Colloque international
Efficacité et équité en éducation
19, 20 et 21 novembre 2008

LA CONCEPTUALISATION DANS L'APPRENTISSAGE DES SCIENCES FAIRE L'EPREUVE DES OBJETS

In memoriam : Claude TISSERON

Coordinatrice : Viviane DURAND-GUERRIER[1]
Auteurs : Thierry DIAS[1], Viviane DURAND-GUERRIER[1], Jean-Loup HERAUD[2], Anne-Cécile MATHE[3], Eric SANCHEZ[4]

1. Université de Lyon, Université Lyon 1, IUFM & LEPS, EA 4148
2. Université de Lyon, Université Lyon 1, LEPS, EA 4148
3. Université d'Artois, IUFM Nord Pas de Calais
4. Institut National de Recherche Pédagogique, EducTice - Université de Lyon, Université Lyon 1, LEPS, EA 4148

Introduction générale : Enjeux d'un débat mettant en perspective Equité et efficacité.

On oppose fréquemment dans l'enseignement les activités dites concrètes, qui seraient la norme pour les premiers apprentissages, et les activités dites abstraites, qui seraient réservées à ceux qui vont poursuivre des études longues. Il s'agirait donc de repousser « l'entrée dans l'abstraction » à plus tard, et de privilégier dans le cadre de l'école obligatoire l'acquisition de savoir faire, dans une perspective utilitariste. Outre qu'une telle perspective tend à instaurer de fait un clivage entre ceux qui pourrons accéder aux savoirs les plus élaborés, et ceux qui devront se contenter de connaissances utiles et, pour séduisant qu'il puisse apparaître au regard d'une certain efficacité, ce point de vue ne résiste pas à l'analyse des apprentissages visés à l'école. Quoi de plus abstrait en effet que le nombre entier et les opérations afférentes, dont la maîtrise est un des objectifs majeurs de l'école primaire française ? Le nombre se construit en effet à l'école maternelle et au début de l'école élémentaire comme mesure de la taille des collections, chacun de ces éléments faisant l'objet d'une élaboration théorique.

Argumentaire : processus de conceptualisation et travail avec les objets

Les hypothèses principales qui sous-tendent les communications proposées dans ce symposium

sont d'une part le fait que la conceptualisation est un processus (Vergnaud, 1991[1]) et que les apprentissages se font dans un va-et-vient entre des objets concrets (sensibles ou familiers au sens de Paul Langevin[2]) et les objets théoriques dont l'apprentissage est visé : actions sur les objets familiers, élaboration de conjectures par le sujet, retours aux choses pour éprouver la solidité dans un premier temps, puis utiliser dans un second temps ce qui a été appris.
Nous avançons la thèse selon laquelle « faire l'épreuve des objets » est une dimension centrale dans le processus de conceptualisation dans l'apprentissage des sciences à l'école. En effet, lorsqu'elle est mise en œuvre dans la classe, cette confrontation aux « objets » (matérielle et symbolique) est le plus souvent mésestimée ou détournée, soit qu'elle vienne en illustration ou application du concept (un double de celui-ci), soit qu'elle entretienne l'illusion que le concept puisse émerger directement de la fréquentation des objets (le concept tenu ici comme double de l'objet, selon une version opposée à la précédente). Nous souhaitons mettre en évidence pourquoi et en quoi « faire l'épreuve des objets » est au contraire un moment constitutif du processus de conceptualisation en situation d'apprentissage. Cette « épreuve » exige en effet des élèves une confrontation aux « objets » qui soit génératrice d'un questionnement épistémologique pertinent et efficace, c'est-à-dire qui puisse les installer dans le champ du savoir en jeu.
D'une part, nous entendons par « faire l'épreuve des objets » les différentes formes de manipulation matérielle (pas seulement empirique) et symbolique (pas seulement verbales) que l'enseignant donne à effectuer aux élèves pour en prendre la mesure et susciter des opérations de formalisation. Le risque serait de succomber à une dérive empiriste et pragmatique (valorisant de façon excessive la seule expérience sensible et pratique de l'objet) : car « l'objet » impose en effet ses contraintes incontournables (il n'est pas seulement objet de pensée, mais un objet résistant à la pensée), délimitant ainsi a priori l'espace discursif dans lequel n'importe quoi ne peut pas être dit. Voila pour le volet épistémologique.
D'autre part, « faire l'épreuve des objets » implique que les situations didactiques imposent aux élèves de traduire les objets du monde dont ils ont une expérience préalable en objets de connaissance dans le contexte ou le champ du savoir scientifique. Notre objectif est donc de rechercher les voies didactiques susceptibles de mettre l'élève en position de transformer un objet du monde en objet de connaissance, impliquant de sa part une activité d'élaboration conceptuelle adéquate. Nous retrouvons ainsi l'idée de Granger (1994)[3] de corréler l'activité de la pensée aux objets pour les faire entrer dans différents systèmes de symbolisation qui les recomposent: « L'idée de traduction d'une propriété ou d'un système par un autre propriété ou un autre système, au moyen d'un renversement de points de vue qui en conserve en un certain sens la forme » (p. 54) dit-il à propos des mathématiques, mais on peut étendre son propos. Qui retrouve le sens de la formule de Langevin d'un autre point de vue.

Champs concernés

Les objets sur lesquels nous allons travailler concernent : les mathématiques, plus précisément la géométrie des solides ; les sciences de la vie : la construction de la notion d'espèce à travers le

[1] G. Vergnaud, 1991, La Théorie des champs conceptuels, Recherche en Didactique des Mathématiques, 10/2.3
[2] Qui écrit dans *La pensée et l'action*,« Le concret, c'est de l'abstrait rendu familier par l'usage » (Langevin, P. *La pensée et l'action*, textes recueillis et présentés par Paul Larenne, préfaces de Frédéric Joliot-Curie et Georges Cogniot, Paris, Lees Editeurs Français Réunis, 1950.)
[3] G.G. Granger (1994), *Formes opérations objets*, Vrin

récit d'un album de fiction ; les sciences de la terre.
Nous croiserons des regards didactiques, épistémologique et logiques pour interroger le travail avec et sur les objets.

Mots clés : didactique des sciences - sémantique logique - objets - concepts – apprentissage

Contribution n° 1

QUANTIFICATION ET CONCEPTUALISATION DANS L'EPREUVE DES OBJETS : « TU AS RAISON, UN POISSON EST UN POISSON »

Jean-Loup HERAUD
Université de Lyon, Université Lyon 1, LEPS (EA 4148)
jlheraud@yahoo.fr

Introduction

Le langage parle d'objets, disait Quine (trad.1977) dans « Le Mot et la chose », mais si les objets existent en dehors du langage, comment le langage peut-il s'ancrer et s'articuler sur les objets du monde ? Certes, on comprend bien que des termes singuliers comme les noms propres ou les indexicaux (*toi, celui-ci, etc*..) désignent des individus singuliers uniques, mais on comprend moins bien que les énoncés généraux puisse parler de tous les objets (du monde), de n'importe quel objet, voire d'un objet quelconque, ce qui n'en serait désigner aucun précisément. Cette fuite hors du monde encore plus piteuse si on rapporte le sens des énoncés à des idées – substitut mental des choses- ou si on en fait le résultat d'une abstraction qui, pour ne retenir que les traits communs, élimine la singularité des objets.

Dans la séance de classe commentée ci-dessous, on s'aperçoit que dire « un poisson est un poisson » est ne rien dire si cette proposition est sans objet : ce qui est bien le cas pour le vairon dans l'album de L. Lionni (1981) *Un poisson est un poisson* qui ne comprend ce que lui dit son ami le têtard qu'à la fin de l'album par expérience vitale personnelle « Tu sais, tu avais raison, un poisson est un poisson ».

Dans le monde réel, il n'existe pas d'objets généraux, il n'y a que des objets singuliers (il n'y a pas d'homme en général, il n'y a que des individus singuliers). Ce qui pose un problème *épistémologique* majeur en classe : le paradoxe de devoir fonder et construire une connaissance générale et vraie sur l'expérience sensible de choses singulières, le paradoxe de construire une connaissance générale et universelle à partir du langage naturel qui n'est en prise que sur des événements particuliers.

Une seconde remarque : faire l'épreuve des objets, c'est certes faire l'épreuve de *leur existence* (nous insistons) dans ou à travers le discours, mais c'est aussi en faire l'expérience directe et physique en dehors de la connaissance que nous en avons, car ils exercent une action causale dans le monde dont nous-mêmes subissons les effets Nous nous asphyxions dans l'eau, car il y a une rencontre entre les propriétés physiques de cet élément et les propriétés biologiques de notre organisme. Mais il est vrai que nous exerçons à notre tour une action causale sur les choses, vivantes ou non. Il y a donc une résistance, une consistance du monde qui est l'objet d'une connaissance non conceptuelle, par expérience sensible (non sémiotique), par apprentissage sémiotique (indiciel, iconique, symbolique selon la triadicité sémiotique de Peirce). La connaissance des objets du monde n'opère jamais leur mutation en êtres conceptuels, sémiotiques ou formels.

Poser la question de savoir comment le langage prend en charge les choses, c'est certes s'interroger comme l'a fait le courant de la sémantique logique sur les ressources logiques du langage aptes à effectuer le processus de conceptualisation, pour transformer l'expérience sensible en connaissance des choses par différents degrés de formalisation. Voilà le premier temps. Mais le second temps, souvent négligé, est celui du retour du concept aux objets, aux « choses mêmes », mode de confrontation second qui ne met pas tant les choses à l'épreuve du concept que le concept à l'épreuve des choses.

Si les quantificateurs de notre langage (les termes généraux que sont « un » -quelque chose-, « le », etc.) sont générateurs de généralité, la pragmatique logique au sens de Peirce ajoute cette dimension d'épreuve des objets : au sens où elle pose l'exigence pour toute proposition à revenir au réel, pour s'affronter aux objets singuliers qui, exemplaires, en apporte la preuve vivante.

De ce défi, la discussion argumentée sur un album de fiction qui parle du monde au second degré par métaphore peut apporter sa contribution. Amener les élèves à une interrogation épistémologique sur les être vivants en jeu dans un album de fiction, tel est l'objectif d'une séance de « Petit labo » chez un enseignant de cycle II (CE1) à partir de la lecture questionnée de l'album de L. Lionni *Un poisson est un poisson*.

I. « Tu sais, tu avais raison, un poisson est un poisson »

L'objectif didactique de cette séance que l'enseignant nomme « Petit labo » est de demander aux élèves de s'approprier le sens du récit sur un registre d'interprétation qui les amène à s'interroger sur le sens paradoxal de l'expression « un poisson est un poisson ». On fait l'hypothèse que la répétition du mot de « poisson » n'est pas un effet rhétorique et qu'elle joue au contraire sur la différence de sens, problématique, entre les deux occurrences de ce même terme.

Dans le cours de la séance recueillie dans notre corpus, le maître demande aux élèves de comparer le sens de ce même énoncé « un poisson est un poisson » dans les deux situations du récit de l'album (on laissera de côté le titre) que sont d'une part dans la 1ère partie de l'album l'affirmation du têtard : « *Les grenouilles sont des grenouilles et un poisson est un poisson, c'est comme ça et pas autrement* », et d'autre part en fin du récit la réponse du vairon à la grenouille venant de le sauver de l'asphyxie qui finit par « avouer » -dit un élève- « *Tu sais, tu avais raison, un poisson est un poisson* ». Qu'est ce que donc pour lui savoir qu'un poisson est un poisson qu'il ne savait pas auparavant et que savait le têtard ?[4]

Que la différence de sens n'est pas évidemment pas dans le sens lexical du terme de « poisson », nous amène à interroger la fonction référentielle (indicative) du déterminant « un » : « Un poisson est un poisson », ça veut dire quoi « un » dans les deux occurrences ? C'est *qui* « un poisson », c'est *quoi* « un poisson » ? Pour montrer l'intrication de ces différents modes de dénotation concentrés dans le quantificateur de la langue naturelle « un », on partira de l'extrait ci-dessous pour montrer en quoi le processus de connaissance consiste à « faire l'épreuve des objets » : qu'est-ce qu'être un poisson pour le vairon ? On va voir que l'expérience (individuelle) rencontre le concept (général) qu'elle contribue à faire émerger[5] :

Charlie	Parce qu'**il** a fait une expérience
M.	Donc le poisson il a fait une expérience il est allé sur la

[4]. On remarque que le vairon ne répond rien au têtard dans la 1ère occurrence : scepticisme, doute, évidence quant à ce qui lui dit ce dernier. Au minimum, il entend la phrase au sens littéral.

[5]. Nous avons surligné en noir.

	terre c'est ça ?
Charlie	Il décrète qu'**il** peut pas y vivre alors que son compagnon **il** peut donc// au bout de l'histoire il a appris qu'un poisson ça pouvait pas vivre hors de l'eau ….
M	Est-ce qu'il a appris **ce que c'était** un poisson ?
Charlie	Non
M	Il a appris j'suis d'accord avec toi il a appris euh qu'un poisson ça ne pouvait, QU'**IL** ne pouvait pas
Charlie	vivre hors de l'eau
M	Est-ce qu'**il** a appris que c'était un poisson ?
Charlie	Non toujours pas
M	Donc qu'est-ce qu'il veut dire par « un poisson est un poisson »
Léonie	Ça veut dire ben que **lui** c'est un poisson
M	C'est **qui** un poisson
Léonie	et **pas une grenouille**// un poisson **c'est le vairon** il sait que maintenant le poisson c'est un poisson c'est **pas une grenouille,** c'est pas un crabe c'est pas…
M	Donc ça veut dire un poisson ce serait **moi -vairon** ou c'est **moi -ami**
Léonie	**moi-vairon**

Si l'expérience est un rapport aux objets, ce rapport s'effectue sous une triple forme : dans l'expérience personnelle, existentielle ; dans l'expérience des choses, de leur causalité ; expérience du concept, qui lui fournit son identité d'individu participant d'une espèce biologique.

- « parce qu'il a fait *une* expérience » : le vairon a fait une expérience personnelle, mais surtout une expérience *objective* des choses, de leur dureté et de leur causalité : du rapport de causalité entre le monde physique et son organisme vivant. L'expérience en question n'est donc pas contingente, mais cruciale de sa condition de poisson : il a fait une expérience de poisson.

- Il est remarquable de constater que cette expérience ne puisse se formuler qu'en termes conceptuels : en termes peirciens, des « interprétants » viennent expliciter ou préciser la signification de cette expérience de « poisson » « *….Au bout de l'histoire, il a appris qu'un poisson, ça pouvait pas vivre hors de l'eau ». « Un poisson est un poisson » veut dire que « ça pouvait pas vivre hors de l'eau » :* on touche une propriété vitale (mais en négatif) du concept de poisson applicable à tout poisson (indiqué par « ça).

- Se joue dès lors un jeu de va et vient dans les échanges qui suivent pour d'une part préciser le contenu du concept de « poisson » et d'autre part repérer les individus qui relèvent de son applicabilité. Le même terme « un » pouvant désigner dans une même proposition une classe d'individus et un concept, la question est alors de savoir *quel concept circonscrit quelle classe d'individus* (le prédicat conceptuel énonçant une propriété qui a une portée, une extension définie). Qui est « un poisson » dépend non de qui on appelle poisson, mais de ce qu'on appelle « être un poisson ».

Le tableau ci-dessous montre comment les échanges de cet extrait se partagent sur les deux registres, *objectuel* et *conceptuel*, par le jeu correspondant des substitutions ou enchaînements de signes interprétants.

« Tu as raison, « Un poisson est un poisson »

Dénotation = (domaine d'individus)

Concept = (contenu)

« ça peut pas vivre hors de l'eau »
« ce que c'est un poisson » (une espèce biologique)
«n'est pas une grenouille, un crabe.. »

« Un poisson, « il » ne peut pas vivre hors de l'eau »

*« **il** » : individu quelconque*
(celui dont on parle)
***« Lui**, c'est un poisson*
Toi, tu es un poisson
***« Moi-vairon »**,moi-ami du têtard*
= je suis un poisson)

La conclusion de cet échange est la suivante : si un individu peut se désigner par son concept Savoir ce qu'on est, c'est se nommer comme exemplaire individuel de l'espèce.

On remarquera que reste ouverte la question : est-ce l'on sait pour autant *ce que c'est* que le poisson considéré en tant qu'espèce ? Léonie conclut cette phase du dialogue en répondant négativement

> « Tu sais, lui dit-il, tu avais raison, un poisson est un poisson, il sait maintenant que c'est un poisson »
> A quoi le maître objecte :
> « Est-ce qu'il sait ce que c'est un poisson, le vairon ? »
> A quoi un élève répond justement :
> « Mais non » et le maître de prendre l'élève au mot » :
> « ***Donc il a pas appris*** »

Si la distinction classe d'individu et concept est évidemment centrale du point de vue épistémologique, il reste à construire le contenu du concept, son contenu scientifique. On reste à la fin de l'album dans la connaissance empirique, non expérimentale. Car apprendre que tel individu aquatique est *un poisson* n'est pas encore apprendre *ce qu'est* un poisson en tant qu'espèce. Et certes, on ne peut apprendre les propriétés vitales de l'espèce qu'en étudiant un individu particulier. La question scientifique proprement dite est celle qui interrogerait les *causes* du phénomène d'étouffement/asphyxie (et par ce biais la fonction respiratoire du poisson) ? A remarquer de ce point de vue la fonction éristique exercée par la question négative : que le poisson puisse vivre hors de l'eau appelle un éventail d'hypothèses possibles *contrefactuelles* (dont on peut déduire les conséquences dans la réalité du monde) : le poisson, lui, s'imaginait pouvoir vivre dans un autres monde possible que le sien.

II. La fonction objectivante du dialogue : la théorie peircienne de la quantification logique

Nous utilisons pour partie de l'article de C. Chauviré (2005) : « Pragmatisme, sémiotique et quantification chez C.S. Peirce »

La question que nous avons posée est de savoir comment se construit une proposition générale alors qu'elle repose que sur une expérience d'objets singuliers, et comment la quantification intervient dans la conceptualisation scientifique. Triple enjeu : étendre la description des objets de l'expérience familière à l'expérience possible (objets hors de notre expérience, ou ce que l'on ne peut voir des objets) ; légitimer cette extension par le contenu scientifique du concept ; retourner à l'expérience familière pour valider la connaissance conceptuelle.

La théorie de la quantification de Peirce s'inscrit dans une « logique du vague » enracinée dans sa sémiotique logique, qui présente une triple caractéristique :

a/ c'est une logique triadique et non une logique binaire comme celle de Frege (une logique à 3 termes, la référence à un objet opérant toujours par la médiation d'un signe « interprétant » traduisant un signe initial) ;

b/ d'autre part, c'est une logique dialogique qui prend donc en compte le jeu des « interprétants » échangé par les interlocuteurs visant un même objet de référence : au début de l'album, le « têtard » signifie être un « poisson » pour le vairon, mais être une « grenouille » pour le têtard ; dans le dialogue, les signes échangés ne renvoient pas aux idées ou aux représentations des interlocuteurs, mais aux objets-tiers qui sont le pôle régulateur des énonciations possibles ;

c/ à travers un énoncé, ce sont toujours des individus ou objets singuliers qui sont visés. Pour Peirce, les énoncés généraux ne portent jamais sur des objets généraux, mais toujours des objets singuliers (l'homme en général n'existe pas, il n'y a que des hommes singuliers que l'on peut nommer ou désigner). La quantification est le procédé logique par lequel on étend la validité d'un énoncé particulier en validité universelle pour tous les individus : dire que la grenouille de l'album respire dans l'atmosphère est un énoncé singulier qui peut se généraliser en énoncé universel vrai pour toutes les grenouilles du monde. Dire que « un poisson est un poisson », c'est au-delà du poisson singulier de l'histoire, c'est parler du poisson en tant qu'espèce. La quantification entre alors en jeu : à la différence de Frege, Peirce s'attache surtout à décrire le fonctionnement des quantificateurs de la langue naturelle- lorsque les objets ne sont pas indiqués directement (soit par leur nom propre, soit par un terme indexical : *ce, celui-ci,* etc.) mais indirectement par des termes « indéterminés » : *un, lui, il le* etc. Ce qui est le cas des propositions scientifiques qui attribuent des propriétés générales à une classe indéterminée d'objets ou d'individus. A charge de devoir reporter les signes de quantification pour repérer et sélectionner dans l'univers du discours les objets effectivement en jeu :

> « Quand le sujet n'est ni un nom propre ni une autre désignation d'un individu appartenant à l'expérience (proche ou lointaine) à la fois du locuteur et de l'auditeur, la place d'une telle désignation est prise par un précepte virtuel énonçant comment l'auditeur doit procéder pour trouver un objet auquel la proposition entend se référer » (cité p. 76)

Lorsque le têtard affirme que « les grenouilles sont des grenouilles et un poisson est un poisson, c'est comme ça et pas autrement », les articles « les » « des », « un » sont équivoques et ambivalents, dans la mesure où il n'est pas dit précisément quels individus sont désignés dans la proposition, le domaine d'objets pouvant être interprété en extension de façon variable. *La généralité de l'expression laisse ouverte une latitude d'interprétation quant aux objets de référence d'une part, et quant au contenu et au sens du concept d'autre part.* Dans le récit, comme le tétard ne dit, ni n'indique nommément qui sont précisément les grenouilles et qui est un poisson, ce qui met le vairon dans l'obligation de devoir interpréter cet énoncé en traduisant (mais avec son langage et avec son expérience, celui de son monde) les termes de l'énoncé. De là un conflit d'interprétation latent sur lequel joue l'auteur par rapport à un énoncé dont la signification est énigmatique et problématique va être le ressort de l'intrigue. D'où peut en résulter un malentendu (différence de registre d'interprétation), mais aussi positivement l'exigence de confronter expressément les registres d'interprétation pour se mettre d'accord en justifiant ou construisant celui qui va être partagé. A la fin du récit de l'album, le poisson aura construit une interprétation équivalente à celle du têtard : « Tu as raison… », mais la question restera ouverte de savoir laquelle.

Peirce met deux conditions dans la traduction des quantificateurs naturels en objets déterminés : a/ on doit en avoir déjà une expérience familière préalable (l'habitude tient un grand rôle chez Peirce), ou bien ils doivent être présents –au moins potentiellement- dans l'univers du dialogue commun aux interlocuteurs ; b/ enfin, inutile de le rappeler, l'objet visé ne désigne jamais une entité fixe présente dans sa totalité transparente (effet de son héritage kantien), mais toujours un « Objet immédiat » sur fond d'« Objet dynamique » qui déborde toujours *le rapport* relatif sous lequel il est signifié ou expérimenté : ainsi le têtard se présente d'abord pour le vairon sous sa forme de poisson et non sous sa forme de grenouille

L'étude des quantificateurs en logique montre qu'il y a deux manières d'exprimer la *généralité,* c'est-à-dire de dénoter des individus en général, non déterminés, mais déterminables, la quantification universelle et la quantification particulière :

> « Le quantificateur universel (…) permet de choisir dans l'univers un objet quelconque –peu importe lequel- et le quantificateur particulier (…) prescrit qu'on objet approprié doit être choisi » (cité C.C, p. 77)

Pour la première :

> « dans la proposition universelle, le sujet indique que la proposition peut s'appliquer à un individu quelconque de l'univers *ou à un individu répondant à une description générale sans dire que cet individu existe* » (id. p. 77)

alors que la quantification existentielle pose qu' :

> « … il est énoncé qu'on peut trouver un objet dans un certain domaine de l'expérience ou parmi les individus existants d'une certaine classe. » (id. p. 77).

Si dans la quantification universelle la proposition est vraie d'un quelconque individu choisi dans *l'univers du discours* (Morgan) :

> « *sous-entendu comme familier au locuteur et à l'auditeur*, sinon aucune communication sur lui ne pourrait avoir lieu entre eux ; car l'univers n'est connu que par expérience » (id. 78),

dans la proposition particulière :

> « le sujet particulier est un sujet qui n'indique pas de quel individu on veut parler – sauf en ceci qu'on donne une description générale mais qui professe indiquer au moins un individu existant » (id, p. 78)

Dans ce cas, la proposition générale s'interprète dans ce cas comme une proposition particulière qui donne une description (un concept) s'appliquant à au moins un individu que l'on est donc capable de reconnaître.

On voit donc que la quantification ainsi présentée définit *l'univers du discours en termes pragmatiques*, comme ce qui doit être présent ou sous-entendu à l'arrière-plan de tout dialogue, soit en termes d'expérience réelle, soit en termes d'expérience possible ;

> « Pour chaque proposition, les circonstances de son énonciation montrent qu'elle se réfèrent à une collection d'individus ou de possibilités qui ne peut être décrite de façon adéquate, mais seulement indiquée comme quelque chose de familier à la fois au locuteur et à l'auditeur » (p. 79)

Il y a donc trois façons de dénoter :

> « En vérité, tout objet d'une conception est soit un individu désigné, soit une sorte d'individu indéterminé » p. 80 (et dans ce cas où l'objet est indéterminé, soit n'importe quel objet de l'univers, soit un individu de l'univers non désigné)

Ainsi l'indétermination de la proposition générale « un poisson est un poisson » ouvre trois façons différentes de dénoter :

-Traduit comme quantificateur universel, « un poisson » est un terme « général » dénotant « tous les poissons » dans l'univers du discours (ou plutôt de mon discours, différent pour le vairon et pour le têtard)

- Traduit comme quantificateur existentiel, « un poisson » est un terme « vague » qui dénote un individu x existant dans l'univers du discours (mais celui-ci ne désigne pas les mêmes individus du milieu environnant pour le vairon et pour le têtard)

- Traduit comme terme indexical, « un poisson » est un terme d'identification désignant un individu précis : « tu es un poisson comme moi » dit le vairon au têtard. Traduit indexicalement, « tu as raison un poisson est un poisson » signifie que « moi, je suis un poisson », exemplaire particulier de l'espèce.

Le but de la paraphrase est d'indiquer les individus il s'agit, qu'ils soient *vagues* ou *indéterminés*. Dénoter, c'est donc déterminer dans l'extension du concept de « poisson » les individus que l'on peut (ou que l'on doit) identifier comme tels. Mais tant le récit que le corpus de la séance montrent que le sens du concept, s'il est décisif quant à la détermination de son domaine d'objets ou d'individus, est cependant variable. Comme le montre le texte du récit au début de l'album, le vairon et le poisson sont en désaccord sur le concept de « poisson » :

> « Mais voici qu'un matin le têtard s'aperçoit que deux petites pattes lui ont poussé pendant la nuit ; « Regarde », dit-elle tout fier. « Regarde, je suis une grenouille ! » « Allons donc » dit le vairon. « Comment pourrais-tu être une grenouille alors qu'hier soir tu étais encore un petit poisson comme moi ! ».

Pour le vairon *la forme perceptive* similaire fait l'identité du concept de poisson : ce concept visuel (ou iconique en termes peirciens) inclut donc le têtard dans son extension. Au contraire, le têtard utilise les *indices visuels* surprenants (la pousse des pattes) pour en déduire (ou faire une abduction ?) qu'il entre dans la classe des grenouilles : il applique un concept biologique d'espèce. Le têtard divise par conséquent en deux espèces les individus d'un même univers d'expérience que le vairon confond dans le même concept iconique.

La quantification interroge aussi bien le concept qu'en retour le concept la quantification : en témoigne le corpus dans lequel les élèves posent la question de savoir si le crapaud fait partie de l'espèce des grenouilles ou le crustacé de l'espèce des poissons. L'épreuve des objets –la frontière toujours problématique des objets admissibles- met en question le contenu du concept.

III. L'épreuve des objets dans le discours des élèves dans la conceptualisation

En prenant appui sur les extraits suivants, on regardera comment les élèves recherchent pour les déterminer les objets dénotés dans une proposition *générale,* et si une telle recherche déclenche conjointement une interrogation *épistémologique* sur le mode de connaissance des objets en question.

M	Qu'est-ce que çà voudrait dire *des grenouilles sont des grenouilles ?*
A	Çà veut dire que que *peu importe quelles grenouilles sont sont des grenouilles*
M	*Toutes* les grenouilles sont …
Tous	Des grenouilles
?	Même si c'est pas la même sorte *c'est quand même une grenouille*
M	Donc qu'est-ce que ça veut dire *« être une grenouille »* ?
Ana ëlle	Ben ça veut dire que *c'est un animal qui s'appelle grenouille*
M	Heu attends je traduis en même temps Toutes les grenouilles [….]
A	*sont les mêmes*
M.	[….] Alors justement ce sont les mêmes en quel sens ?
A	[…] *au sens de « grenouille »*
M	Au sens de grenouille qu'est-ce qu'elle appelle au sens de grenouille
A	Et ben c'est que c'est une race
M	*Une espèce* on dira
A	Ouais une espèce où il y a plusieurs races de grenouilles […]
M	Plusieurs espèces on dit pas race hein plusieurs espèces de grenouille
A	Plusieurs espèces de grenouille voilà
M	Est-ce que vous en connaissez des espèces de grenouille oui
?	Oui *un crapaud*

A	C'est **toutes les grenouilles du monde** sont l'espèce grenouille
M	Charlie tu veux rajouter
C	Moi j'aurais plutôt dit **les grenouilles dont on parle** sont des grenouilles mais pas forcément heu ça peut être plein de grenouilles il peut y avoir les rainettes mais c'est les grenouilles dont on parle […]
M	Là donc quand tu dis les grenouilles c'est les grenouilles dont on parle où là
A	Charlie en fait si c'est les grenouilles dont on parle heu ça veut pas dire que c'est toutes celles du monde si ce sont celles **dont** on parle toi quand tu dis les tu tu d'accord c'est celles dont on parle mais mais quand tu dis dont on parle heu [….]
M	Et quand et quand t'on dit dont on parle est-ce que c'est à qui il s'adresse le têtard
M	Voilà dont on est en train de parler ça représente qui les grenouilles dont on parle
A	Ben ça serait ***la grenouille celle-là***

Rappelons encore le contexte de ces échanges dans le récit de l'album :

« Ils discutent longuement et, pour en finir, le têtard déclare :
« Les grenouilles sont des grenouilles,
et un poisson est un poisson, c'est comme ça et pas autrement ! »

Considérée en soi, cette proposition du point de vue d'une analyse logique sémantique présente une valeur universelle, impersonnelle, indépendante du contexte de l'album et énonce une vérité objective valable pout tous les objets du monde. Posture décontextualisée à laquelle s'oppose le point de vue pragmatique, qui restitue le contexte d'énonciation (qui parle de quoi dans quelle situation ?) : assertée et assénée par le têtard, et assénée dogmatiquement sans discussion possible, cette même proposition n'a pas le même sens pour l'un et pour l'autre, voire est sans objet pour le vairon. Or, c'est même question qui se joue dans les échanges entre les élèves : quel est l'univers du discours recouvert par cette proposition : le monde en totalité (« toutes les grenouilles »), pour les protagonistes, ou l'univers d'expérience des protagonistes (« les grenouilles dont on parle ») qui va permettre de valider en acte quels individus sont des grenouilles ?

On se contentera à propos des deux extraits d'échanges ci-dessus de noter la réorientation des échanges lorsque un élève fait basculer l'interprétation de la quantification universelle du registre de la sémantique au registre pragmatique du dialogue :

a/. les énoncés universellement quantifiés dans la sémantique logique (Frege) sont ceux qui sont vrais de tous les individus entrant dans l'extension du concept : « C'est ***toutes les grenouilles du monde*** qui sont ***l'espèce grenouille*** » (A), « peu importe lesquelles », « toutes », « les mêmes »/ Mais « grenouilles » « au sens de ? » demande le maître, interrogeant la teneur conceptuelle du concept « être une grenouille » : qui se précise en « un animal » (= teneur biologique du concept), puis « une espèce », enfin des variétés de « races » ou de sous-espèces : « rayées », « crapaud, « rainette », etc… Le même mot étant partagé en deux fonctions, nominale et conceptuelle, le jeu des « interprétants » vient alimenter le contenu du concept et la pluralité de son extension : les élèves précisant le contenu du concept divisent conjointement les composantes de la même espèce animale ; elles sont de moins en moins « toutes les mêmes », les grenouilles,.

b/ Dans cette dynamique, est remarquable la contestation apportée dans le second extrait par un élève à propos de l'énoncé universel : « Moi ***j'aurais plutôt dit les grenouilles dont on parle sont des grenouilles*** […] il peut y avoir les rainettes mais c'est les grenouilles dont on parle » à qui répond un autre élève : « si c'est les grenouilles dont on parle heu ***ça veut pas dire que c'est toutes celles du monde*** si ce sont ***celles dont on parle toi*** quand tu dis les.. ». La quantification universelle au sens pragmatique restreint l'univers de référence aux individus présupposés dans le dialogue du récit : « ***Les grenouilles dont on parle*** ». Dans l'univers du discours propre à un locuteur, conforme à son concept. Mais au bout du compte, l'espèce-grenouille du récit est utilisée comme patron pour identifier la grenouille du récit, « ***la grenouille celle-là »***. Il n'y a de savoir conceptuel que celui qui vient se prouver dans l'expérience des interlocuteurs, la valider et la reconstruire.

Il faudrait certes approfondir ce qui n'est encore qu'une perspective…

C'est la grande découverte de ce petit labo : la logique de la quantification doit contribuer confronter la généralité du langage conceptuel avec la particularité des objets du monde.

D'une certaine manière le savoir doit porter à travers les lois générales non pas sur des objets généraux, mais sur des objets particuliers. Le concept scientifique doit replonger dans l'épreuve des objets singuliers : faire l'épreuve des objets singuliers pour éprouver les lois générales qui ne parlent de rien en particulier, vides d'objet.

Conclusions

Notre propos était de montrer le rôle de la quantification dans la construction conjointe de la généralisation et de la conceptualisation.

Le recours à la quantification est-il un outil pertinent pour clarifier les enjeux épistémologique et didactique présents dans le processus de conceptualisation et peut-il guider par conséquent l'enseignant dans la conduite de sa séance ?

Peirce présente cette originalité de ré-interprèter la fonction des quantificateurs dans le cadre pragmatique de la logique dialogique, tenant compte d'une part a/du sens conceptuel attribué par les locuteurs et d'autre part b/ de l'univers du discours qui se trouve présupposé en arrière-plan dans l'interprétation des acteurs du dialogue. Il y a en effet plusieurs manières de conceptualiser (et donc de quantifier) un même univers d'objets ou d'individus. Le véritable enjeu épistémologique du petit labo était par conséquent d'amener les élèves à expliciter, confronter et à évaluer les différents modes de dénotation d'un même univers d'objet ou d'individus en fonction des différentes sens du concept : basculer du concept iconique au concept d'espèce biologique.

Références

LIONNI, L (trad.1981) Un poisson est un poisson, L'école des loisirs

CHAUVIRE, C. (2005), « Pragmatisme, sémiotique et quantification chez C.S. Peirce »,in La quantification dans la logique moderne (P. Joray,direct.) L'Harmattan,

DURAND-GUERRIER V., HERAUD J.L, TISSERON C., (coord.) (2006,) Jeux et enjeux de langage dans l'élaboration des savoirs, Lyon, P.U. Lyon,

BRUGUIERE C, HERAUD J.L. (2007), "Mondes possibles et compréhension du réel : la lecture d'un album comme source de questionnement scientifique au cycle 2 de l'école primaire" Aster n°44 "sciences et récit", p. 69-106

BRUGUIERE C., HERAUD J.L. (2007), "Enjeux épistémologiques et scientifiques autour de l'interprétation de dessins de fiction au cycle 2 de l'école primaire". 5ème Rencontres de l'ARDIST, la Grande – Motte, p. 49-55

QUINE W.V.O. (trad.1977), Le Mot et la chose

Contribution n° 2

FAIRE L'EPREUVE DES OBJETS EN MATHEMATIQUES LE CAS DES POLYEDRES REGULIERS

Viviane DURAND-GUERRIER & Thierry DIAS
Université de Lyon, Université Lyon 1, IUFM & LEPS-LIRDHIST
vdurand@univ-lyon1.fr, thierry.dias@iufm.univ-lyon1.fr

Introduction

L'enseignement des mathématiques à l'école élémentaire constitue pour le chercheur, le formateur ou l'enseignant un véritable défi à relever (Durand-Guerrier, 2004), et tout particulièrement dans la perspective de l'efficacité et de l'équité qui nous rassemble ici. On peut comme certains auteurs se demander pourquoi encore enseigner les mathématiques à l'école (Mercier & Sensevy, 1999). De nombreux auteurs, et parmi eux certains mathématiciens, sont enclins à ne voir dans l'enseignement des mathématiques à l'école qu'un outil précoce de sélection, que d'autres disciplines, plus en prise sur le monde, pourraient remplir aussi bien, voir mieux. Ceci renvoie de manière essentielle à une interrogation sur la dimension épistémologique des savoirs de l'école. En ce qui concerne les mathématiques, on peut repérer une tension entre deux pôles contradictoires. Le premier pôle consiste à considérer que les mathématiques sont essentiellement un langage et que son apprentissage se résume à l'appropriation d'un formalisme opératoire et des techniques associées. La tentation d'adhérer à cette conception de l'enseignement des mathématiques est d'autant plus grande que, si elle est reconnue comme étant difficile pour les élèves, on pourrait considérer qu'elle facilite grandement le travail du professeur, qui alors dispose d'un texte du savoir bien délimité et bien organisé, et qu'elle permet d'identifier l'échec des élèves à un manque de travail, d'écoute ou d'attention, ou encore à une difficulté à entrer dans l'abstraction. Le deuxième pôle consiste à considérer que les connaissances mathématiques élémentaires émergent toute seules de l'observation et de la manipulation d'objets sensibles bien choisis dans une forme d'empirisme naïf. Le travail du professeur consiste alors à mettre à la disposition des élèves du matériel bien choisi, qu'il prépare lui-même ou qu'il sélectionne dans les très nombreuses propositions de matériel éducatif que l'on trouve sur le marché. Selon cette conception, l'échec en mathématiques peut être identifié à des insuffisances cognitives. Cette dichotomie peut paraître caricaturale, mais c'est bien ce que l'on peut observer dans de nombreuses classes, entendre lors de stages de formation continue, et que nombre de nos jeunes collègues en formation initiale rencontrent lors de leurs stages en établissement.. C'est que ce que nous leur proposons, à savoir mettre la signification au cœur du processus d'apprentissage des mathématiques, est exigeant et nécessite de revenir sur ses propres savoirs. Bien souvent, ces derniers nous disent ne pas pouvoir mettre en accord ce que nous proposons dans la formation et ce qu'ils voient dans les classes. Dans cette communication, nous allons nous intéresser à la géométrie des solides, mais d'autres domaines mathématiques sont également redevables de ce type d'analyse, si tant est que l'on considère avec Langevin (1950), que « Le concret, c'est de l'abstrait rendu familier par l'usage ».

I. La Géométrie comme élaboration conceptuelle stable permettant d'agir sur le monde

La conception de l'enseignement des mathématiques à l'école que nous souhaitons défendre ici sur l'exemple de la Géométrie des solides relève de l'articulation des deux pôles précédents, ceci afin de dépasser la contradiction apparente entre les Mathématiques comme langage et les Mathématiques comme sciences de l'empirie (Dias,).

En accord avec Sensevy & Mercier (1999), nous considérons que l'apprentissage des mathématiques nécessite le développement d'une culture des modèles :

> « Assimiler une culture des « modèles » c'est donc se rendre capable de considérer le modèle, non dans un rapport mimétique à la réalité (…) ; mais comme un système de signification susceptible de nous apprendre des choses sur la réalité, et par là même, de nous rendre susceptible d'agir sur elle. (…) ».

Sous un tel point de vue, le modèle pourrait apparaître comme le lieu du travail mathématique à l'école : nous ne sommes déjà plus dans la réalité, et nous ne sommes pas encore dans la Théorie. C'est un lieu (un milieu) où l'on peut traiter les résistances du réel.

De ce point de vue, la géométrie à l'école élémentaire apparaît comme un exemple paradigmatique, comme le souligne Longo (1997) :

> « La cohérence et l'objectivité de la construction conceptuelle que […] nous proposons, dans ce cas la géométrie, se fonde sur l'efficacité de notre action dans le monde car le monde ses symétries, sa connexion, ses régularités s'imposent à nous ou font résistance quand nous agissons ainsi que quand nous proposons une théorie (…) »

Ce que semblent nous dire ces auteurs, c'est que l'une des fonctions des connaissances mathématiques est de pouvoir agir dans et sur le monde. En retour, comme nous le dit Longo, c'est l'efficacité de cette action dans le monde qui fonde la stabilité de nos élaborations conceptuelles. On voit donc là s'ouvrir une piste pour les apprentissages premiers : permettre aux élèves d'éprouver l'efficacité des connaissances mathématiques pour agir dans le monde, afin de pouvoir s'engager dans un processus de conceptualisation. Il s'agit aussi de permettre la rencontre avec les résistances du monde réel, à la fois dans nos actions sur le monde, mais aussi dans nos élaborations théoriques. Dans la perspective d'un enseignement des mathématiques pour tous se fondant sur l'hypothèse que cette construction conceptuelle est un élément fondamental de notre humanité, de notre rapport au monde, il convient de s'interroger sur les moyens dont nous disposons pour favoriser l'accès du plus grand nombre d'élèves non seulement aux outils et méthodes spécifiques des mathématiques, mais également à la signification des objets mathématiques et de leurs propriétés et à leurs liens avec les autres domaines de la connaissance et de l'activité humaine.

II. La Théorie des Situations Didactiques comme levier pour penser les rapports au monde des connaissances mathématiques

La théorie des situations didactiques est fondée sur le triptyque « action, formulation, validation », et sur le concept fondamental de milieu. Etre confronté à un milieu antagoniste, porteur de rétroactions, de contradictions, de résistances ; dépasser ces contradictions ; formuler des conjectures, les discuter, les mettre à l'épreuve de la réalité en les confrontant à nouveau au milieu matériel, c'est l'aventure qui est proposée à celui qui s'engage dans la situation de l'agrandissement du puzzle (Brousseau, 1998). Ainsi, si vous voulez agrandir chaque pièce du puzzle afin de pouvoir reconstituer un puzzle ne différant du précédent que par la forme, il ne faudra pas ajouter un même nombre à chacune des mesures des côtés, ni mêmes aux seuls côtés de l'angle droit. La réalité résiste dans la mesure où vous ne pourrez pas reconstituer le puzzle, il y aura des trous, et ceci nous donne un indicateur de ce que signifie « conserver la forme ». En géométrie, conserver la forme, c'est conserver les angles, c'est fabriquer des triangles semblables, et ce n'est pas un choix arbitraire, ni même un choix conventionnel ; c'est le choix qui permet d'agrandir les objets du monde réel, de sorte que les agencements soient respectés. Ceci est efficace dans de nombreuses activités humaines, et c'est cette efficacité, qui non seulement justifie que cette connaissance soit enseignée dans la scolarité obligatoire, mais nous dit Longo, c'est aussi cette efficacité qui permet à la fois l'objectivité et la stabilité de cette élaboration conceptuelle. On ne voit souvent dans cette situation de l'agrandissement du Puzzle que son intérêt pour l'introduction de la proportionnalité, alors qu'elle permet d'aller bien au-delà. C'est en effet une situation qui met en évidence ce *miracle* que représente la relation entre des propriétés numériques des mesures de longueurs et des propriétés géométriques, et dont le théorème de Thalès et le théorème de Pythagore sont emblématiques. Faire l'épreuve des objets, dans un milieu organisé à cet effet, afin de dépasser des connaissances inadaptées, parce qu'inefficaces, c'est donc ce que nous propose Guy Brousseau dans cette situation. Des situations permettant de faire cette épreuve des objets, ce chercheur créatif s'il en est en a proposé d'autres. Néanmoins, une question récurrente pour les chercheurs s'inscrivant dans le cadre de la Théorie des Situations Didactiques est celle de la possibilité de trouver d'autres situations de ce type, pour d'autres élaborations conceptuelles. C'est une question difficile. Pour le colloquium donné à Paris en Octobre 2005 à l'invitation de la CFEM[6] et de l'ARDM[7], Guy Brousseau avait intitulé sa communication « Des situations mathématiques aux situations didactiques en mathématiques. 1960-2005». Il a montré au cours de son exposé que les ressorts des situations didactiques se trouvent dans les mathématiques elles-mêmes. Isabelle Bloch, dans son cours à l'école d'été de didactique des mathématiques en 2001 (Bloch, 2002), a proposé une structuration du travail du chercheur susceptible de lui permettre d'élaborer de telles « situations fondamentales ». Elle insiste en particulier sur la nécessité de travailler d'abord sur le modèle de milieu épistémologique, qui permet de travailler, en amont du projet d'enseignement, sur les dimensions culturelles, historiques, voire anthropologiques du ou des concepts que l'on se propose d'enseigner ; puis d'organiser le modèle de milieu expérimental *a priori* en sélectionnant les variables didactiques pertinentes, avant l'étape de confrontation à la contingence. Bien qu'elle ne garantisse pas l'élaboration de situations fondamentales (Brousseau, 1998, Bloch, 2002), cette méthodologie de recherche permet d'insérer les situations didactiques singulières que l'on va mettre en œuvre dans un réseau plus vaste de significations, un des enjeux étant que le milieu mis en place permette l'accès à une partie au moins de ce réseau de signification. Ceci grâce à la confrontation aux objets (situation d'action), au discours sur les objets (situation de formulation) et à l'insertion dans un réseau de connaissances dans un processus d'argumentation et de preuve (situation de validation et institutionnalisation).

III. La relation entre le Plan et l'Espace, un candidat pour une situation permettant de faire l'épreuve des objets

[6] Commission Française pour l4enseignement des Mathématiques : http://www.cfem.asso.fr
[7] Association pour la Recherche en Didactique des Mathématiques : http://www.ardm.asso.fr/

On peut légitimement se demander quels sont les savoirs minimaux nécessaires au citoyen dans la perspective d'un socle commun des connaissances visant à répondre à la variété des aspirations personnelles et professionnelles des élèves (Durand-Guerrier, APMEP). Il ne fera de doute pour personnes que les relations entre l'Espace et le Plan en font partie. Dans leurs travaux, Berthelot et Salin (1992) ont montré toute l'importance des connaissances spatiales pour les apprentissages géométriques, et que celles-ci n'étaient pas ou peu prises en compte dans l'enseignement obligatoire, leur acquisition étant largement laissée au hasard. La question du rapport de la Géométrie à l'Espace est une question difficile, tant du point de vue empirique que du point de vue théorique, comme l'a montré l'émergence des géométries non euclidiennes. Néanmoins, nous faisons l'hypothèse qu'au niveau de la scolarité obligatoire, si l'on travaille dans le méso espace[8] ou le micro espace[9], il est raisonnable de s'appuyer sur le point de vue selon lequel la géométrie est une modélisation de l'espace sensible (voir par exemple Nicod, 1923). Disant cela, on se place d'emblée dans la géométrie dans l'espace, car les êtres humains que nous sommes ne vivent pas au pays de Flatland (Abott), mais dans un espace en trois dimensions. Cet espace ne se résume pas à une structuration suivant trois plans, mais à un environnement où les lignes, les surfaces courbes, et les volumes de toutes sortes, non seulement ont droit de cité, mais sont quasi omniprésents.

A l'école primaire, la problématique des relations entre le Plan et l'Espace peut se traiter de nombreuses manières, et en particulier par les biais des activités mettant en jeu le corps (Activités physiques et sportives, Danse, Course d'orientation etc.) Dans cette communication, ce n'est pas la voie que nous avons choisie.

Nous nous plaçons dans le micro espace et nous nous proposons de travailler sur un problème classique qui consiste à déterminer tous les polyèdres réguliers convexes, autrement dit les Solides de Platon.

IV. Un problème de recherche en Géométrie des solides[10]

La situation que nous allons présenter maintenant est une situation classique en géométrie des Solides, que nous avons expérimentée dans de nombreux contextes, tant auprès d'élèves, qu'auprès d'adultes dans le cadre de la formation initiale ou continue des enseignants, en particulier dans le cadre de l'adaptation scolaire. Le texte du problème que nous proposons dans le cadre de la formation des enseignants est le suivant :

Un polyèdre est un solide délimité par des faces planes.

Un polyèdre régulier est un polyèdre convexe dont les faces sont des polygones réguliers deux à deux superposables tels qu'à chacun des sommets correspond un même nombre de faces.

Déterminer 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.

Figure 1. Le texte du problème ouvert de géométrie

[8] L'espace des déplacements du sujet dans un domaine contrôlé par la vue (Brousseau, 1983).

[9] L'espace des interactions liées à la manipulation des petits objets". Le sujet est extérieur à cet espace et peut avoir une vision (relativement) globale des objets (Brousseau, 1983).

[10] Ce paragraphe est largement repris de Dias & Durand-Guerrier (2005)

Lorsque nous le proposons aux élèves, nous l'insérons dans une séquence, et dans certains cas, nous proposons une contextualisation du problème (Dias, à paraître).

Dans l'organisation de la situation, nous mettons à la disposition des participants du matériel permettant de faire et défaire facilement des solides : polygones en plastique avec procédés d'articulation type *Polydron* ou *Clixi* que l'on trouve assez souvent dans les écoles maternelles. Les figures proposées comprennent des triangles isocèles, rectangles ou équilatéraux, des rectangles, des losanges et des carrés, ainsi que des pentagones, des hexagones, des heptagones et des octogones réguliers. Nous proposons également règles, compas, ciseaux, équerre etc. La mise à disposition de l'ensemble du matériel vise à faciliter le va-et-vient entre les objets sensibles et les objets mathématiques lors de l'activité de résolution.

Le point nodal de la situation réside dans l'impossibilité matérielle de réaliser un polyèdre régulier avec des faces hexagonales, ce fait étant concordant avec la propriété que ces mêmes hexagones isométriques permettent de paver le plan. Ce problème pose donc de manière "naturelle" la question des relations entre le Plan et l'Espace et la confrontation avec la réalité s'avère alors "cruciale". L'hypothèse forte que nous faisons est que cette situation de résolution de problème va permettre, au moins dans certains groupes, la rencontre effective avec la question "Peut-on réaliser un polyèdre convexe avec trois hexagones réguliers isométriques ?".

Trois grandes catégories de démarches peuvent être attendues, et sont régulièrement observées, dans la résolution du problème : une exploration directe avec le matériel (dont la présence dans le milieu de la situation n'est pas sans incidence) ; un aller-retour entre exploration du matériel et recherche dans l'environnement papier/crayon ; une tentative de recherche dans l'environnement papier /crayon avant la confrontation des hypothèses avec le matériel, voir un refus de confrontation avec le matériel. La nature même de la question, et le niveau auquel on la pose, suscite un certain nombre de questions. En particulier, on peut se demander ce que signifie ici "Déterminer tous les polyèdres réguliers convexes". Selon que l'on pense qu'il y en a une infinité, voire même exactement un pour chaque type de face (par analogie avec les polygones réguliers), ou bien qu'il y en a un nombre fini, on peut se demander : s'il faut les construire tous avec le matériel ou fournir une méthode permettant de les trouver tous ; si on doit prouver leur existence, voire leur unicité, dans la théorie géométrique ou si on peut prouver leur existence sans les construire etc... Indépendamment ou non du recours au matériel, il y a plusieurs façons d'aborder le problème : commencer par faire l'inventaire de ce que l'on connaît ; essayer systématiquement tout ce qui est possible pour un type de face donné avant de passer à un autre type de face ; choisir un type de face et essayer de réaliser un polyèdre ; essayer de dessiner des patrons ; essayer de dégager des lois mathématiques permettant de répondre à la question sans construire etc.... Plusieurs de ces procédures aboutissent à la rencontre avec le problème du pavage du plan, qui conformément à nos hypothèses ne manque pas d'arriver, soit avec les hexagones réguliers, soit ce qui est équivalent, avec six triangles équilatéraux.

On se trouve bien ici, selon nous, dans une perspective de modélisation au sens de Sensevy & Mercier (1999)[11]. En effet, le recours au modèle mathématique que constitue ici la Géométrie euclidienne, dans une perspective minimaliste, permet de rendre compte des phénomènes observés, de faire des prédictions sur le réel et nous donne des indications pour agir afin de confronter ces prédictions au réel. Ceci relève de ce qu'on appelle dans les programmes de l'école élémentaire la démarche scientifique et fournit un exemple de ce que pourrait être une démarche expérimentale en mathématiques. Comme nous l'avons montré ailleurs (Durand-Guerrier, 2008), le travail à l'oeuvre dans ce type de situation peut s'analyser dans le cadre de la

[11] Voir citation ci-dessus au paragraphe 2

théorie élémentaire des modèles initiée par Tarski (1960), qui permet d'analyser le va-et-vient entre travail avec les objets familiers et élaborations théoriques, offrant ainsi « une épistémologie effective dans la mesure où la réflexion est orientée vers et investie dans l'agir permettant de comprendre (et non pas de fonder) les mathématiques (Sinaceur, 1992).

V. Faire l'épreuve des objets en géométrie des solides

Dans ce paragraphe, nous allons présenter un exemple permettant d'illustrer ce que nous entendons ici par « faire l'épreuve des objets ». Cet exemple à déjà fait l'objet de plusieurs publications[12]. Nous en faisons ici une relecture à la lumière de notre questionnement.

Les échanges que nous analysons ci-dessous ont été recueillis et transcrits en 2004[13], dans un groupe de quatre enseignants en poste dans l'ASH[14] en formation continue. Notons que ces échanges sont tout à fait représentatifs de ce que l'on peut régulièrement observer en formation avec ce problème[15].

Dans la première partie du travail, les membres du groupe ont discuté sur la signification de l'expression « deux à deux superposables » sans réussir à se mettre d'accord (Durand-Guerrier & Dias, 2007). Le professeur (le premier auteur de ce texte) a donné la signification de l'expression dans ce contexte. Une discussion s'engage alors entre les membres du groupe :

P	*intervention du professeur qui traduit "les faces sont superposable 2 à 2" par "les faces sont toutes identiques"*
C	donc, faut revenir à ce que je disais, toutes les faces identiques… déterminer tous les polyèdres réguliers… y'en a une infinité ! y'en a une infinité puisque je peux avoir un triangle, un carré, un pentagone, un hexagone…
G	tu es sûr qu'on va pouvoir arriver à faire un polyèdre avec n'importe quel polygone ? on va toujours y arriver ?
C	Oui
G	en gardant que des identiques… ?
C	Oui
J	toutes les faces identiques ? par exemple si tu pars de …
S	par exemple, ton hexagone, comment tu vas faire avec ça ?
J	ouais comment tu vas faire ?
C	euh… alors c'est pareil, je sais pas le dessiner… j'étais parti sur le pentagone, mais c'est trop dur (*à dessiner ?)*
S	parce que là, y'a…, faut pas oublier qu'y a convexe aussi
C	et bien, ils le seront… bon alors… pourtant je la vois dans ma tête la figure… euh…
G	sur le principe, euh… je vois bien ce que tu veux dire, mais je suis pas sûr que ça marche à tous les coups parce que… j'vois on est obligé quand on a des figures en volume faites à partir du patron, hein, de temps en temps, d'avoir au milieu, quand même, des petits carrés parfois pour faire les compléments
C	pour boucher…
G	ouais, pour boucher, en gros c'est un peu ça, je suis pas sûr qu'on puisse avec tous moi… mais alors comment le vérifier ?
C	si, on doit pouvoir le faire… admettons que là je l'ai fait (*parle du tétraèdre*), d'ailleurs je suis obligé de l'avoir fait là, avec un triangle équilatéral… si je veux que toutes mes faces soient égales… parce que je peux avoir ces 3 faces là égales en

[12] Dias & Durand-Guerrier, 2005 ; Durand-Guerrier, 2007 ; Durand-Guerrier, 2008.
[13] Une description plus complète se trouve dans Dias & Durand-Guerrier, 2005
[14] Dispositif d'Adaptation et de scolarisation des élèves en situation de handicap
[15] Voir par exemple Durand-Guerrier, 2005

	mettant des… triangles mais seulement l'autre il le sera pas…
S	et si on essayait ... en essayant avec des...
C	y'a des choses pour manipuler ?
S	t'as envie de faire avec ton hexagone... hein ?
C	oui je voudrais essayer *(ils se lèvent pour prendre du matériel, G construit près du carton de matériel, C et S reviennent à leurs bureaux avec des polygones, C essaye un assemblage avec uniquement des hexagones, S fait de même avec des pentagones, J ne manipule pas elle regarde G)*
C	voilà, on va essayer de manipuler, je vais essayer de prendre tous les hexagones, on va voir si ça marche... alors...

Figure 2 : Extrait n°1 - Groupe d'enseignants de l'ASH

Dans ce premier extrait, nous voyons émerger *des énoncés tenus pour vrais sur le réel*, qui vont jouer le rôle d'*axiomes* pour C pendant une grande partie du travail, et ce malgré les interrogations de G.

A_1 *: Il y a exactement un polyèdre régulier par polygone régulier*

A_2 *: Il y a une infinité de Polygones réguliers convexes.*

Notons que le premier axiome (contrairement au second) n'est pas un théorème de la géométrie euclidienne, et que précisément, le problème vise à le reconsidérer.[16]

De ces deux axiomes découlent deux conséquences logiques :

E_1 *: il est possible de réaliser un polyèdre régulier avec des faces hexagonales*,

E_2*: il y a une infinité de polyèdres réguliers.*

Après avoir évoqué leurs expériences en lien avec les patrons, ils se tournent vers le matériel et la possibilité d'essayer, autrement dit de revenir aux objets.

C s'engage alors dans la construction avec des hexagones, tandis que S essaye avec les pentagones :

G	y va t'en falloir ! (*parle à C du nombre d'hexagones nécessaires à la construction)*
S	non ça coince là (*rires, il parle à C de la construction réalisée avec des hexagones)*...y voudra pas s'laisser faire celui là !
S	j'pense pas que ça marche
J	hum...
C	moi je suis sûr que si, non ?
S	hum...
J	j'le sens mal celui là *(elle parle de l'assemblage de C)*
	C tente l'assemblage des hexagones avec l'aide de S
S	non parce tu vois l'**angle** qui est là... quoi que...quoi que *(C et S construisent en simultané, C avec des hexagones, S avec des pentagones, J les regarde)*
C	pourquoi ça n'marcherait pas ?
C	Attends, avec la chance que j'ai quand je vais plier ça va tout se démonter...

Figure 3 : Extrait n°2 - Groupe d'enseignants de l'ASH

On peut noter ici la posture de C qui, quoique que persuadé que cela va marcher avec les hexagones, veut néanmoins s'en assurer par une construction effective avec le matériel.

[16] On pourrait éventuellement parler ici d'axiomes en actes, cependant, nous n'avons pas fait ce choix, car il ne nous semble pas que ces axiomes soient à proprement parlé associés à des invariants opératoires,

Pendant que C continue d'essayer de réaliser le solide avec des hexagones, S a réussi à construire un demi dodécaèdre avec les pentagones réguliers, tandis que G cherche une suite numérique, tout en continuant à exprimer ses doutes. S doutait de la possibilité avec les pentagones ; suite à cette réussite, il pense que c'est aussi possible pour les hexagones et se met à travailler avec C.

G	moi justement j'ai l'impression qu'on est dans le cas de figure où on ne peut pas faire uniquement avec des mêmes
C	si, si, si
J	on ne peut pas faire uniquement avec des ?
G	avec des... des identiques
C	si, si moi je suis sûr !
S	ben moi j'étais... j'pensais pas que celui là allait marcher mais maintenant j'vois que celui là il marche *(le dodécaèdre)*... alors, je suis sûr que celui là il peut se faire (*il parle de la construction avec des hexagones)*
G	ah ouais, tu imagines qu'en s'ouvrant un petit peu plus à chaque fois...
S	ouais, ouais, l'**angle**, un petit **angle** en plus et tu peux faire...
C	bien sûr !
S	... des milliers des... t'as les diamants qui ont j'sais pas combien de facettes *(montre avec ses mains les contours d'une forme de sphère)*
C	et oui !
S	c'est des trucs à faces régulières et qui en ont des centaines des fois
S	quelqu'un veut tenter le...
C	non, non tiens, écoutes, tu as l'air plus adroit que moi, moi je vais essayer de voir ça... quand j'ai... côtés et faces... *(il reprend ses écrits et laisse la construction)*
S	ah ouais mais là ça va nous faire un truc énorme en fait
C	ah oui
S	parce que là c'est ça l'**angle** hein ? y'a pas plus d'**angle** que ce que tu as fait hein ? *(il a reprit la construction de C avec les hexagones)*
C	j'sais pas
S	ouais tu vois, en fait, un **angle** comme ça voilà... donc ça va nous faire un truc euh...

Figure 4 : Extrait n°3 - Groupe d'enseignants de l'ASH

À ce point du travail de recherche, on voit émerger un nouvel énoncé tenu pour vrai sur le réel, qui vient conforter le premier axiome et la conviction de la possibilité de réaliser un polyèdre régulier à faces hexagonales :

E_3 : il existe des polyèdres réguliers ayant un très grand nombre de faces.

Cet énoncé, qui pourrait sembler découler lui aussi des axiomes de la théorie locale du groupe, est en fait légitimé par une référence externe (référence aux diamants) : pour C, cet énoncé est vrai car il est en conformité avec les faits. Il vient conforter l'énoncé E_1. En effet, l'énoncé E_1 oriente fortement l'action de certains membres du groupe, qui associent un nombre de plus en plus important de pièces dans l'espoir d'obtenir un volume.

Parallèlement, G soutient la négation de l'énoncé E_1, soit

E_4 : « On ne peut pas réaliser un polyèdre régulier avec des faces hexagonales », ou encore

$E_{4'}$ « *Aucun polyèdre régulier n'a des faces hexagonales* »

Ceci s'appuie pour lui sur un nouvel axiome :

A_3 « On peut paver le plan avec des hexagones »

La référence qui permet de poser ce nouvel axiome est une référence externe (la référence au carrelage). Dès lors qu'il est apparu, il reste présent tout au long des échanges, et sert de référence stable pour G.

G	Non mais moi j'crois que tu peux pas avec celui là, ça correspond tu sais au pavages au sol quand on pose des carreaux, euh... ça reste plat, jamais tu peux en faire un truc...
S	tu crois ?
G	tu sais ça c'est la forme des...
S	est-ce qu'il y a vraiment un volume là ou...
G	... des carreaux que tu mets au sol dans ta maison
S	...est-ce qu'il y vraiment un volume...
C	Ouais
S	... ou pas, moi j'en vois un hein... *(il tient la construction en équilibre sur son centre sur le bout d'un doigt en hauteur pour que tous voient)*
G	t'as du volume parce que c'est du plastique
S	là t'as une surface plane et là t'as un autre volume... *(il compare avec la surface du bureau)*
G	ouais je vois ce que tu veux dire, mais ça c'est...
S	je pense que là t'en auras un autre, non tu crois pas ?
C	Attends, attends, on va le savoir tout de suite *(il reprend la construction)*
G	prends un truc rigide et ça marchera pas hein…
C	on continue tout de suite on va voir *(il continue la construction pour donner d'avantage de souplesse à l'ensemble)*
G	là tu joues sur les petits espaces entre...
C	on va voir, on va voir tu vas voir... si on...
G	ça c'est un pavage ça
C	si on arrive à donner de l'**angle** là
S	parce que ouais, le problème du pavage c'est vrai que maintenant... si j'imagine un pavage tu peux pas le... y restera dans le plan
G	un pavage tu peux pas lui donner une forme...euh... en volume hein
G	là vous êtes...
S	mais ce qu'il y de sûr c'est que à mon avis, si celui là *(il parle du solide en construction)* y pouvait... si jamais y pouvait faire un...
G	non, moi je...
S	...un solide, j'sais pas combien il aurait de faces mais il en aurait un paquet !
C	ah mais c'est pas vrai ! (*ça casse encore...)*
G	à l'extrême limite, à mon avis, si tu arrivais à lui donner une forme à peu près volume... c'est en jouant sur les espaces
S	ça se rapprocherait de la sphère hein... tu penses pas que ça se rapprocherait de la sphère ?
C	si, moi je pense... on va lui en mettre beaucoup, on va mettre tout ce qu'on a puis on va voir si on peut lui donner du volume quoi
S	bon essayons de faire un cercle intermédiaire là, là tu vois on a celui là, si on arrive à finir celui là...
C	Ouais
S	...moi j'pense qu'il y a celui d'en haut qu'est dans un plan... *(il montre avec ses mains différents plans simulés : haut, bas, côté, il se lève pour gagner de la hauteur)*
C	ouais, t'as raison
S	... ensuite t'as l'autre, et si l'autre il est encore un peu plus incliné...
C	ouais t'as raison
S	... j'pense qu'on pourra en déduire que tu peux aller euh...

G	pour moi, uniquement avec des hexagones tu peux pas
C	moi j'crois que si *(S et C construisent le même assemblage : ils ont uni leurs efforts)*
J	*(rires)* y sont euh...
C	regardes y m'en manque euh... si je prends ça.... (*quelqu'un d'un autre groupe vient prêter des hexagones*)... on est consommateurs !

Figure 5 : Extrait n°4 - Groupe d'enseignants de l'ASH

On voit dans cette longue série d'échanges les deux postures qui s'opposent : celle de G qui, en se référant à l'expérience des carrelages, se convainc de plus en plus de l'impossibilité de réaliser le solide, tandis que C continue à essayer de le réaliser. On voit ici la stabilité du schème conceptuel de C, qui malgré les rétroactions fortes du milieu qui l'empêche de réaliser son solide (et ce malgré la relative souplesse du matériel) renonce d'autant moins à son projet que la référence au diamant lui donne un ancrage dans le réel.

À ce moment, dans le groupe, les deux énoncés contradictoires E_1 et E_4 sont en concurrence. En vertu du principe de contradiction, il faut rejeter l'un des énoncés. Dans une telle situation, on peut soit a) travailler à établir l'énoncé existentiel E_1 ; b) prouver que l'énoncé universel E_4 découle des axiomes ; c) retravailler la théorie (axiomes et/ou définitions) ; d) mettre en cause le dispositif expérimental. G qui soutient l'axiome A_3 commence par mettre en cause le dispositif expérimental en évoquant la possibilité de « prendre des trucs rigides » ; puis il propose un aménagement de la définition en proposant de « jouer sur les petits espaces » pour que le solide, que deux de ses collègues restant sur la position a) cherchent toujours à construire, réponde à la définition.

Ceci va durer jusqu'à ce que l'un des deux membres du groupe qui jusque-là était sur la position a) introduise un nouvel axiome :

A_4 : pour réaliser un polyèdre, il faut pouvoir faire un angle (sous-entendu un angle dièdre)

C	donc, dans ce triangle, ici, qui est... là... si j'ai 72 ça me fait 180 - 72 : 108 pour ces deux là, 54 mais comme j'ai 54 pareil ici 108
S	OK; 108; tu vois ce que je veux dire... moi je pense que...
C	alors que ici, là, j'ai 120, 120, 120
G	Hum
C	c'est à dire 360 dans ce cas là...
S	donc en fait, en gros, si on prend n'importe quel solide, on va prendre celui là... euh... moi je pense c'est une histoire d'**angle** parce que... tant que y vont pas s'toucher... tant que les 2 que tu vas mettre identiques de chaque côté ne vont pas se toucher ici... j'pense que tu vas pouvoir faire un polygone, dès le moment... parce que ici...
G	Voilà
S	ici... même si c'est infime tu vas pouvoir plier tu pourras replier
G	Oui
C	Oui
S	celui là, c'est clair qu'on peut pas parce que quand tu fais ton patron c'est déjà...
G	c'est déjà tout en place
S	c'est déjà collé donc tu vas pas plier

Figure 6 : Extrait n°5 - Groupe d'enseignants de l'ASH

Il y a alors accord sur le fait que ceci permet d'éliminer E_1 (il est possible de réaliser un polyèdre régulier avec des faces hexagonales), qui par ricochet détruit l'axiome A_1 **(**Il y a exactement un polyèdre régulier par polygone régulier), en fournissant un contre-exemple à l'énoncé général[17]. Il faut noter que la question de l'angle traverse tout le protocole, mais que c'est seulement vers la fin de la séance qu'elle apparaît pour les quatre participants comme un élément décisif. Dans le travail de ce groupe, on voit clairement se dégager les allers et retours entre connaissances géométriques, axiomes locaux, et travail sur les objets. On voit également le besoin pour certains des membres du groupe de pouvoir rattacher les résultats empiriques à un corps de connaissances mathématiques, ceci dans un processus de validation explicite au sens de Brousseau (1998)[18].

Dans le travail de ce groupe tel qu'il apparaît à travers les échanges, on peut voir clairement se dégager :

- l'importance du travail avec les objets pour mettre à l'épreuve les énoncés tenus pour vrais sur le réel ;
- l'importance du travail entre pairs pour faire émerger des interprétations diverses et éventuellement contradictoires des rétroactions du réel ;
- le rôle des modèles implicites d'action au sens de Brousseau (1998) qui structurent l'activité des sujets ;
- le rôle de la théorie mathématique (ici la Géométrie euclidienne) pour permettre des prédictions sur le réel ;
- la consistance de la situation pour poser la question de la relation entre le Plan et l'Espace.

Pour proposer régulièrement depuis plusieurs années cette situation également à des étudiants avancés en mathématiques, nous pouvons témoigner que l'enseignement habituel ne permet en aucun cas aux étudiants de problématiser cette question puisqu'en effet les phénomènes observés ici se retrouvent quel que soit le public auquel on propose cette situation. Permettre au plus grand nombre d'éprouver réellement, grâce à des situations didactiques construites dans ce but, la nature des relations entre mathématiques et réalité est pour nous un enjeu essentiel, tant en termes d'efficacité de l'enseignement qu'en termes d'équité sociale. En outre, les recherches conduites par Thierry Dias (Dias, à paraître) ont montré que ce type de situation permet d'amorcer des modifications significatives des pratiques enseignantes dans le champs de l'ASH, ouvrant la voie à la mise en œuvre de problèmes de recherche y compris dans les contextes d'enseignement difficiles où les pratiques habituelles visent à privilégier le développement des techniques opératoires au détriment de la signification des notions mathématiques en jeu.

Pour conclure, nous pourrions dire que s'appuyer sur *l'efficacité des mathématiques pour agir dans le monde* permet de réintroduire *la nécessaire équité vis-à-vis de savoirs et de connaissances qui participent significativement de notre manière d'être au monde.*

Références

ABBOTT E. (1884) *Flatland, A Romance of Many Dimensions,* London : Seeley and Co.

[17] Il faut noter toutefois que ceci n'est pas explicité par le groupe et que l'énoncé E2 (il existe une infinité de polyèdres réguliers) n'est pas remis en cause. Cet énoncé ne découle plus à ce moment-là des axiomes assumés ; nous savons qu'il est faux, mais leur recherche va cependant les conduire à le tenir pour vrai en considérant les polyèdres convexes obtenus avec les losanges.

[18] Ceci est développé dans Durand-Guerrier, 2007.

BERTHELOT R. , SALIN M.H. (1992) *Représentation de l'espace chez l'enfant et enseignement de la géométrie dans la scolarité obligatoire*. Thèse de Didactique des mathématiques, Université Bordeaux 1.

BLOCH I. (2002), Différents niveaux de modèles de milieu dans la théorie des situations, *Actes de la 11ème école d'été de Didactique des Mathématiques*, Grenoble : La Pensée Sauvage.

BROUSSEAU G. (1983) Etude de questions d'enseignement. Un exemple : la géométrie, Séminaire de Didactique des mathématiques et de l'informatique n° 45, Grenoble : LSD IMAG et Université J. Fourier.

BROUSSEAU, G. (1998) *La Théorie des Situations Didactiques,* Grenoble : La Pensée sauvage.

DIAS, T. (à paraître) L'apprentissage de la géométrie dans la scolarité obligatoire : une dialectique entre objets sensibles et objets théoriques. L'apport du contexte de l'ASH (Adaptation et scolarisation des élèves handicapés) : un environnement didactique spécifique et éclairant, à paraître en 2008, dans les actes de la 14ème école d'été de didactique des mathématiques, Sainte-Livrade, 2007.

DIAS, T. & DURAND-GUERRIER, V. (2005) Expérimenter pour apprendre en mathématiques, *Repères IREM, 60, 61/78.*

DURAND-GUERRIER, V. (2004) Enseigner les mathématiques en primaire, un défi à relever, *Gazette des mathématicien,99.*

DURAND-GUERRIER, V. (2005) Mathématiques et réalité, un exemple en géométrie des solides, compte-rendu d'atelier, in *Actes du séminaire 2004 de l'IREM de Montpellier*

DURAND-GUERRIER, V. (2006) Vers un socle commun en mathématiques. Quelques pistes de réflexion, *Bulletin Vert de l'Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public*, n° 463, mars-avril 2006.

DURAND-GUERRIER, V. (2007), Retour sur le Schéma de la validation explicite dans la théorie des situations didactiques à la lumière de la théorie des modèles de Tarski, in *Actes électroniques du colloque : Quelles références épistémologiques pour les didactiques*, Bordeaux, 25-27 mai 2005.

DURAND-GUERRIER, V. (2008) Que peut apporter un point de vue modèle-théorique pour les travaux de recherche en didactique des mathématiques ?, in *Actes du séminaire national de didactique des mathématique, année 2007*, IREM de Paris 7 & ARDM.

DURAND-GUERRIER, V. & DIAS, T. (2007), L'interprétation des énoncés en mathématiques. Un exemple en géométrie des solides, communication du symposium La sémantique logique comme concept organisateur pour un questionnement épistémologique des disciplines scolaires, in *Actes du colloque : Quelles references épistémologiques pour les didactiques*, Bordeaux, 25-27 mai 2005.

LANGEVIN, P (1950). *La pensée et l'action*, textes recueillis et présentés par Paul Larenne, préfaces de Frédéric Joliot-Curie et Georges Cogniot, Paris, Les Éditeurs Français Réunis.

LONGO, G. (1997) Géométrie, Mouvement, Espace, Cognition et Mathématiques *Intellectica* 1997/2, pp.195-218

MERCIER A., SENSEVY G. (1999), Pourquoi faire encore des mathématiques à l'école ? , in *Le Télémaque*, n°15 - Enseigner les sciences -

NICOD, J. (1923) *La géométrie dans le monde sensible*, réédition, PUF, 1992

SINACEUR, H. 1992, Logique : mathématique ordinaire ou épistémologie effective ?, in *Hommage à Jean Toussaint Desanti,* TER

Contribution n° 3

CONFRONTATION AUX OBJETS ET PROCESSUS DE CONCEPTUALISATION EN GEOMETRIE A LA FIN DE L'ECOLE PRIMAIRE, ROLE DES INTERACTIONS LANGAGIERES

Anne-Cécile Mathé,
Université d'Artois, IUFM Nord Pas de Calais
ac.mathe@club-internet.fr

Introduction

Le domaine de la géométrie à l'école primaire, parce qu'il conjugue de façon forte un travail sur des objets visuels et la construction d'une théorie traduisant une manière spécifique d'interpréter le réel, offre un champ d'étude privilégié à l'analyse des liens qu'entretiennent confrontations aux objets et processus de conceptualisation. En effet, les activités de géométrie à l'école primaire proposent essentiellement un travail sur des objets concrets, qu'il s'agisse de tracés de figures planes, de représentations planes ou de maquettes de solides. La confrontation aux objets dans les situations d'apprentissage en géométrie constitue donc une pratique courante et partagée par les professeurs des écoles. Toutefois, les travaux de recherche que j'ai pu développer ces dernières années autour de l'enseignement de la géométrie en cycle 3 de l'école primaire m'ont amenée à mesurer des dysfonctionnements importants et récurrents dans l'articulation, la mise en lien, de ces situations d'action sur les objets concrets et le processus de construction des concepts géométriques visés par l'apprentissage car, soit les élèves témoignent des difficultés à accéder aux concepts visés à partir des actions sur les objets, soit l'action sur les objets s'avère impossible car elle nécessite de la part des élèves la mise en fonctionnement de concepts supposés accessibles par l'enseignant car préalablement définis mais dont le sens s'avère non partagé et donc la connaissance non opératoire en situation d'action.

En m'appuyant sur une présentation de travaux engagés par un groupe de l'IUFM Nord-Pas-de Calais[19], je souhaite d'abord interroger les conditions permettant d'articuler confrontation aux objets et processus de conceptualisation en géométrie à la fin de l'école primaire. Je porterai ensuite une attention particulière au rôle et à la portée d'un travail dans et sur le langage dans le mouvement dialectique entre objets et concepts en situation d'apprentissage en géométrie à la fin de l'école primaire, à partir de la présentation d'une activité de géométrie plane conçue par le groupe cité et mise en œuvre dans une classe de CM1 à Lille puis de la présentation d'une analyse d'interactions langagières observées lors de la mise en œuvre d'un travail sur les solides dans une classe de CM1-CM2 du département de l'Ain.

[19] Ce groupe réunit Marie-Jeanne Perrin-Glorian, Raymond Duval, Marc Godin, Jean-Robert Delplace, Bachir Keskessa, Odile Verbaere

I. La confrontation aux objets en géométrie à la fin de l'école primaire : étude de conditions nécessaires au processus de conceptualisation en géométrie

Les changements de regard sur les figures, un pré-requis à une épreuve des objets effective en géométrie à l'école primaire

Le premier exemple présenté dans le but d'apporter des pistes de réflexion sur la place de la confrontation aux objets dans le processus de conceptualisation s'ancre dans une recherche menée par un groupe de l'IUFM Nord – Pas de Calais, groupe auquel je suis associée depuis septembre 2007, autour de l'enseignement de la géométrie plane à l'école primaire. Le point de départ de cette recherche réside dans le constat que l'organisation des objectifs d'enseignement en géométrie plane, dès l'école primaire, conduit les élèves à construire, à partir d'un travail sur des formes en deux dimensions, des concepts liés à des propriétés, des relations entre des objets relevant d'objets théoriques à une dimension (le segment, la droite), voire de dimension zéro (le point). De la maternelle au collège, les élèves sont amenés à passer d'une vision de figures comme assemblages de surfaces à une vision en termes de lignes et de points permettant de faire correspondre propriétés de l'espace graphique et propriétés géométriques. Or Duval et Godin (2005) soulignent qu'un tel ordre d'introduction des connaissances se heurte à la manière dont les figures sont perçues et interprétées en dehors des mathématiques. Ce qui, d'emblée, est reconnu comme une forme 2D ne se décompose pas perceptivement en un réseau de formes 1D : « l'introduction des connaissances géométriques va à l'encontre des processus spontanés d'identification visuelle des formes » (Duval, Godin, op.cité p.7). Or le témoignage de professeurs avec lesquels nous travaillons dans les écoles et de nombreux travaux de recherches (Celi (2002), Berthelot et Salin (2000)), soulignent les difficultés des élèves concernant l'appréhension de la figure dans la résolution de problèmes de géométrie au collège notamment, y compris dans le passage à la démonstration (Keskessa, Perrin-Glorian et Delplace (2007, p.35). L'entrée dans un processus de conceptualisation en géométrie à l'école implique la prise en compte par l'enseignant d'un travail autour de la déconstruction dimensionnelle des figures et de la capacité des élèves à exercer un changement de regard sur ces objets. Les questions en jeu relèvent donc des conditions permettant aux élèves, via la construction d'un rapport adéquat aux objets concrets, d'entrer dans un mécanisme de va-et-vient entre objets et cadre théorique. Pour nous, cette épreuve des objets ne peut être effective que si l'on permet aux élèves un développement de leurs capacités d'analyse visuelle des figures : « sans une telle transformation de la manière spontanée et prédominante de voir, toutes les formulations de propriétés géométriques risquent d'être des formulations qui tournent à vide » (Duval, Godin (2005, p.8). Deux questions restent à étudier au regard de la question qui nous intéresse dans ce symposium : comment permettre aux élèves et aux enseignants de travailler la question du rapport aux figures, condition nécessaire à l'établissement d'un lien entre objets et concepts ? Dans quelle mesure, sous quelles conditions, l'épreuve des objets et les allers-retours entre objets et concepts sont-ils éléments constitutifs du processus de conceptualisation ?

Comment amener les élèves à un changement de regard sur les objets pour un va-et-vient possible entre figures et concepts géométriques ?

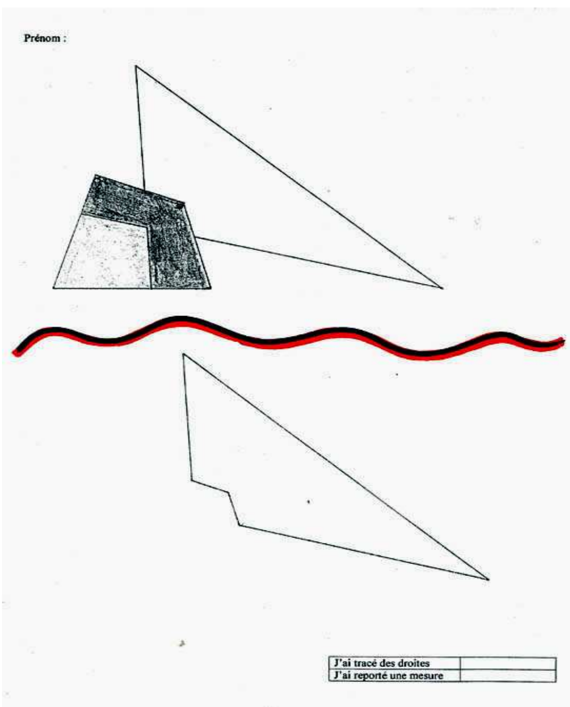
La problématique d'acquisition par les élèves d'un rapport aux figures spécifique à la géométrie, c'est-à-dire, d'une mobilité du regard entre surfaces, lignes et points dans la vision d'une figure, nous a conduit à un travail autour de la conception et de la mise en œuvre, en classe de cycle 3, de situations de résolution de problèmes dans lesquelles c'est précisément cette mobilité qui permet la résolution du problème. Nous « faisons l'hypothèse qu'il est possible d'amorcer, à partir de situations bien choisies, un travail sur les figures planes qui permette le développement chez l'élève d'habiletés en analyse de figures géométriques favorisant la mobilité du regard que nous cherchons » (Keskessa, Perrin-Glorian et Delplace (2007, p.37). Dans leurs articles, Duval et Godin (2005) et Keskessa, Perrin-Glorian et Delplace (2007) présentent des exemples de telles situations. Nous nous intéresserons ici plus particulièrement aux situations mises en place dans une classe de cycle 3 amenant les élèves à mettre en évidence, sur des figures complexes, des propriétés d'alignement et d'intersection et, à travers elles, à travailler les notions de segment, de droite et de point. Le principe de ces situations, appelées « situations de restauration de figures », consiste à demander aux élèves de reproduire une figure modèle donnée à partir d'une amorce (ou partie) de cette figure. Il n'est donné aux élèves aucune indication de mesure de longueur. Ceux-ci ont à leur disposition tous les instruments disponibles. Toutefois, il est introduit un système de coût à l'utilisation des instruments, ce qui permet la réussite par des procédures diverses convoquant plus ou moins de connaissances géométriques, mais incite à utiliser certains instruments plutôt que d'autres et donc à faire émerger certaines propriétés de la figure et à développer les connaissances géométriques visées. Pour les situations qui nous intéressent ici, les restaurations des figures demande l'identification de lignes qui permettent la construction des points nécessaires à la reproduction, ce que nous avons appelé trame de la figure. Outre les propriétés géométriques de la figure à reproduire, les variables didactiques sont les propriétés de l'amorce fournie (y compris si la taille est respectée ou non), les instruments disponibles et les règles de définition du coût de l'usage des instruments.

Un exemple de situation

La situation que je souhaite vous présenter ici succinctement est une situation de restauration proposée aux douze élèves de CM1 d'une classe de CE2 – CM1 de l'école Ampère de Lille.

Les objectifs de l'activité consistent pour l'enseignant à mener les élèves à mettre en évidence les propriétés d'alignement de segments et de points sur une figure donnée et à utiliser ces propriétés pour construire des droites et localiser des points. Pour les élèves, l'objectif est de compléter une amorce afin de restaurer une figure modèle, en mettant en œuvre la méthode la moins coûteuse possible.

La fiche distribuée aux élèves est partagée en deux parties : en haut, la figure modèle, en bas, l'amorce de la figure à compléter afin de reproduire exactement la figure modèle :



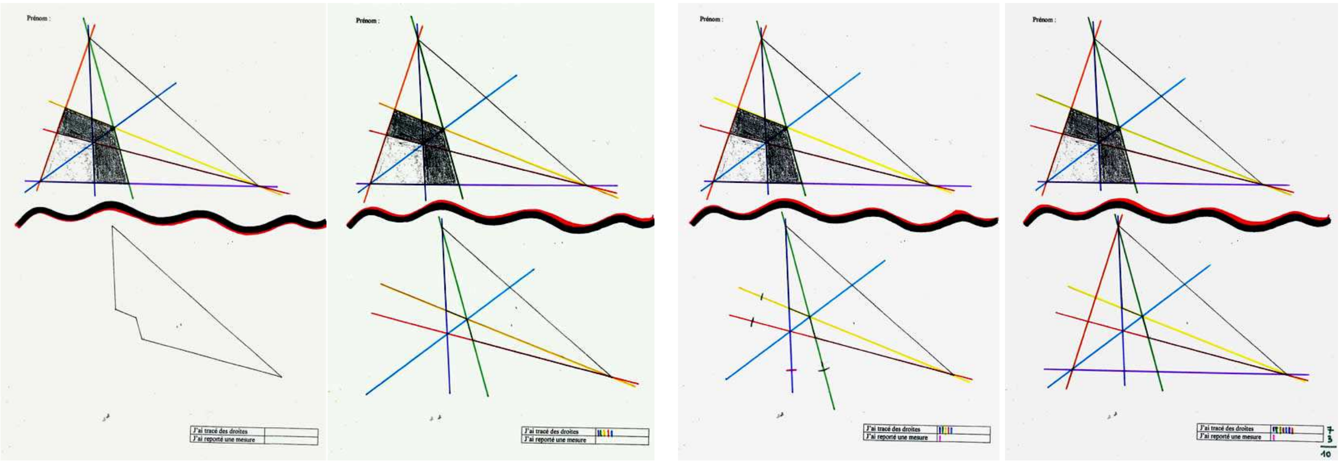
Les élèves ont à leur disposition une réglette non graduée dite « informable » (sur laquelle il est possible d'écrire) violette permettant à la fois l'analyse de la figure modèle et les reports de longueurs de la figure modèle à la figure en construction et une réglette non graduée non « informable » (plastifiée) blanche permettant de tracer des droites sur F2.

Les règles de coût de la restauration sont les suivants :

- 0 point pour le tracé d'une droite sur la figure modèle : l'analyse de la figure, via l'utilisation de la réglette violette, est « gratuite »;
- 1 point pour le tracé d'une droite, avec la réglette blanche, pour compléter l'amorce;
- 3 points pour un report de longueur, au moyen de la réglette violette, de la figure modèle à la figure à construire.

Les élèves assignent une couleur à chaque droite tracée lors de l'analyse de la figure modèle et inscrivent un trait de la même couleur dans le cadre prévu lorsqu'ils tracent la droite correspondante dans la seconde partie de la fiche. Ils notent ainsi chaque action effectuée sous forme d'une « écriture additive », ce qui les aide ensuite à compter le coût de leur restauration.

Au vu du choix des propriétés de la figure et des règles de coût choisies, la procédure attendue des élèves est la suivante :



1. Analyse de la figure modèle au regard de l'amorce. L'élève trace sept droites « remarquables » matérialisant des propriétés d'alignement de points et lui permettant de compléter l'amorce.

2. L'élève commence par tracer les cinq droites qu'il peut construire à partir des segments et points figurant dans l'amorce.
Apparaît ainsi un des points à construire.
Pour chaque droite tracée, il inscrit un trait de la couleur correspondante dans la case « j'ai tracé une droite ».

3. L'élève doit recourir à un report de longueur du modèle à la figure à compléter.
(Plusieurs stratégies possibles)
Il inscrit un trait dans la case « j'ai reporté une longueur ».

4. L'élève peut tracer les deux droites manquantes et faire apparaître les cinq autres points.
La figure est restaurée.
L'élève valide alors sa production par superposition avec un papier calque puis compte le coût de sa restauration.

La figure choisie présente de façon sous-jacente un réseau riche de propriétés d'alignement de segments et de points. Nous le voyons plus précisément à travers la présentation de cette situation, le choix de l'amorce détermine la nature du différentiel entre amorce et figure modèle et définit donc la nature de l'invisible que les élèves vont avoir à mettre en évidence lors de l'analyse de la figure modèle afin de parvenir à construire une figure identique à partir de l'amorce. L'analyse de la situation et l'observation de la mise en œuvre de la séance en classe nous montrent que les élèves appréhendent d'abord la figure modèle et l'amorce comme surfaces ou assemblage de surfaces, conformément à ce que serait la vision spontanée de l'objet hors du contexte de la géométrie. Toutefois, le choix de la figure modèle et de l'amorce d'abord et les règles de coût ensuite amènent les élèves à modifier leur regard sur ces objets et à considérer les propriétés visuelles traduisant les positions relatives des bords de ces surfaces puis les propriétés relevant des positions relatives des points d'intersection de ces bords. C'est le jeu sur les instruments, via l'analyse des figures en termes d'unités de dimension un ou zéro que l'utilisation de ces instruments induisent, qui provoque le changement de rapport des élèves aux objets et pourrait leur permettre l'articulation entre l'analyse perceptive et l'analyse géométrique des figures.

Ce travail montre ainsi qu'entrer dans la géométrie, c'est-à-dire apprendre à voir et analyser une figure en géométrie, constitue à l'école un enjeu d'apprentissage majeur dont nous soutenons qu'il ne peut se faire que par le biais d'une épreuve des objets. Plus encore, le jeu sur les instruments s'avère être une clé permettant à l'enseignant d'inverser la prédominance chez les élèves d'une analyse perceptive sur une analyse « géométrique » des figures. Le travail de recherche et l'analyse de cette situation en particulier nous ouvrent donc des pistes quant à des modalités qui permettraient à ces confrontations aux objets d'être un élément constitutif du processus de conceptualisation : entrer dans la géométrie nécessite un changement de regard sur les objets, l'enseignant peut accompagner les élèves à exercer ces modifications de la manière de voir les objets par un travail sur les instruments dans des situations de restauration de figures. Toutefois, si l'on revient à la situation présentée, la question des conditions permettant l'articulation entre travail sur les objets et conceptualisation est loin d'être résolue. En effet, si la situation permet effectivement d'accompagner les élèves dans une déconstruction dimensionnelle des figures et les amène à passer d'une analyse perceptive des figures en termes de surfaces à la mise en évidence puis l'utilisation de propriétés quant aux positions relatives d'unités de dimension un (les bords des surfaces puis les lignes matérialisant les propriétés d'alignement de ces bords) ou zéro (les points d'intersection de ces bords ou lignes), on peut cependant se demander si les élèves parviennent à inclure dans le cadre théorique de la géométrie les propriétés visuelles qu'ils dégagent. En particulier on peut se demander s'ils reconnaissent les propriétés géométriques qu'ils font émerger (deux points sont nécessaires à déterminer une droite, deux droites sécantes admettent un seul et unique point d'intersection, tous les points d'un cercle sont à égale distance du centre de ce cercle…) lorsqu'ils travaillent sur les objets théoriques. Plusieurs indices nous laissent à penser que non. Je mentionnerai un exemple d'échange relevé lors de la mise en commun organisée par l'enseignante à la fin de l'activité. Les élèves ont explicité et confronté les procédures leur ayant permis d'effectuer avec succès les deux premières étapes de la résolution de la tâche. Ils doivent maintenant expliquer les stratégies qu'ils ont élaborées pour placer les deux autres droites, c'est-à-dire expliquer comment ils ont procédé pour effectuer un report de mesure de la figure modèle à la figure en construction. Un élève vient alors au tableau et explique qu'à l'aide de la règle informable, il est parvenu à placer le sommet manquant du triangle « englobant » la figure complexe à restaurer en faisant pivoter autour d'un des sommets de ce triangle la règle informable sur laquelle il avait relevé la longueur d'un des côtés du triangle. Le sommet est ainsi obtenu comme point d'intersection de l'arc de cercle formé et d'une des droites déjà tracées. L'enseignante valide cette procédure et reprend la formulation de l'élève : « on peut faire bouger la règle jusqu'à ce qu'il touche la droite rose », sans que jamais ne soient mentionnées les notions de cercle ou de point d'intersection du cercle et de la droite. Or la technique élaborée par l'élève aurait pu donner lieu à l'explicitation des propriétés géométriques qu'elle mettait en œuvre : un cercle est l'ensemble des points situés à égale distance de son centre, la droite et le cercle admettent ici deux points d'intersection.

Comment alors accompagner les élèves à mettre en relation ces connaissances émergeant dans l'action avec le cadre théorique de la géométrie, puisque tel est bien l'enjeu de l'apprentissage ? Qu'est-ce qui, dans les modalités de la confrontation aux objets que l'on organise, engendre ces difficultés ? [20] Si nous replaçons ces questions dans la problématique générale du symposium, les questions posées relèvent des conditions qui permettent aux élèves d'articuler, en situation d'action sur les objets, épreuve des objets et construction de concepts géométriques. Nous le voyons, les difficultés rencontrées tiennent de la difficulté, dans la situation, d'aménager des allers-retours entre objets et concepts. Le travail montre que le processus de construction de concepts nécessite de mener avec les élèves un questionnement sur le rapport aux objets en géométrie. Il montre également que, pour que les élèves puissent construire des connaissances géométriques à partir du travail sur les objets, il est incontournable d'organiser un lieu dans lequel ceux-ci soient amenés à convoquer les concepts géométriques en jeu : subsumer le trait dans le concept du segment, la ligne qu'il trace dans le concept de droite…

Une première piste de réflexion concernant ces questions interroge les conditions qui permettraient de faire des instruments un lieu de traduction non seulement de propriétés visuelles en propriétés géométriques mais aussi de propriétés géométriques en propriétés visuelles (propriétés dégagées de l'analyse de l'objet)[21]. Une seconde piste consiste à analyser le rôle du langage, via un travail sur la formulation par les élèves des actions engagées, dans cette interaction entre confrontation aux objets et processus de conceptualisation.

Le jeu sur les instruments, une piste didactique pour un va-et-vient entre objets et concepts

Il nous paraît tout d'abord important de distinguer deux dimensions dans l'utilisation des instruments de tracé usuels en géométrie, en particulier à la fin de l'école primaire. D'une part, les instruments peuvent servir à repérer ou construire des unités visuelles (ou objets) de dimension un. L'instrument est alors considéré comme outil permettant de repérer ou de déposer des éléments graphiques. D'autre part, l'utilisation d'un instrument peut relever de la mise en œuvre des propriétés géométriques. L'instrument devient alors instrument de géométrie servant à représenter, dans un certain registre de représentation, un objet théorique en fonction des propriétés géométriques que les élèves lui reconnaissent et dont ils ont besoin pour la résolution du problème. Le travail engagé autour de l'acquisition par les élèves des techniques d'utilisation des instruments de tracés usuels en géométrie (règle, équerre, compas…) s'attache à montrer, à travers l'analyse de situations en classe, que l'usage des instruments ne va pas de soi et qu'une présentation ostensive ne saurait suffire pour que les élèves puissent acquérir des schèmes d'utilisation des instruments qui lui permettent de conjuguer maîtrise technique et utilisation à bon escient des propriétés géométriques » (Offre, Perrin-Glorian et Verbaere (2006, p.7). La conception est l'analyse de progressions visant à la construction par les élèves des modes d'utilisation des instruments usuels en fin d'école primaire est en cours. Cette piste nous paraît constituer une ouverture intéressante pour l'analyse des conditions permettant d'articuler confrontation aux objets et processus de conceptualisation en géométrie.

[20] Le groupe de recherche poursuit les travaux dans ce sens, en interrogeant notamment la place et le rôle de l'enseignant dans la situation.

[21] Cette réflexion est en particulier animée par Marc Godin (voir Perrin-Glorian et Godin (2008), à paraître)

Le rôle central du travail sur le langage dans les conditions des allers-retours entre objets et concepts

Par ailleurs, il nous paraît tout à fait essentiel de rapprocher l'étude des conditions de va-et-vient entre objets et concepts nécessaires au processus de conceptualisation de l'idée selon l'apprentissage de la géométrie est une « acculturation » (Sarrazy, 2005), c'est-à-dire la construction d'une capacité à voir les objets de façon idoine au cadre spécifique de la géométrie (appréhension des objets qui mobilisent les connaissances géométriques). On ne saurait alors négliger le rôle du langage dans les possibilités d'allers-retours entre objets et concepts dans les situations d'actions sur les objets étudiés, allers-retours qui supposent la capacité à intégrer les données observationnelles dégagées de l'analyse perceptive des figures au cadre théorique que constitue la géométrie. Mes travaux de thèse notamment (Mathé, 2006) me conduisent en effet à soutenir que le changement de regard sur les objets est fondamentalement concomitant à un changement de langage sur ces objets et qu'un travail dans et sur le langage en situation de confrontation aux objets constitue un lieu pertinent à une articulation entre objets et concepts.

Dans le cas de la situation présentée précédemment, par le choix de la tâche, de la figure modèle, de l'amorce, des règles de malus, les élèves sont amenés à entrer dans une démarche de déconstruction dimensionnelle des figures et à relever des propriétés géométriques relevant de l'alignement de segments ou de points d'intersection de droites portant ces segments. Une première observation attentive du langage mis en œuvre par les élèves dans la situation montre alors que, lorsqu'ils formulent leurs actions, les élèves modifient de façon simultanée la façon dont ils désignent les objets, passant d'expressions telles que « la forme » à l'évocation des « bords » puis de « traits » pour enfin parler de « droites », de « points ». L'action amène les élèves à sélectionner parmi les propriétés visuelles qu'ils identifient sur les objets, les propriétés qu'ils reconnaissent à l'objet et dont ils ont besoin pour résoudre le problème. Soumis à des contraintes d'explicitation, ils ont alors besoin et construisent un langage qui met en lien l'objet et les propriétés qu'ils prennent en compte pour l'action : lorsqu'ils prolongent un segment afin de mettre en évidence que deux segments sont portés par la même droite par exemple, les élèves ont besoin d'un terme leur permettant de distinguer segment (ou « trait ») auquel ils reconnaissent deux extrémités et la droite. Le choix du terme est alors pris en charge par l'enseignant qui assure la conformité du langage qui se construit avec les usages scolaires et institutionnels. Les élèves ajustent la manière dont ils voient les choses, dont ils utilisent les instruments et la façon dont ils parlent des choses pour se donner des moyens d'agir de façon opératoire dans la situation. C'est alors en reconnaissant des propriétés communes à différents objets qu'ils manipulent, les différents segments délimitant la figure ou les droites portant ces segments par exemple, que les élèves subsument ces objets dans les concepts géométriques de segments ou de droites. Les élèves donnent sens aux concepts et construisent des connaissances à leurs sujets en les remplissant d'objets vérifiant des propriétés communes. Se construit progressivement, sous les contraintes de l'action, une manière de voir et un langage spécifiques à la géométrie. Je soutiens donc que le travail dans et sur le langage constitue une clé permettant de faire fonctionner en situation d'action les va-et-vient entre objets et concepts au cœur du processus de conceptualisation en géométrie à l'école primaire. Cette position m'amène ainsi à remettre en cause par exemple l'utilisation systématique des couleurs, conçue dans l'optique d'aider les élèves à repérer les objets qu'ils manipulent. Si la couleur constitue, il est vrai, un véhicule performant à l'élaboration d'un historique de la restauration, elle permet également aux élèves et à l'enseignant de contourner la nécessité de trouver un langage pour désigner les objets de façon opératoire (droite, segment, droite passant par le point A et le point B, point E, intersection des droites d1 et d2...). Or nous venons de voir que la construction de ce langage jouait un rôle essentiel dans l'ajustement de la manière dont les élèves voient et manipulent les objets et dans leur capacité à inclure ces objets dans le cadre théorique de la géométrie. Il me semble également tout à fait essentiel d'accorder une attention particulière aux contraintes d'explicitation des objets que les élèves manipulent et de formulation des actions qu'ils mettent en place. Mais nous ne faisons qu'aborder ces questions dans le groupe de recherche et le travail autour du rôle du langage vers une étude des modalités qui, en situation, permet la mise en œuvre par les élèves d'un tel travail continue. Je n'irai donc pas plus loin dans l'analyse du rôle du langage et des interactions langagières dans le type de situations évoqué ici. Toutefois, dans l'objectif d'étayer ces propos et d'insister sur le rôle central du langage dans la mise en œuvre d'allers-retours entre objets et concepts que nous avons montrés nécessaires au processus de conceptualisation en géométrie, je souhaite terminer ce texte en présentant, à travers un second exemple de situation, une analyse des enjeux des interactions langagières en classe de géométrie, une nouvelle fois en cycle 3 de l'école primaire, analyse développée dans ma thèse (Mathé, 2006).

II. Confrontation aux objets concrets et interactions langagières, un lieu permettant un questionnement sur le sens des concepts

La situation que j'évoque ici constitue également une situation de confrontation à des objets concrets : il s'agit d'une activité de classement de solides présentés aux élèves sous forme d'emballages ménagers pour laquelle les élèves vont devoir convoquer et mettre en œuvre les concepts de face (de solides), polygone, côté (de polygones) et d'arêtes. Pour l'enseignant, l'objectif de cette activité était d'amener les élèves à convoquer leurs connaissances sur les objets théoriques que constituent les solides et les polygones en situation d'action sur les objets concrets que sont les emballages et autres objets (boites de lessive ou d'emballage de différentes proportions, boite de camembert, boite de « Toblerone », balles de tennis…). Les concepts de *face de solide*, *polygone*, *côté* étaient alors supposés disponibles aux élèves par l'enseignant dans la mesure où ces concepts avaient déjà été définis en classe (les élèves disposaient par exemple dans leur cahier de leçon d'une définition de polygone comme « forme à plusieurs côtés ») et où les élèves avaient rencontré et utilisé ces concepts dans d'autres situations au cours de l'année et des années précédentes. Conformément aux attentes de l'enseignant, les élèves, par le biais d'une discussion collective, s'étaient d'abord mis d'accord pour retenir comme critères de classement « la forme » des objets puis la « forme de leurs faces ». Ils avaient ensuite dégagé deux classes d'objets « les formes polygonales » et les « formes rondes ». Mais rapidement le travail sur les objets et les interactions langagières accompagnant la mise en commun des analyses de ces objets ont révélé de profondes divergences quant aux significations que les élèves assignaient aux termes en jeu, la convocation des concepts théoriques faisant alors obstacle aux possibilités d'une action commune sur les objets. Après avoir illustré les difficultés rencontrées à travers quelques exemples d'interactions langagières observées, je montrerai dans quelle mesure le travail dans et sur le langage mis en œuvre par l'enseignant au regard de ces difficultés non anticipées a permis de générer, à partir d'un travail sur les objets, un questionnement riche et pertinent sur les objets théoriques en jeu. Mon but consiste ici à montrer dans quelle mesure l'épreuve des objets, appuyée par un travail dans et sur le langage sur ces objets dans le contexte de l'action proposée par la situation, donne lieu à un questionnement sur les concepts géométriques enjeux de l'apprentissage.

Afin d'analyser les interactions langagières observées en situation et de comprendre ce qui s'y joue, j'ai choisi de me centrer sur l'analyse du dispositif en termes de jeux de langage (au sens de Wittgenstein) et de conjuguer cadre théorique de la Théorie des Situations Didactiques et outils conceptuels issus de la sémantique logique, en utilisant essentiellement les travaux de Frege, Wittgenstein et Quine. Cette étude s'insère dans une recherche plus large soutenue par un groupe pluridisciplinaire associant essentiellement des membres du LIRDHIST[22] autour d'un thème intitulé « Jeux et enjeux de langage dans la construction des savoirs à l'école ». Cette recherche a donné lieu à diverses communications et publications dont les références figurent dans l'ouvrage collectif Durand-Guerrier, Héraud et Tisseron (2006). Outre les ouvrages de référence (Wittgenstein (1945), Quine (1975)), vous trouverez une présentation des outils théoriques issus de la sémantique logique utilisés dans mon travail et de l'utilisation que j'en fais dans l'analyse didactique de situations dans l'article Héraud (2006) figurant dans cet ouvrage collectif et dans ma thèse (Mathé (2006), p.17). *Pour permettre la compréhension des éléments d'analyse présentés ici, je précise simplement que j'appellerai « paradoxe sémantique » le jeu de langage exprimant sous forme problématique la coexistence de valeurs référentielles divergentes attribuables à un même terme (ou expression).*

Mon but ici est de montrer, à travers la présentation d'éléments d'analyse du début de l'activité observée, dans quelle mesure les jeux de langage développés dans l'action (ici, action de classement des objets) constitue un lieu permettant de faire émerger un questionnement sur le sens des concepts que les élèves engagent pour la résolution de la tâche.

Confrontés à la nécessité de classer les objets qui leur sont présentés, les élèves, nous l'avons dit, distinguent deux classes d'objets appelées « les formes polygonales » et « les formes rondes », expressions dont la compréhension semble être partagée. Cependant un élève intervient au cours des échanges pour exprimer sa difficulté à saisir les objets désignés par l'expression « forme polygonale ». Invités par l'enseignant à traduire cette expression, les élèves se réfèrent à la définition dont ils disposent : « un polygone est une forme à plusieurs côtés ». Mais ils identifient avec peine les objets remplissant ce concept.

Une analyse des significations assignées par les élèves au terme « forme » dans les jeux de langage de la situation montre que ceux-ci l'utilisent pour désigner indifféremment l'allure générale d'un solide ou d'une figure plane : le concept de « forme » est donc à la fois rempli par des objets en trois dimensions (« formes des emballages ») et des objets en deux dimensions (« cercle », « ovale »). Notons d'ailleurs qu'il ne peut en être autrement puisque, même si ce mot figure dans les Instructions Officielles relatives au cycle 2, le mot « forme » n'appartient pas au vocabulaire de la géométrie et ne jouit pas de règle d'usage clairement définie dans ce contexte. Les élèves utilisent ce mot en suivant les règles de l'usage qu'ils en connaissent dans le langage courant. Parallèlement, le mot « côté », spontanément associé à l'adjectif « plat », désigne dès le début de l'activité pour les élèves une des faces des solides. Cet usage, bien sûr non conforme à l'usage du mot dans le contexte spécifique de la géométrie, est cependant dans un premier temps opératoire en situation car les élèves en partage la référence : les élèves délimitent la classe des « formes rondes » par l'expression « formes ont des côtés qui ne sont pas des côtés plats ».

Comme pour le mot « forme », cet usage du terme « côté » ne semblait d'abord pas générer de difficulté dans la mesure où cette signification était certes non adéquate au contexte de la géométrie mais était opératoire en situation puisque les élèves semblaient en partager la référence. Mais le travail d'explicitation de la définition de « polygone », d'abord conçu par

[22] Laboratoire Interdisciplinaire de Recherches en Didactique et Histoire des Sciences et techniques : http://lirdhist.univ-lyon1.fr

l'enseignant comme une phase de rappel d'une leçon précédente, met en lumière dans les échanges langagiers autour de l'action sur les objets la divergence des significations assignées au mot « côté » puis au mot « polygone ». L'enseignant, qui prend conscience des difficultés qui émergent, invite alors un élève à dessiner au tableau « ce qu'il pense être un polygone ». L'élève commence par tracer un rectangle au tableau. Les discussions s'engagent alors pour déterminer le caractère polygonal du rectangle, mais l'élève intervient et signale à l'enseignant qu'il n'avait pas terminé : il voulait dessiner un pavé (« faire les côtés »). Le dessin par un élève d'un objet qu'il pense appartenir à ce concept montre que les élèves ont développé au cours des jeux de langage des interprétations contradictoires du terme « côté ». Alors que la majorité d'entre eux associent à ce mot une face de solide, quelques élèves s'attachent à distinguer les références de « face » et « côté » et interprètent le mot « côté » comme un segment délimitant une figure plane. Se développent alors des échanges entre élèves dans lesquels chacun expose et appuie son interprétation du mot. Les deux parties s'opposent (nous désignons par P, l'enseignant, E1, E2, E3, E4 les élèves) :

> P.: Est-ce que tu as dessiné un polygone, c'est-à-dire avec la définition que J. a donnée tout à l'heure ?
> E : Ah ben non, parce que là il n'y a pas de côtés.
> P. : Il n'y a pas de côtés là ? (E1 prend une boîte cubique et revient au tableau.)
> E1 : Par exemple, les côtés c'est ça par exemple (il montre les faces du cube).
> P. : Attends. Tu peux expliquer ce que tu entends par côté ?
> E2 : Oui, mais il n'y a pas d'arêtes !
> E1 : Mais si, ça c'est les arêtes (il montre les côtés du rectangle).
> E3 : Mais là c'est des faces, c'est pas des côtés.
> E1 : Mais si, les côtés c'est bien ça (il montre les faces) et dans la figure (au tableau) il y a pas de côté**.**
> E2 : Non, il n'y a qu'une face.
> E4. : Les côtés c'est la largeur.
> E1. : En 3D, c'est des polygones mais là c'est une figure plane.

Nous le voyons ici, c'est la situation d'action et la confrontation aux objets qui amènent les élèves (et l'enseignant) à prendre conscience qu'ils ne parviennent pas à se mettre d'accord sur la référence des termes qu'ils convoquent pour l'analyse des objets. Il me semble que cet exemple montre que les objets de discours des élèves portent d'abord sur les éléments matériels de la situation mais dans leur utilisation par les élèves, ces éléments sont inséparables des connaissances à leur sujet : les objets sont avant tout des systèmes de représentation. Ceci illustre les propos de Tisseron (2005, p.1) selon lequel « l'objet apparaît comme un système constitué des éléments matériels, éventuellement symboliques, qui le rendent identifiable ainsi que de la connaissance de ses règles de manipulation ». Or ces règles de manipulation dépendent du contexte d'utilisation et une même chose peut se décrire suivant plusieurs significations, comme le montrent les interprétations contradictoires des élèves des mots « forme » ou « côté ». Un même objet peut, par conséquent, donner lieu à différents discours significatifs et un même mot, en se référant à différentes ontologies, peut signifier plusieurs choses. Nous observons ainsi la coexistence de discours contradictoires sur les objets de la situation, sans que les intervenants n'en aient d'abord conscience. Nous retenons donc de cette analyse le fait que le langage ne se résume pas à catégoriser pour agir, mais que coexistent une multitude de formes d'exercice du langage. Nous retrouvons ici l'idée selon laquelle l'apprentissage de la géométrie induit pour les élèves une modification de la « manière de voir le monde » (ou *acculturation* au sens de Sarrazy) qui passe par un changement référentiel des termes en jeu dans les jeux de langage de la situation. L'épreuve des objets et les jeux de langage auxquels elle donne lieu permettent la mise en lumière et la confrontation effective des discours contradictoires sur les objets et ouvrent ainsi la possibilité d'un questionnement sur le discours à porter sur les objets (et l'usage des mots) dans le contexte de la géométrie.

Pour revenir à l'analyse des enjeux des interactions langagières dans la situation étudiée, le travail de confrontation et d'évaluation des significations divergentes prend en effet la forme d'échanges argumentatifs permettant aux élèves d'expliciter les significations qu'ils assignent aux termes et de prendre conscience des divergences de discours sur les objets quant au sens qu'ils donnent aux termes de côté et de polygone. Ce travail génère ainsi un questionnement d'ordre linguistique et ontologique (nous rejoignons ici les travaux de Héraud, Clément et Errerra (2004)) : linguistique parce qu'il naît de la contradiction dans l'usage des mots, ontologique parce qu'il porte sur le discours à élaborer sur les choses.

L'enjeu didactique des jeux de langage n'est pas ici de trouver un accord sur l'usage des mots puisque l'usage des mots est réglé, en géométrie, par un usage scientifique et scolaire auquel les élèves doivent se plier, mais de prendre conscience d'une pluralité de significations possibles relatives à un même mot et du caractère contextuel du langage. Ce travail s'avère central dans la possibilité pour les élèves et l'enseignant de dépasser les difficultés liés aux paradoxes sémantiques exprimés. Le langage de la géométrie apparaît alors comme un ensemble linguistique systématisé révélant une façon particulière de voir le monde. La construction de connaissances géométriques nouvelles passe par le changement de la valeur référentielle des termes en jeu. Sans la prise en compte de ce phénomène, les élèves et l'enseignant se trouvent dans l'impossibilité d'échanger de façon opératoire sur les objets et juger de la vérité des propositions apparaissant dans les jeux de langage. Car, en effet, les jeux de langage ne mettent pas seulement en évidence le caractère contextuel de la référence, ils contribuent aussi à l'élaboration de références partagées, dans le contexte pratique de la tâche et dans le contexte théorique de la géométrie. Grâce à des modalités de gestion de débats appropriées et une confrontation aux objets, l'enseignant met le langage en capacité d'interroger la signification des termes en jeu et de construire un autre discours sur les choses, garantissant ainsi les conditions d'allers-retours entre objets et cadres théoriques. Ainsi, les élèves seront amenés à distinguer le sens donné aux termes *côté, face, arête, sommet* dans le contexte de la géométrie de celui qui leur est conféré dans le langage courant. Puis ils produisent un dialogue référentiel visant à définir le champ d'application de ces termes en géométrie et à adopter des significations communes de ces termes lorsqu'ils portent sur des solides à faces toutes planes ou non par exemple.

Soulignons ici que, contrairement à l'idée « d'accord dans le langage » induisant une dimension comportementale aux modalités d'accord, que nous retrouvons chez Wittgenstein ou Quine, les accords d'usage en géométrie (et, nous croyons, dans les mathématiques en général) sont tributaires d'une délimitation réglée de la référence des termes, cette délimitation étant établie et contrôlée à l'école par les Instructions Officielles en vigueur. L'accord ne résulte donc pas ici de la recherche d'un consensus visant à rendre le vocabulaire en jeu opératoire mais les règles d'usage sont fixées indépendamment des jeux de langage de la situation. Nous le disions précédemment, l'enjeu didactique des jeux de langage ne réside pas dans la recherche de cet accord. Le travail dans et sur le langage auquel donne lieu l'épreuve des objets permet : la mise à jour des paradoxes sémantiques sous-jacents aux discours et induisant des malentendus, dont les élèves et l'enseignant ne prennent que rarement conscience à l'école ; la mise en lumière du caractère contextuel du langage et un mouvement dialectique entre questionnement ontologique sur les objets et construction de connaissances sur le sens et les propriétés des concepts en jeu.

Conclusion

Je m'étais engagée, dans l'introduction de ce texte, à interroger les conditions d'articulation entre confrontation aux objets et processus de conceptualisation en géométrie à la fin de l'école primaire et à apporter des pistes de réflexion quant à la pertinence d'un travail sur le langage pour la mise en œuvre d'une dialectique entre objets concrets et objets théoriques.

Pour commencer, il me paraît important d'insister sur le fait que la succincte présentation de deux situations montre que, si le travail sur les objets constitue aujourd'hui l'essentiel des activités proposées en géométrie à l'école primaire (et après), l'articulation entre confrontation aux objets et travail sur les concepts géométriques ne va pas de soi.

Tout d'abord, l'interprétation (la lecture) que les élèves peuvent développer d'un objet est multiple. La géométrie constitue une forme de vie (au sens de Wittgenstein) supposant une manière particulière de voir le monde. L'entrée dans la géométrie à partir d'une expérience de l'objet suppose donc un travail permettant aux élèves d'acquérir une capacité à exercer une mobilité du regard sur ces objets. Nous avons évoqué un exemple de situations permettant de prendre en compte ce problème de changement du rapport aux figures dans l'enseignement de la géométrie à la fin de l'école primaire[23].

Toutefois, la présentation de la mise en œuvre de cette situation en classe nous montre que le travail autour de la construction d'interprétations des objets idoines au cadre théorique de la géométrie constitue une condition nécessaire mais non suffisante à l'articulation entre travail sur les objets et construction de connaissances sur des concepts dans la mesure où le processus de conceptualisation ne peut se faire que dans un mouvement de va-et vient entre objets et concepts en situation d'action sur les objets. La question réside donc dans les modalités qui permettraient d'aménager des allers-retours entre objets et cadre théorique en situation. L'étude de la façon dont les élèves manipulent les objets via les instruments et la conception de situations amenant les élèves à faire progresser leurs usages en situation d'action sur les objets livrent une première piste de réflexion[24].

Par ailleurs, je tiens à souligner l'importance fondamentale à accorder au travail à la fois dans et sur le langage si l'on veut faire de la confrontation aux objets un élément constitutif du processus de conceptualisation : les élèves n'apprennent pas dans le langage mais par le langage. Parce que le langage est intrinsèquement contextuel et élément indiciel de la forme de vie dans laquelle on se place, c'est-à-dire du discours que l'on porte sur les objets et de la théorie (ou vision du monde) dans laquelle ce discours s'insère, le travail sur la façon dont les élèves désignent les objets pour pouvoir rendre compte de façon opératoire et partagée de leurs actions sur les objets et des propriétés qu'ils reconnaissent à ces objets et qu'ils utilisent pour l'action constitue en effet un véhicule fort d'allers-retours entre objets et cadre théorique de la géométrie. Plus encore, si le rôle du langage est pris en compte par l'enseignant dans la mise en œuvre des situations de confrontation aux objets, nous avons montré que le travail sur le langage pour l'élaboration d'un vocabulaire et de références opératoires pour l'action et spécifiques à la

[23] Il me semble que ce travail pourrait être rapproché d'une étude sur les possibilités d'identifier et de construire avec les élèves une manière spécifique de voir le réel en géométrie.
[24] Pour approfondir cette question, je vous invite à consulter les travaux du groupe de recherche de l'IUFM Nord-Pas-de Calais cités.

géométrie permet l'émergence, dans un mouvement dialectique entre objets et cadre théorique, d'un questionnement sur le sens des concepts géométriques convoqués pour l'action sur les objets.

Références

BERTHELOT R. ET SALIN M.-H.(2000), L'enseignement de la géométrie au début du collège. *Petit x* n°56, 5-34.

CELI V. (2002), Comparaison de l'enseignement de la géométrie en France et en Italie pour des élèves de 11 à 16 ans. Effets sur leur formation. Thèse, université Paris7

DURAND-GUERRIER V., HERAUD J.-L., TISSERON C. (2006) Jeux et enjeux de langage dans l'élaboration de savoirs en classe, P.U. Lyon

DUVAL R., GODIN M. (2005), Les changements de regard nécessaires sur les figures. Grand N n°76, 7-27

HERAUD J-L., CLEMENT P., ERRERA J-P. (2004), Paradoxe sémantique et argumentation : analyse d'une séquence d'enseignement sur les grenouilles au cycle 2, *Aster* n° 38, 123-150.

HERAUD J.L. ET ERRERA J.P. (2006), Édith ne parle pas, in Durand-Guerrier V., Héraud J. L. Tisseron C. (coord.), *Jeux et enjeux de langage dans l'élaboration des savoirs*, P. U. L.

KESKESSA, B., PERRIN-GLORIAN M.-J., DELPLACE J.-R. (2007), Géométrie plane et figures au cycle 3. Une démarche pour élaborer des situations visant à favoriser une mobilité du regard sur les figures de géométrie. *Grand N,* n°79, 33-60.

MATHE, A.C. (2006), *Jeux et enjeux de langage dans la construction d'un vocabulaire de géométrie spécifique*. *Analyse de la portée des jeux de langage dans un Atelier de géométrie en cycle 3 et modélisation des gestes de l'enseignant en situation.* Thèse, université Lyon 1

OFFRE, B., PERRIN-GLORIAN, M.J. & VERBAERE O. (2006), Usage des instruments et des propriétés géométriques en fin de CM2, *Grand N* n°77, 7-34, et *Petit x* n°72, 6-39.

Quine W.V.O (1975), Philosophie de la logique, Paris : Aubier - Montaigne

SARRAZY B. (2005). La théorie des situations : une théorie anthropologique des mathématiques? Autour de la théorie des situations, in Clanché P., Salin M.H., Sarrazy B. (dir.) *Sur la théorie des situations didactiques. Questions, réponses, ouvertures... Hommage à Guy Brousseau.* Grenoble, La pensée sauvage (375-390).

TISSERON C. (2005), Autour de la rationalité (en référence à Gilles Gaston Granger), in *Actes électroniques du colloque « Didactiques : quelles référence épistémologiques ? »*, Bordeaux

WITTGENSTEIN L. (1945, trad. 1963 et 2005), *Investigations philosophiques*, Gallimard.

Contribution n° 4

L'INVESTIGATION SCIENTIFIQUE DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES, UNE DIALECTIQUE OBJETS/MODELES

E. SANCHEZ
EducTice - Institut National de Recherche Pédagogique, EducTice,
Université de Lyon, Université Lyon 1, LEPS (EA 4148)
eric.sanchez@inrp.fr

Introduction

Les programmes officiels de sciences de la vie et de la Terre soulignent l'importance de l'étude du réel. Cela se traduit, pour la géologie, par le fait que le travail de terrain est un dispositif rendu obligatoire en première S (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, 2002). Il s'agit de valoriser une « approche concrète » de la discipline.

Notre contribution qui reprend des points largement abordés dans une publication récente (Sanchez, 2008) vise à discuter la question du rapport au réel en sciences de la Terre. Il s'agit de déterminer la place des objets et des modèles dans l'enseignement de cette discipline.

La question que nous abordons est celle de la nature du travail d'investigation dans l'enseignement de la géologie. Quels sont les éléments à prendre en compte pour construire des situations au cours desquelles les élèves puissent s'engager dans des investigations empiriques ?

Cette contribution s'appuie sur des expérimentations conduites dans le cadre de l'enseignement des sciences de la Terre au lycée. Après avoir discuté la question du rapport au réel dans l'enseignement dans cette discipline et évoqué les travaux antérieurs relatifs à la place de la modélisation dans l'enseignement des sciences, nous présenterons quelques résultats d'une recherche qui porte sur la conduite d'une classe de terrain. Ces résultats permettent de considérer ces modèles comme des instruments permettant aux élèves de conduire un travail d'investigation scientifique

I. Enseignement et rapport au réel

L'idée qu'il faut rendre l'enseignement « concret » est une idée ancienne. Ainsi, dans son dictionnaire pédagogique, Buisson (1887) attribue à Rabelais l'idée qu'il est nécessaire de confronter les élèves au réel pour enseigner. Ponocrates, le précepteur de Gargantua, promeut en effet une méthode qui le conduit à effectuer des promenades avec son élève aux cours desquelles « passans par quelques prez ou autres lieux herbus, visitoyent les arbres et plantes, et en emportoyent leurs pleines mains au logis ». Ce principe a été formalisé par Comenius dans sa Didactica Magna : « On doit présenter toute choses autant qu'il peut se faire, aux sens qui leurs correspondent : que l'élève apprenne à connaître les choses visibles par la vue, les sons par l'ouïe, les odeurs par l'odorat, les choses tangibles par le toucher ». Ce principe fondera un mouvement éducatif qui conduisait à rendre l'enseignement concret. C'est l'avènement des sorties botaniques et de la réalisation des herbiers. La France est influencée par les idées cartésiennes qui, sans nier l'importance des sens, privilégient le raisonnement et il faut attendre

Rousseau et la rédaction de *l'Emile* pour que ces idées soient diffusées. Néanmoins, ce n'est que vers 1867 que ces idées seront érigées en principe sous la forme de *leçons de choses*.

Ferdinand Buisson, s'appuyant sur les idées d'un de ses contemporains, le philosophe Bain, propose trois sens principaux qui motivent la confrontation au réel lors de la leçon de choses : l'acquisition d'une idée abstraite, l'éducation des sens et l'acquisition de la connaissance d'objets, de faits, de réalités fournies par la nature. Il cite également un autre des ses contemporains, Georges Pouchet, pour préciser le sens de cette « méthode d'enseignement » :

« Le but qu'on doit se proposer par elles, à notre avis, est moins d'instruire l'enfant, d'augmenter ses connaissances, que de lui apprendre à se servir de ses sens, de son intelligence, de son raisonnement ».

Des travaux plus récents reprennent ces idées (Kent, Gilbertson, & Hunt, 1997) et on retrouve dans les instructions officielles des programmes actuels pour l'enseignement secondaire ces principes fondateurs. C'est ainsi que, Dans l'enseignement des sciences de la Terre, les programmes actuels des collèges et lycées soulignent l'importance du travail sur le terrain. Les termes anciens de *sortie* ou *d'excursion géologique* ont disparus et sont remplacés par ceux « d'école » ou de « classe » de terrain comme pour souligner l'importance de telles activités pour l'apprentissage. Le travail sur le terrain en sciences de la Terre semble ainsi avoir un statut proche de celui du travail de laboratoire dans d'autres disciplines scientifiques. Ainsi, les programmes du cycle central (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, 1997) soulignent que « la géologie [est] une science de terrain » et invitent les enseignants à s'appuyer sur « un exemple local à partir d'observations de terrain ». Une « sortie » permettant d'identifier « les éléments d'un paysage local » est ainsi notée comme « activité envisageable ». Au lycée, en classe de première S (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, 2002), la classe de terrain est « partie intégrante du programme de sciences de la vie et de la Terre ». Une semaine doit y être consacrée (« durée indicative »). En classe de terminale scientifique (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, 2001), « un déplacement hors du lycée (travail sur le terrain, dans un laboratoire, dans un musée…) pourra être éventuellement organisé ».

Les objectifs affichés dans les programmes relèvent de différents registres. Au collège, il s'agit d'organiser des « activités pratiques », de conduire des « observations » et de collecter des échantillons. Les observations réalisées doivent conduire les élèves à « formuler des problèmes géologiques ». Au lycée, des fonctions analogues sont attribuées à la classe de terrain : « observation », « collecte », « questionnement » et d'une manière plus générale « approche concrète » dans le cadre d'une « démarche scientifique ».

Les documents d'accompagnement (CNDP, 2002) du programme de la classe de première S permettent de préciser les intentions des rédacteurs des programmes. Ce texte indique que la classe de terrain permet « d'ancrer la géologie dans la réalité de son objet ». Elle doit être « démarche scientifique » en ce sens qu'elle permet de mettre en œuvre différents aspects de cette démarche : formulation de problèmes, récolte, traitement, observation, analyse et interprétation de données, confrontation de ces données à un modèle

II. Le rapport au réel en sciences de la Terre

Sur quels fondements épistémologiques de la discipline ces instructions sont elles fondées ? Frodeman (1995), puis Raab et Frodeman (2002), relèvent la nature herméneutique des sciences de la Terre. Cette discipline est fondamentalement interprétative. Le géologue recueille sur le terrain des indices qui lui permettent de reconstruire l'histoire. C'est pour Stengers (1993) un

« enquêteur » qui raconte plutôt qu'un « juge » qui tranche sur la base de résultats expérimentaux. Mais le récit est fondé sur une interprétation des traces du passé et ce sont ces traces qui permettent de trancher entre différentes interprétations.

En premier lieu, l'étude et la compréhension d'un affleurement est fondée sur l'analyse des différentes strates qui le constituent alors que chacune d'entre elles n'acquiert une signification géologique que dans le cadre de ce même affleurement. La conception du tout dépend de la compréhension des différentes parties qui ne peuvent être étudiées hors contexte (cercle herméneutique). En second lieu, un même fait d'observation de terrain peut conduire à des interprétations très différentes. Les informations géologiques ne sont pas données et objectives mais résultent d'une démarche façonnée par un déjà là conceptuel, un cadre méthodologique et théorique. Enfin, les pratiques de terrain sont largement dépendantes des objectifs poursuivis ; une faille n'a pas la même signification selon que le géologue souhaite reconstruire l'histoire géologique de la région ou construire un pont.

L'importance du travail sur le terrain est soulignée par les géologues eux-mêmes et les didacticiens (Orange, Beorchia, Ducroq, & Orange, 1999). Ce travail de terrain nourrit les expériences de laboratoire ou de simulation et réciproquement. Ainsi, « la mise en relation des données de terrain avec les modèles possibles fait intervenir tout un ensemble de connaissances de type pratique et fait interférence avec les conceptions qui peuvent jouer le rôle de masque. Savoir lire et comprendre le terrain demande un apprentissage, des aides ».

Agassiz, cité par Gould (Gould, 1988), insiste sur la nécessité, pour les disciplines qui traitent de résultats non reproductibles et excessivement complexes, de recourir à des démarches différentes de l'expérimentation et de la manipulation. Si l'expérimentation peut être utilisée en sciences de la Terre – elle l'est par exemple en pétrographie - le caractère herméneutique et historique de cette discipline peut conduire à envisager la mise en œuvre de méthodes de terrain plutôt que de laboratoire et des explications de type narratif plutôt que portant sur les mécanismes impliqués. Gould relève également le statut dévalorisé des sciences qui font appel à des explications historiques ou narratives et la nécessité d'attribuer des mérites égaux à ce type de démarche avec ceux des démarches employées dans les sciences théorico-expérimentales que sont la physique ou la biologie moléculaire. Ces mérites égaux sont revendiqués du fait que la fiabilité des preuves ou des réfutations peut être tout aussi solide, en raison de l'importance des explications de type historique. Ces mérites sont également revendiqués en raison de l'intérêt intrinsèque de ce type d'explications (Orange & Orange, 1995).

III. Les modèles, instruments de connaissance

De nombreux auteurs s'accordent pour considérer que le travail du chercheur consiste à mettre en relation des idées théoriques et des faits d'observation ou d'expérience dans le cadre de la résolution d'un problème (Bunge, 1975). Pourtant, cette mise en relation n'est pas directe. Elle se fait par l'intermédiaire de modèles conceptuels que les chercheurs élaborent. Les modèles sont donc conçus pour produire des explications. Ils apparaissent comme des intermédiaires entre les aspects empiriques et théoriques des connaissances. Ce sont donc des instruments « pour penser ». La capacité pour un géologue d'interroger le réel repose sur l'utilisation de modèles qu'il fait évoluer en fonction des résultats de ses investigations. Ainsi, les modèles jouent un rôle central dans l'activité du chercheur et il n'y a pas de géologie sans modèles.

Ce constat a des conséquences pour l'enseignement des sciences et de nombreux travaux ont conduit à considérer les activités de modélisation dans la classe comme la mise en relation de deux mondes : un monde des modèles et théories et un monde d'objets et d'événements.

Fondé sur les travaux de Walliser, le schéma de la modélisation en sciences proposé par Martinand (1992, 1994) permet de décrire la tâche de l'élève durant l'apprentissage. Quels types de registres mobilise-t-il ? Quels types de problèmes est-il capable d'envisager ? Ce schéma permet également de distinguer un *registre empirique* constitué d'objets, de phénomènes et d'actions sur ces objets et phénomènes, un registre des modèles qui comprend des composantes *sémantiques* (une sémiographie commode pour représenter les éléments du modèle), *syntaxiques* (les relations qu'entretiennent les éléments du modèle entre-eux liées à son mode de construction) et *pragmatiques* (qui permettent de questionner, se représenter, prévoir, inventer et expliquer le référent empirique).

Les travaux de l'équipe COAST (voir par exemple Becu-Robinault, 2002; Buty, Tiberghien, & Le Maréchal, 2004; Tiberghien, 1994) conduisent à considérer que c'est dans l'établissement de liens entre un mode des objets et un mode des théories et modèles que se fonde l'apprentissage et la construction de sens d'un concept donné. Dans sa thèse, Buty (2000) précise que par *monde des objets* et des événements il entend « ce qui relève de la réalité expérimentale » et par *monde des théories et des modèles* « ce qui relève des outils qui permettent d'agir sur la réalité ». La tentation est donc grande de rapprocher ces concepts de ceux de *registre empirique* et de registre des modèles. En effet pour Lhoste (Lhoste, 2006) p. 83) « le *registre empirique* contient des objets, des phénomènes et des expériences quotidiennes. Il contient les éléments que l'on peut vérifier par une observation, une mesure. Les éléments du *registre empirique* correspondent à « ce qu'il y a à expliquer » et nous pouvons dire qu'ils ne sont pas constitués une fois pour toutes ». Ainsi, le registre empirique est construit plutôt que donné.

Des travaux tendent à formuler des propositions pour rendre aux modèles leur statut d'outil scientifique. Halloun (2004 p. 29) reprend, pour la classe, l'idée qui consiste à considérer les modèles comme des intermédiaires entre deux registres (Halloun utilise le terme de *monde*). Pour cet auteur, la connaissance scientifique résulte de transactions entre un *registre empirique* constitué de réalités physiques et le registre rationnel du scientifique. Cette dialectique se traduit par la construction de modèles provisoires dont la validité est mise à l'épreuve de données empiriques recueillies à cette fin. Ces tests permettent de choisir entre l'acceptation, la modification ou le rejet du modèle élaboré. Selon ce point de vue, une hypothèse de recherche apparaît comme une assertion sur une relation entre un modèle et le registre empirique (Halloun utilise le terme de *champ*) qu'il est sensé expliquer (Giere, 1988 cité par (Halloun, 2004 p. 30).

Après d'autres, cet auteur propose de placer la modélisation au cœur des activités de résolution de problèmes et de faire des modèles dans la classe des « outils pédagogiques » permettant deux types d'activités. Des activités d'exploration qui consistent à utiliser des modèles conceptuels pour décrire, expliquer, prédire le comportement des systèmes physiques et des activités de création (*inventive activities*) qui consistent à imaginer de nouvelles manières de concevoir ces systèmes et prévoir l'existence de nouveaux aspects du réel (Halloun, 2004) p. 155). Il s'agit d'une part d'enseigner les modèles fondamentaux des théories de la physique et d'autre part de placer les élèves dans un contexte rationnel, leur permettant de se construire un *registre empirique*, qui favorise la compréhension des lois de la théorie en jeu ainsi que l'appropriation d'éléments nécessaires à la construction de modèles plus complexes (Halloun, 2004 p. 140).

IV. Questions et hypothèses de recherche

Ces éléments de cadrage théorique nous conduisent à préciser notre question initiale. Parmi les éléments à prendre en compte pour l’élaboration de situations permettant aux élèves de s’engager dans un travail d’investigation, la question des rôles qu’il est possible de faire jouer aux modèles et à la modélisation dans ces situations semble centrale. En particulier, il s’agit d’identifier les tâches qui peuvent conduire les élèves à mettre en tension les modèles scientifiques de référence pour la discipline avec le registre empirique qu’ils se construisent lors des activités de terrain. Ceci nous conduit à décrire une classe de terrain comme la mise en tension d’éléments empiriques recueillis lors du travail sur le terrain avec un modèle de référence dans le cadre de la résolution d’un problème scientifique.

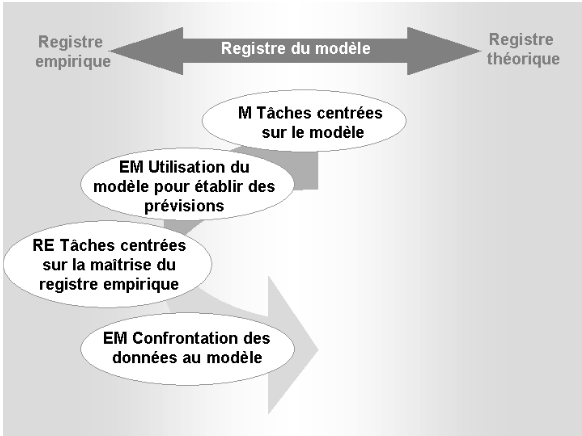


Figure 1 : Démarche d’investigation en sciences de la Terre

L’hypothèse centrale de notre travail est que cette mise en tension s’effectue lorsque les élèves s’engagent dans un certain nombre de tâches décrites par la figure 1. Représenté en situation intermédiaire sur la figure, le registre du modèle constitue un pont permettant de relier un *registre empirique* construit lors d’activités de terrain et un *registre théorique* (de l’élève), également en construction, qui comprend les références théoriques explicatives que l’élève est capable de mobiliser. La figure résume notre point de vue sur les tâches réalisées par les élèves dans la conduite d’une investigation scientifique et la place que tient le modèle scientifique dans cette démarche. Ces tâches sont représentées à gauche sur le schéma car elles portent principalement sur le *registre empirique* ou sa mise en relation avec le modèle. La flèche qui parcourt les tâches décrites introduit une idée de chronologie mais notre hypothèse n’est pas que les différentes tâches que nous identifions ici s’effectuent à des moments clairement distincts lors de la conduite d’une démarche d’investigation. Il nous paraît, par exemple, tout à fait concevable qu’un élève engagé dans un travail empirique soit conduit à identifier ou clarifier les implications du modèle en jeu ou qu’un élève qui sélectionne des données soit amené à réviser la manière dont il conçoit le protocole qu’il réalise. Cette démarche n’est donc pas linéaire.

Nous distinguons ainsi trois catégories de tâches :

- Les tâches centrées sur l'appropriation du modèle[25] qui conduisent à l'identification de ses caractéristiques et propriétés (M) ;
- Les tâches conduisant à la maîtrise du registre empirique (RE) ;
- Les tâches permettant la mise en relation du modèle de référence avec les éléments empiriques comprennent la phase de conception du protocole d'expérimentation ou d'observation qui conduit à formuler des prévisions en termes de résultats expérimentaux ou d'observations de terrain. Elle comprend également la phase de confrontation des données au(x) modèles(s) qui permettent de donner du sens aux données recueillies et, en retour de juger de la pertinence des modèles employés (EM).

Le point de vue que nous retenons nous conduit donc à considérer qu'un travail d'investigation scientifique consiste moins dans l'identification de solutions à des problèmes qui seraient dès lors éliminés que dans la mise en tension d'éléments théoriques et empiriques permettant la formulation de problèmes nouveaux (Orange, 2007). Cette mise en tension est représentée par la flèche horizontale sur la figure 1.

V. Méthodologie de la recherche, cadre des expérimentations conduites

Le travail qui a été mené s'appuie sur des ingénieries didactiques qui nous ont permis de confronter les hypothèses sur lesquelles étaient fondées les séances construites au réalités de la classe. Les expérimentations ont été conduites en 2005 et 2006 dans cinq classes de terminale S et ce sont au total 170 élèves qui ont été impliqués. Les séances ont été conçues en concertation avec les enseignants qui avaient en charge les classes. En faisant participer les enseignants chargés de leur mise en œuvre au processus de conception, nous souhaitions limiter autant que possible les écarts entre les scénarios conçus *a priori* et ceux effectivement développés. De fait, les écarts entre les déroulements prévus et ceux qui ont été mis en œuvre sont minimes. Le tableau 1 décrit les différentes séances pour la dernière expérimentation qui a été conduite.

Une première séance de travaux pratiques était consacrée à la préparation d'une classe de terrain. Les élèves, ont ainsi déterminé les observations à effectuer sur le terrain pour vérifier que le modèle de formation d'une chaîne de collision s'applique à la formation des alpes. Ils disposaient pour cela d'un modèle décrivant la formation d'une chaîne de collision. Ils ont également, au cours de ce travail préparatoire, déterminé l'itinéraire permettant de recueillir les traces de la formation d'une chaîne de collision en utilisant Géonote, un logiciel que nous avons conçu.

La classe de terrain proprement dite s'est déroulée sur deux jours dans le Briançonnais. Les élèves avaient en particulier pour consigne de photographier les traces de la formation d'une chaîne de collision. Ils devaient également relever les coordonnées géographiques des traces photographiées.

Une séance de travaux pratiques a été consacrée à l'exploitation de ce travail. Les élèves ont utilisé Géonote pour commenter les photographies réalisées et les géolocaliser sur la carte. Il leur avait été demandé d'argumenter pour discuter de la pertinence du modèle utilisé.

Les données recueillies au cours de ces expérimentations sont des enregistrements audio et vidéo y compris lors des activités sur le terrain pour un petit nombre de binômes.

---

[25] Nous utilisons le singulier par souci de simplification mais nous considérons néanmoins que les situations construites peuvent porter sur la confrontation de plusieurs modèles pour décrire une même situation empirique.

<table>
<tr><td colspan="2">Séance A : préparation de la classe de terrain (2h00 de travaux pratiques) :
L'objectif de cette séance est de préparer la classe de terrain en déterminant les sites sur lesquels se rendre, les observations à réaliser, les informations à recueillir et les mesures à effectuer. Lors de cette phase, réalisée en classe et à la maison, le travail des élèves est guidé grâce à des consignes accessibles en ligne.</td></tr>
<tr><td>Ce que doivent faire les élèves…
- identifier les phénomènes géologiques impliqués dans la formation d'une chaîne de collision et les traduire en indices observables sur le terrain.
- localiser les sites géologiques à étudier, les indices à rechercher et déterminer les itinéraires à parcourir
- déterminer les mesures à effectuer et les observations à réaliser.</td><td>Ce dont disposent les élèves…
- un schéma représentant un modèle scientifique décrivant la formation d'une chaîne de collision
- Géonote (qui permet de consulter des informations – dont les cartes géologiques – des secteurs géographiques du Chenaillet et du Briançonnais)
- site de calcul d'itinéraire routier</td></tr>
<tr><td colspan="2">Séance B : classe de terrain (excursion de 2 jours) sur 3 sites : Chenaillet, berges du Guil et pli de Saint Clément (05)
L'objectif de cette classe de terrain est la collecte des données géologiques sur le terrain</td></tr>
<tr><td>- échantillonner, rechercher, identifier, localiser, photographier, orienter, cartographier, mesurer, modéliser les indices montrant que les Alpes sont une chaîne de collision</td><td>- GPS, appareil photo numérique, carte topographique, panorama, loupe, photographie aérienne, boussole, pâte à modeler…</td></tr>
<tr><td colspan="2">Séance C : exploitation de la classe de terrain (2h00 de travaux pratiques)
L'objectif de cette séance est la constitution d'un jeu de données géoréférencées sur les indices de la formation d'une chaîne de collision sur l'un des secteurs étudiés et la rédaction d'une histoire géologique argumentée des Alpes.</td></tr>
<tr><td>- sélectionner, mettre en forme, commenter leurs photographies et géoréférencer ces images sur un secteur géographique.
- rédiger une histoire argumentée des Alpes</td><td>- Géonote
- photographies et autres informations recueillies sur le terrain,</td></tr>
</table>

Tableau 1 : Déroulement des expérimentations de septembre/octobre 2006

VI. Modèle → Terrain – le modèle scientifique comme instrument permettant d'établir des prévisions

Nous examinons dans ce paragraphe la manière dont les élèves utilisent le modèle qui leur a été présenté pour prédire leurs observations. L'analyse des transcriptions des échanges des élèves permet d'identifier deux moments au cours desquels le modèle est utilisé pour établir des prévisions. Il s'agit de la phase de préparation de l'excursion au cours de laquelle il leur est demandé de déterminer les traces à rechercher sur le terrain. Il s'agit également de la phase de travail sur le terrain au cours de laquelle les élèves sont en situation de rechercher des traces de la formation d'une chaîne de collision.

Lors de la première séance (séance A), les élèves tentent d'identifier les traces à rechercher pour valider le modèle scientifique dans le cadre alpin. Il s'agit donc de traduire les caractéristiques du modèle en observables de terrain. Cette traduction, pour le contexte géologique étudié, consiste le plus souvent à identifier les minéraux, roches et structures géologiques témoins des différentes phases de la formation d'une chaîne de collision. Il s'agit ainsi de faire des prévisions en termes d'observables de terrain et donc de commencer à concevoir le protocole d'observation qui sera mis en œuvre :

E1 : S'il y a accrétion, il y a des sédiments marins…

Dans la transcription ci dessus, l'élève E1 déduit d'un phénomène identifié comme impliqué dans la formation d'une chaîne de collision, l'accrétion océanique, que des indices de ce phénomène devraient se retrouver sur le terrain sous la forme de « sédiments océaniques ». Son raisonnement l'amène à mettre en relation le registre du modèle (l'accrétion) et le *registre empirique* (les sédiments océaniques).

Le caractère prédictif du modèle lors des activités réalisées par les élèves s'exprime également lorsque ces derniers identifient des indicateurs qui, sur le terrain, leur permettront de se localiser par rapport aux différentes structures géologiques. Ainsi, dans la transcription suivante, l'élève E1 exprime que la présence de volcanisme indique que l'on se trouve sur la plaque chevauchante plutôt que sur la plaque plongeante.

E1- Le fait de dire qu'il y a du volcanisme sur la croûte qui passe par-dessus… **Ca veut dire que si on trouve des volcans on saura que c'est celle qui passe par dessus.**

Cet exemple est proche du précédent. Le modèle permet de mettre en relation des éléments qui appartiennent au *registre empirique* (« si on trouve des volcans »), des éléments qui appartiennent au registre du modèle (la croûte continentale). On voit dans cet échange que les rapports sont inversés par rapport au précédent. Dans le premier exemple, un élément identifié dans le registre du modèle (l'accrétion) permettait de prévoir une caractéristique du *registre empirique* (les sédiments). Ici, c'est la présence d'un élément identifié dans le *registre empirique* (les « volcans »), qui permettra de se localiser sur le modèle (au niveau de la croûte continentale). Autrement dit, le premier exemple montre une projection du registre du modèle sur le *registre empirique*. Dans ce dernier exemple c'est le *registre empirique* qui se projette sur le registre du modèle. Ceci est résumé par la figure 2.

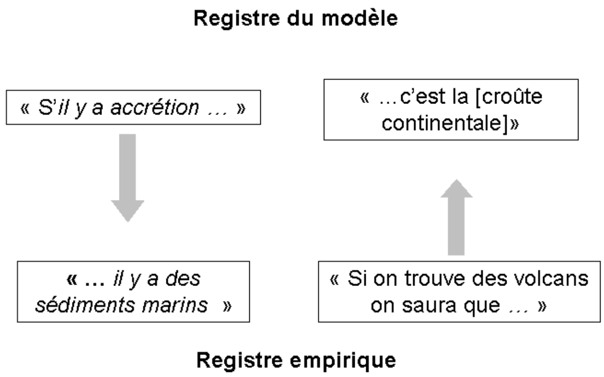


Figure 2: Liens entre registre empirique et registre du modèle dans les échanges des élèves

Sur le terrain, les élèves s'en tiennent pour l'essentiel aux procédures qu'ils ont déterminées lors de la séance consacrée à la préparation de ce travail. Nous avons pu néanmoins retrouver à plusieurs reprises des références au modèle dans les échanges des élèves. Nous indiquons ici les résultats obtenus pour un binôme.

La première fois que les élèves de ce binôme évoquent le modèle se situe à un moment où ils s'interrogent sur la fiabilité de la détermination des roches qu'ils ont effectuée. En premier lieu le modèle leur permet de préciser la consigne qu'ils ont reçue. Il s'agit de repérer les limites entre péridotite, gabbro et basalte. D'autre part le modèle leur permet de faire des prévisions sur la localisation de ces limites.

> [Recherchent la limite des différentes formations]
> E2 : Là ça change non ?
> E1 : Non tu retrouves la même chose.
> E2 : Ouais c'est vrai mais…
> E1 : Parce que ça doit virer vers le gabbro
> E2 : T'es sûre ?
> E1 : Moi je dis gabbro, métagabbro, vers les complexes… et après basalte
> E2 : Ouais mais justement, basalte ça devrait être les plus au-dessus car tu sais, quand la truc elle s'est Crac. Donc on va trouver le basalte là bas et en bas si ça se trouve c'est les métagabbros
> E1 : Ou de l'autre côté…
> E2 : Ouais peut être de l'autre côté ouais. Ben on verra quand on mettra en commun

Les tours de parole des élèves E1 et E2 portent sur les caractéristiques du modèle, sur l'alternance des différentes roches qui composent la croûte océanique (gabbro et basalte), les transformations métamorphiques subies par ces roches (métagabbro) et certaines structures géologiques qui les caractérisent (complexes [filoniens]). Il est difficile d'apprécier, au travers de ce bref échange, le niveau de maîtrise des concepts qui sont évoqués. Néanmoins, le fait que ces concepts soient mobilisés de manière spontanée pour « lire » le terrain, qu'ils le seront pendant tout le temps de travail de cartographie sur le secteur, plaide pour dire que les élèves mobilisent bien le modèle géologique travaillé pendant la séance de préparation de l'excursion. Les tours de parole portent également sur le *registre empirique* et, en particulier, sur les zones sur lesquelles les différentes roches devraient être présentes. On voit que le modèle leur permet formuler des hypothèses sur la localisation des roches et qu'il guide leurs observations.

VII. Terrain → Modèle – le modèle scientifique comme outil permettant d'interpréter les objets géologiques

Nous avions choisi de faire travailler les élèves dans un secteur pour lequel le modèle qui leur a été présenté se révèle inadéquat. Les travaux de Chalot-Prat (2005) ont en effet permis de porter un regard neuf sur le massif considéré comme une ophiolite épargnée par les mouvements tectoniques. La carte géologique que cet auteur a réalisée montre également que le modèle de lithosphère océanique en trois couches (péridotite-gabbro-basalte), habituellement retenu par les enseignants du secondaire, est ici, en partie, remis en cause du fait de la présence de contacts entre péridotite et basalte sur certaines zones. Nous souhaitions conduire les élèves à s'interroger sur l'adéquation entre le modèle qui leur avait été donné et le *registre empirique* exploré. L'échange suivant se situe à un moment où les élèves repèrent un contact entre péridotite et basalte.

> [Recherchent la limite des différentes formations]
> E2 : De la péridotite tu as trouvée toi ?

E3 : De partout là.
E2 : A ouais, là y'a de la péridotite. Et pourtant en bas on avait du basalte
E1 : Ouais parce que y'avais la limite non ?
E3 : On en prend ?
E2 : Y'a plusieurs limites en fait. Ouais, celle là faut la prendre. Ca c'est de la péridotite serpentinisée
E1 : C'est quelle couleur ? La légende ?
E2 : Je sais pas. Faut voir… Là on a de la péridotite… Et pourquoi tout à l'heure en bas on avait du basalte ? Ben parce que c'était un autre endroit, c'est tout !

On voit ici que le modèle est en arrière plan de l'échange. La présence d'un contact entre péridotite et basalte pose problème à l'élève E2. Néanmoins, il ne remet pas en cause le modèle. Il propose une hypothèse *ad hoc* pour éviter l'écueil conceptuel : « Ben parce que c'était un autre endroit, c'est tout ! ». Le ton sur lequel est ceci est formulé laisse à penser que E2 ne croit guère que cette hypothèse permet d'expliquer cette anomalie. On remarque également que le recueil des données n'est pas remis en cause alors même que les verbalisations des élèves au cours de ce travail de cartographie indiquent qu'ils s'interrogent beaucoup sur le caractère autochtone ou allochtone des roches et sur la fiabilité de leur échantillonnage.

Plus loin, le même élève E2 utilise le modèle pour interpréter le paysage et donner des instructions à l'autre élève du binôme chargé de réaliser une photographie.

[Prennent une photo de paysage]
E2 : Et là ça fait un peu les trois étages. T'as péridotite, gabbro et… et basalte.
E1 : …
E2 : Regarde, regarde ! Là t'as péridotite, gabbro, basalte ;
E1 : Comment tu sais ?
E2 : Haha… parce que y'en a un qui est noir, l'autre quoi est vert, et l'autre qui est gris.

Dans cet échange, deux tours de parole de E2 jouent un rôle central. Le premier porte sur le modèle : « ça fait un peu les trois étages ». Le second porte sur le *registre empirique* : « y'en a un qui est noir, l'autre quoi est vert, et l'autre qui est gris ». Ils montrent que E2 fait le lien entre ces deux registres.

Alors que le travail de cartographie est sur le point de se terminer, E2 rencontre l'élève E3 (d'un autre binôme). E3 lui apporte une information qui vient de nouveau bousculer ses certitudes. Il existe bien un contact entre péridotite et basalte.

E2 : Attends, ça veut dire que de ce côté c'est de la péridotite et au milieu c'est du basalte.
E3 : Regarde ça fait des […]
E2 : C'était quoi qu'on avait ? Du gabbro en bas, de la péridotite tout là et là au-dessus du basalte ?
E3 : Du basalte on en avait déjà en bas.

Pour autant, l'échange ne se poursuit pas par une tentative d'approfondissement de cette question ou par une remise en cause du modèle ou des données recueillies.

Ces transcriptions viennent étayer l'idée que, dans un cadre scolaire, les modèles de référence de la discipline peuvent constituer des « lentilles conceptuelles » (Halloun, 2004) qui permettent de lire les objets géologiques.

Conclusion

Instruments de connaissance pour le chercheur, les modèles peuvent également, pour les élèves, constituer des outils qui leur permettent de conduire leurs investigations. Ils leur permettent en particulier d'établir des prévisions sur les objets étudiés et donc d'extraire de la complexité du terrain les éléments signifiants pour le problème qu'ils tentent de résoudre. Ils leur permettent également de donner du sens aux observations effectuées. Les objets géologiques sont interprétés en fonction du modèle de référence qui est utilisé. Ainsi, l'apprentissage des sciences apparaît comme un processus dialectique entre les objets matériels de la discipline qui peuvent être appréhendés lors d'une classe de terrain et les modèles géologiques qui apparaissent alors comme des instruments de connaissance.

Notre travail développe un point de vue qui vient à l'encontre de la conception que la confrontation au réel dans le cadre d'une classe de terrain en sciences de la Terre a des vertus heuristiques en soi, point de vue qui semble néanmoins partagé par de nombreux enseignants (Sanchez, Prieur, & Fontanieu, 2005). Selon nous, ce réel se construit au cours de la réalisation de tâches qui impliquent l'utilisation d'un modèle pour prévoir et lire les objets de la discipline. Le point de vue que nous défendons vient également à l'encontre de l'idée qu'il faut enseigner les modèles de la discipline pour eux-mêmes. Dès 1992 Martinand (1992 p. 8) soulignait le dogmatisme qui, selon lui, prévalait dans l'enseignement des sciences expérimentales. Martinand relie cette dogmatisation à « l'imposition d'un point de vue, d'un mode de description, d'une interprétation » et regrettait la disparition du « caractère hypothétique des constructions élaborées pour prédire et expliquer ». Pour échapper à ce dogmatisme il semble nécessaire de présenter les modèles de la discipline comme des constructions théoriques qui doivent être évaluées en les confrontant au réel, de permettre des va-et-vient entre les objets étudiés et ces modèles.

Références

BECU-ROBINAULT, K. (2002). Modelling activities of students during a traditional labwork. In D. Psillos & H. Niedderer (Eds.), *Teaching and learning in the science laboratory*. Dordrecht, Holland: Kluwer Academic Publishers.

BUISSON, F. (1887). *Dictionnaire de pédagogie* (1911), [Edition électronique]. INRP. consultable sur : http://www.inrp.fr/edition-electronique/lodel/dictionnaire-ferdinand-buisson [2007, mai 2007].

Bulletin Officiel de l'Education Nationale. (1997). hors-série n°1 du 13 février 1997.

Bulletin Officiel de l'Education Nationale. (2001). hors-série n°5 du 30 août 2001.

Bulletin Officiel de l'Education Nationale. (2002). hors-série n°6 du 29 août 2002.

Bunge, M. (1975). *Philosophie de la physique*. Paris: Editions du Seuil.

BUTY, C. (2000). *Etude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique.* Unpublished Thèse de doctorat, Université Lyon 2, Lyon.

BUTY, C., TIBERGHIEN, A., & LE MARECHAL, J.-F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education* (26), 579-604.

CHALOT-PRAT, F. (2005). An undeformed ophiolite in the Alps: field and geochemical evidences for a link between volcanism and shallow plate tectonic processes. In G. R. Foulger & D. L. Anderson & J. H. Natland & D. C. Presnall (Eds.), *Plates, Plumes & Paradigms* (pp. 751-780.). Boulder, USA: Geological Society of America.

CNDP. (2002). *Sciences de la vie et de la Terre, classe de première scientifique*. 2002. consultable sur : http://www.cndp.fr [2004, octobre].

FRODEMAN, R. (1995). Geological reasoning : geology as an interpretative and historical science. *Geological Society of America Bulletin* (107), 960-968.

GOULD, S. J. (1988). *La vie est belle - les surprises de l'évolution*. Paris: Le Seuil.

HALLOUN, I. A. (2004). *Modeling theory in science education*. Dordrecht, Holland: Kluwer Academic Publishers.

KENT, M., GILBERTSON, D., & HUNT, C. (1997). Fieldwork in Geography Teaching: a critical review of the literature and approaches. *Journal of Geography in Higher Education, 21* (3), 313-332.

LHOSTE, Y. (2006). La construction du concept de circulation sanguine dans un débat scientifique en classe de 3ème : problématisation, argumentation et conceptualisation. *Aster* (42), 79-108.

MARTINAND, J.-L. (1992). Présentation. In J.-L. Martinand (Ed.), *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 7-22). Paris: INRP.

MARTINAND, J.-L. (1994). Quels enseignements peut-on tirer des travaux dans la perspective du développement de curriculum ?, *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 127-133). Paris: INRP.

ORANGE, C. (2007). Quel milieu pour l'apprentissage par problématisation en sciences de la vie et de la Terre ? *Education & Didactique, 1* (1), 37-55.

ORANGE, C., BEORCHIA, F., DUCROQ, P., & ORANGE, D. (1999). " Réel de terrain ", " Réel de laboratoire " et construction de problèmes en sciences de la vie et de la Terre. *Aster* (28), 107-129.

ORANGE, C., & ORANGE, D. (1995). Géologie et Biologie : analyse des liens épistémologiques et didactiques. *Aster* (21), 37-43.

RAAB, T., & FRODEMAN, R. (2002). What´s it like to be a geologist? Phenomenology of geology and its practical implications. *Philosophy an Geography, 5* (1), 69-81.

SANCHEZ, E. (2008). Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la Terre. *Education & Didactique, 2* (2), 97-122.

SANCHEZ, E., PRIEUR, M., & FONTANIEU, V. (2005). L'enseignement des sciences de la Terre : Que font les élèves sur le terrain ? In A. Giordan & J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Eds.), *Par les mots et par les choses*. Chamonix: JIES.

STENGERS, I. (1993). *L'invention des sciences modernes*. Paris: La Découverte.

TIBERGHIEN, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and instructions, 4*, 71-87.