangle rectangle

Concepts scientifiques visés (selon l'enseignant)

- Manipulations et expérimentation avec des plans inclinés et des masses

Situation 7

Au gré du vent

Cette situation d'apprentissage a été réalisée en *team-teaching* par trois enseignants : 2 enseignants de mathématiques et un enseignant de sciences et technologie. L'activité s'est déroulée sur une période d'une journée.

Description de la tâche : Il s'agit d'un projet en technologie. Les élèves de 1er secondaire doivent élaborer un système de dispersion de semences répondant à un cahier de charges. Les coûts de production est une des contraintes du cahier de charge.

Situation 8

Fabrication d'une éolienne

Le document de travail analysé est celui de deux enseignants de sciences et technologie de 2e secondaire.

Description de la tâche : Il s'agit d'un projet en technologie. Les élèves doivent concevoir et construire une éolienne répondant à un cahier de charges. Le prototype est mis à l'épreuve en classe pour valider la quantité d'électricité pouvant être produite lorsque le prototype est soumis à un courant d'air régulier et concentré de trois forces différentes.

La situation a été réalisée dans un cours de ST par un enseignant de ST

Intentions didactiques (selon les enseignants):

- Développer l'habileté à travailler avec différents outils et instruments de mesure.
- Comprendre le montage d'un engrenage et des possibilités qu'il peut offrir
- Mettre en application des savoirs appris et les mettre en lien avec les systèmes de transmission de mouvements.

Contenu mathématique visé (selon les enseignants) :

- Calcul d'air et taux multiplicateur

Contenu en science et technologie visé (selon les enseignants)

- Système d'engrenage et de poulie; schéma de principe; schéma de construction et cahier de charges; système de transmission de mouvement.