

# Des mises en histoire aux savoirs scientifiques : le cas de lycéens confrontés à quelques problèmes de tectonique des plaques

Denise Orange-Ravachol, IUMF des Pays-de-la-Loire ; CREN, EA 266 I, université de Nantes, Nantes ; denise.orange@paysdelaloire.iufm.fr

---

*Plusieurs travaux de didactique des sciences montrent que les élèves recourent spontanément à des mises en histoire simples pour expliquer et que cette façon de faire est à la fois une aide et une entrave à la construction de savoirs scientifiques. Dans cette contribution, nous approfondissons ces aspects pour quelques problèmes des sciences de la Terre. En nous plaçant dans le cadre théorique de la problématisation, nous analysons deux situations de classe en première scientifique (élèves de 16-17 ans) choisies parce qu'elles conduisent les élèves à articuler au moins deux phénomènes géologiques : la première porte sur l'expansion des fonds océaniques et la sédimentation qui les affecte ; la seconde concerne l'explication de la répartition des volcans et des séismes. Comment les élèves s'arrangent-ils d'histoires qui s'entrecroisent ? Quelles articulations du temps et de l'espace font-ils ? À quelles conditions peuvent-ils se dégager d'une mise en histoire simple ? Les résultats de nos recherches mettent en valeur l'importance de la prise en charge conjointe de problèmes géologiques ne se produisant pas aux mêmes échelles de temps et d'espace.*

Quelle est la place des récits et des mises en histoire dans les sciences de la Terre ? Nous savons que ces sciences tentent d'expliquer le fonctionnement actuel de la Terre mais aussi de reconstituer son histoire. Mais il y a histoire et histoire. L'histoire révolue de la Terre est unique, et son approche difficile. Les géologues se heurtent au problème du repérage et de l'interprétation des traces du passé, de même qu'à leur caractère lacunaire. Il y a donc une porte ouverte à certains récits, dans ce qu'ils offrent de possibles non contrôlés, même si le principe de l'actualisme prémunit de fantaisies géogonistes<sup>1</sup>. Il est en effet « le pont qui permet à notre imagination de se transporter du présent jusqu'au passé et d'évoquer, avec une

---

<sup>1</sup> Nous faisons référence aux très spéculatives *Théories de la Terre* du xvii<sup>e</sup> et du xviii<sup>e</sup> siècle.

*certaine confiance dans son exactitude, la vision de faits qu'aucun œil humain n'a contemplés* » (Hooykaas, 1970, p. 11).

À la suite d'autres travaux en didactique des sciences (Viennot, 1993 ; C. Orange & D. Orange, 1995), nous avons pointé la tendance des lycéens confrontés à des problèmes géologiques et biologiques à expliquer par des mises en histoire : avant apprentissage, leurs productions langagières explicatives ont une dimension narrative (D. Orange, 2003, 2004 ; D. Orange & Guerlais, 2005). Nous avons également montré que cette inclination joue un rôle paradoxal dans l'appropriation de savoirs scientifiques : elle permet et elle entrave la problématisation du fonctionnement et de l'histoire des systèmes complexes (comme le sont la Terre ou ses parties).

Les reconstitutions historiques de la géologie étant pour partie des récits, nous voulons approfondir les fonctions d'aide et d'obstacle de la mise en histoire dans les apprentissages en sciences de la Terre au lycée. Nous situons nos recherches dans une tension entre un pôle mise en histoire qui relèverait de la pensée commune, et un pôle problématisation qui positionnerait dans le champ des sciences. Après avoir rappelé le cadre théorique de nos recherches, nous étudierons comment les lycéens (16-17 ans) s'inscrivent dans cette tension dans quelques cas. Dans le cadre paradigmatique de la tectonique des plaques, nous avons retenu un premier cas où il s'agit d'articuler deux processus géologiques, l'expansion et la sédimentation océaniques : nous nous demandons si la difficulté de se sortir de la mise en histoire n'y est pas plus marquée que lorsqu'on s'intéresse à un seul processus. Les repères construits dans cette première étude seront repris et questionnés ensuite dans l'analyse d'une situation de classe où les élèves disposent d'une marge de manœuvre plus importante pour combiner un ensemble de phénomènes géologiques.

## **I. Mise en histoire, activité scientifique et problématisation**

Bruner (1991, 2002) met en valeur l'importance du récit dans la psychologie populaire : « *C'est le médium que nous préférons, pour le meilleur et pour le pire* » (2002, p. 78). Et il ajoute que nos histoires font mieux que raconter : « *elles imposent leur structure, leur réalité contraignante à ce que nous vivons* » (*ibid.*, p. 78). Il n'est donc pas étonnant que, en classe de sciences, les productions langagières avant apprentissage des élèves aient la forme d'une mise en histoire, tant cette forme est prégnante dans la pensée commune.

Les travaux qui comparent sciences et mythes (Popper, 1985 ; Jacob, 1981) complètent cette analyse. Popper écrit que ce que nous appelons science se distingue des mythes qui l'ont précédée non parce qu'elle en est différente dans la forme (il s'agit bien toujours de raconter une histoire) mais parce qu'il s'y ajoute un corrélat, la prise en compte critique de cette histoire par la discussion :

« *Je te conte ce récit, mais dis-moi ce que tu en penses. Médite-le et peut-être pourras-tu m'en donner une version différente* » (Popper, 1985, p. 193). Dans le sillage de Popper, Jacob caractérise les sciences par la recherche d'explications et précise que « *La démarche scientifique confronte sans relâche ce qui pourrait être à ce qui est* » (1981, p. 30). C'est dire qu'élaborer une explication scientifique du réel exige d'envisager des possibles (la fiction s'y emploie aussi), mais aussi des impossibles.

Le point de vue de la construction de problème, dans lequel nous nous situons (Bachelard, 1938 ; Fabre, 1999 ; C. Orange, 2000, 2002), met en avant le fait que les savoirs scientifiques rompent avec la pensée commune et ont une certaine apodicticité. Nous ne nous focalisons donc pas sur les seuls points de départ (les problèmes pris en charge) et d'aboutissement de l'activité scientifique (les explications vues comme des solutions). Nous attachons de l'importance à ce qui se joue entre la position du problème et sa résolution, que nous comprenons comme une problématisation explicite : pour un problème explicatif donné, il s'agit de construire des contraintes (contraintes théoriques et empiriques) et des possibles et, par une mise en tension de ces contraintes, d'établir les nécessités pesant sur le modèle (on dit aussi les conditions de possibilité du modèle). Seuls sont recevables les modèles qui répondent à ces nécessités. Le savoir scientifique est alors représenté par la solution au problème (le modèle explicatif) et les nécessités qui la sous-tendent : c'est un savoir apodictique (savoir que mais aussi savoir pourquoi il est impossible qu'il en soit autrement).

Dans le champ des sciences de la Terre où nous nous situons, la distinction entre explication et récit n'est pas aisée du fait notamment de la composante historique de ces sciences. Compte tenu de ces caractéristiques et des développements précédents, nous choisissons de les considérer en interaction plutôt que de les opposer. Mais nous souhaitons maintenir une vigilance de tous les instants vis-à-vis du sens commun et de l'expérience sensible qui éloignent de la science. Bruner et Bachelard nous alertent à ce sujet : le premier note que « *Le sens commun croit dur comme fer que la forme de l'histoire n'est rien d'autre qu'une fenêtre ouverte sur la réalité, et non un moule qui lui impose sa forme* » (Bruner, 2002, p. 10) et il souligne l'ancrage fort de la fiction sur le familier : « *lorsque nous inventons les mondes possibles de la fiction, nous ne quittons jamais vraiment l'univers qui nous est familier* » (*ibid.*, p. 82) ; le second met en avant le fait que la pensée scientifique se construit en quittant l'empirisme immédiat : « *dans la connaissance vulgaire, les faits sont trop tôt impliqués dans des raisons. Du fait à l'idée, le circuit est trop court* » (Bachelard, 1938/1986, p. 44).

Caractériser la forme des mises en histoire, interroger leurs potentialités en matière de problématisation, mesurer leur distance au familier, en matière de temps notamment, voilà des questions qui peuvent nous guider dans l'étude des productions explicatives des lycéens.

## 2. L'expansion et la sédimentation océaniques par les lycéens

Pour questionner la mise en histoire dans ses rôles d'aide et d'obstacle à la construction de savoirs scientifiques, nous nous proposons d'étudier une situation de classe où des lycéens de première scientifique (16-17 ans) prennent en charge la reconstitution du passé d'un océan et le fonctionnement de la zone d'une dorsale.

### 2.1. Le savoir savant en matière de fonctionnement et d'histoire d'un fond océanique

Pour les experts, une dorsale océanique représente une frontière entre deux plaques lithosphériques divergentes et « *un centre d'accrétion, le long duquel se produit l'expansion continue du plancher océanique* » (Juteau & Maury, 1999, p. 6). Du magma formé par fusion partielle de péridotite à la verticale de son axe (vers 50-60 km de profondeur) remonte et se solidifie, participant ainsi à l'agrandissement continu de la croûte océanique (basaltique vers le haut et gabbroïque vers le bas), quand de la péridotite résiduelle contribue à édifier la partie basale mantellique de la plaque. Cette continuelle accrétion axiale se fait tandis que les plaques adjacentes s'écartent, dans une dérive latérale de part et d'autre de l'axe de la dorsale. Ainsi, le fond océanique se renouvelle à partir de la dorsale, sans que jamais ne s'installe une béance au niveau de son axe.

Dans leur partie supérieure basaltique, les fonds océaniques sont un lieu de dépôt de sédiments océaniques. Comme ces fonds sont en renouvellement et migration continus, leur couverture sédimentaire est d'autant plus épaisse qu'ils sont plus anciens, donc éloignés de l'axe de la dorsale<sup>2</sup>.

Le problème de la reconstitution de l'histoire d'un fond océanique impose donc d'articuler deux grands types de processus, l'accrétion/dérive et la sédimentation, continus dans le temps<sup>3</sup> mais distincts dans l'espace, et tous deux repérables et quantifiables dans leur expression actuelle. La recherche de l'histoire passée (comme celle de l'histoire future) sont envisageables grâce à l'application conjointe de deux lois d'évolution intemporelles. À l'axe d'une dorsale, à tout moment, il y a accrétion/dérive, c'est-à-dire formation de fond océanique et double dérive des pans nouvellement formés. En tout point du fond océanique et à tout moment, il y a de la sédimentation. Le dépôt qui s'effectue à un moment donné se superpose au dépôt du moment précédent.

En résumé, si nous nous plaçons dans le cadre du fonctionnement en routine<sup>4</sup> d'un océan, la reconstitution de l'histoire de son fond relève plus

---

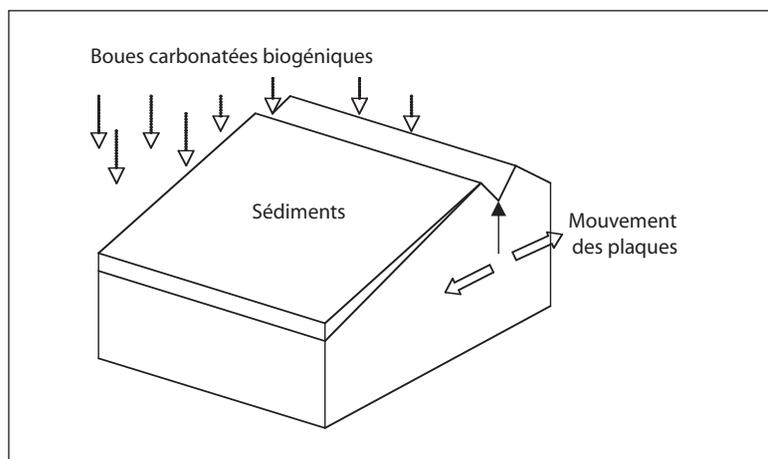
2 Nous ne prendrons pas en considération dans cette étude les phénomènes de dissolution qui peuvent affecter l'épaisseur de la couverture sédimentaire.

3 Gohau (1990, p. 235) souligne que « *la tectonique des plaques vient à l'appui du continuisme* ». Nous en avons ici un exemple.

4 Nous nous limitons au fonctionnement en routine d'un océan. Mais on pourrait l'intégrer dans un fonctionnement crustomantellique plus général, mobilisant cycles (cycles de la croûte océanique ou de la lithosphère océanique), catastrophes (catastrophe au sens de Thom ; changement du régime de convection mantellique) et évolution géochimique du manteau.

d'une explication fonctionnaliste déterministe que d'une explication historique. Les chercheurs raisonnent simultanément sur l'accrétion/dérive et sur la sédimentation et leurs travaux donnent à voir une complexité des objets géologiques et du temps. Les plaques prennent le statut d'objet physiquement et structurellement dynamiques. Elles marquent le temps horizontalement, comme si l'on pouvait dessiner deux flèches temporelles horizontales, divergentes, mais ayant la même origine (l'axe de la dorsale ; âge zéro = actuel). La couverture sédimentaire est un objet ubiquiste mais biseauté en direction de l'axe de la dorsale (figure 1). Elle marque le temps verticalement et horizontalement : nous pouvons imaginer une flèche temporelle verticale, pointant vers le bas, et dont l'origine (âge zéro = actuel) est au fond de l'eau. Mais, selon l'endroit considéré, cette flèche dont l'actuel est toujours au fond de l'eau, ne conduit pas au même âge des plus vieux sédiments : sur le fond basaltique, les sédiments sont d'autant plus anciens qu'ils sont loin de l'axe de la dorsale. De cette façon, la sédimentation marque également le temps horizontalement.

**Figure 1. Biseau de sédimentation dans la zone axiale de la dorsale**  
(d'après Pomerol et al., 2005, p. 251)



Dans le cadre de la théorie de la tectonique des plaques, reconstituer les fonds océaniques à différents moments du passé, c'est construire, tout à la fois, la nécessité d'un fond océanique plus étroit et celle d'un dépôt sédimentaire moins épais et biseauté en allant vers l'axe de la dorsale. C'est donc nécessairement s'affranchir de la linéarité d'une mise en histoire simple faite de séquences s'enchaînant dans un syncrétisme de temps (et puis) et de causalité (à cause de) au profit d'une articulation de séquences synchrones.

On sait la tendance des lycéens à transformer le simultané en séquentiel. Comment vont-ils s'emparer de la reconstitution du passé d'un océan ?

## **2.2. La reconstitution de l'histoire d'un fond océanique par les élèves de lycée**

### **• Présentation de la situation de classe**

Nous avons demandé à des élèves de deux groupes de première scientifique (16-17 ans ; un groupe de 22 élèves et un groupe de 16 élèves) d'établir les grands traits de l'histoire des fonds de l'océan Atlantique. L'activité proposée comprend plusieurs étapes et fournit différents supports (représentation d'un fond océanique basaltique avec la répartition des anomalies magnétiques, coupes géologiques transversales de l'Atlantique, carte de l'Atlantique – nord). Elle comprend deux temps forts successifs : une reconstitution de l'Atlantique à différentes époques (il y a 135 millions d'années [MA] et il y a 65 MA), par découpage de coupes du plancher actuel, où sont mentionnés des âges croissants du basalte à mesure que l'on s'éloigne de la dorsale et une prise en charge de la question de la sédimentation. Il est demandé aux élèves de représenter la couverture sédimentaire des fonds océaniques basaltiques sur les trois coupes transversales d'un fond océanique pris à différentes époques (il y a 135 MA, il y a 65 MA, actuellement). Les figurés des sédiments, qui correspondent aux fourchettes de temps de leur dépôt, sont imposés. Ils sont différents des figurés qui datent le fond basaltique, afin d'éviter des confusions, mais ils correspondent aux mêmes fourchettes de temps. C'est pour nous un moyen de voir comment dans une même durée sont pris en considération les processus d'expansion et de sédimentation océaniques.

Cette situation met les élèves devant une tâche les conduisant à une sorte de récit (une bande dessinée) quand les scientifiques, on l'a dit, sont souvent dans une approche fonctionnaliste. La difficulté ici vient de l'articulation des deux phénomènes (accrétion/dérive et sédimentation). La situation pousse les élèves à mettre en histoire pour les contraindre à entrer dans les problèmes qu'elle pose.

### **• Méthodologie d'analyse des productions des élèves**

Par découpage, les élèves reconstituent sans problème le fond basaltique de l'Atlantique à différentes époques du passé. Cela montre qu'ils se sont appropriés le modèle d'expansion océanique à partir de l'axe de la dorsale. Mais un doute subsiste quant à l'appropriation par tous de l'accrétion. La conception commune du volcanisme aérien est en effet prégnante dans certaines productions : elle se traduit par l'épanchement de coulées de laves sur les flancs de la dorsale.

Après une phase de mise en commun/correction de ce premier travail, les élèves prennent en charge individuellement la question de la sédimentation. Ce sont leurs productions écrites, au nombre de 38, que nous allons maintenant étudier. Leur mise en catégories repose sur l'analyse du savoir savant (voir précédemment) et sur la mise en correspondance des réponses des élèves et de la réponse attendue (une superposition de couches sédimentaires de plus en plus étendues). Plusieurs critères nous guident :

– y a-t-il superposition (S) ou juxtaposition (J) des couches sédimentaires d'âges différents sur le fond basaltique ? ;

– lorsque la superposition (S) existe, a-t-on :

\* superposition de couches d'autant plus étendues qu'elles sont récentes (S ++ ) ? ;

\* superposition de couches de même étendue quel que soit leur âge (S = ) ? ;

\* une représentation en biseau des couches sédimentaires du côté de l'axe de la dorsale (SB) ?

Ces critères doivent permettre de cerner la façon dont les élèves ont considéré l'espace de la sédimentation (ubiquiste : on aura S ; ou localisée : on aura J) et son déroulement dans le temps (continuité : on aura des biseaux ; ou séquentialité : on aura des couches de même épaisseur). Ils doivent permettre également d'évaluer le degré d'articulation du processus sédimentaire au processus d'accrétion/dérive.

#### • Mise en catégories des réponses des élèves

En mobilisant les critères précédemment définis, nous parvenons à définir quatre catégories de réponses d'élèves (tableau 1).

La quasi-totalité des 38 productions des élèves de première scientifique étudiées se répartit dans deux catégories (J, S ++ et non SB) et aucune d'elles n'envisage, à la manière des chercheurs, une couverture sédimentaire biseautée (S ++ et SB). En nous basant sur des réponses prototypiques, ce sont ces catégories que nous allons étudier maintenant, dans les liens qu'elles entretiennent avec des mises en histoire.

#### • Plusieurs mises en histoire d'élèves

La catégorie I (J) regroupe les réponses dans lesquelles :

– il y a *juxtaposition* de sédiments d'âges différents sur le fond basaltique. La zone basaltique datée de 135 à 190 MA porte uniquement des sédiments de cet âge ; la zone basaltique datée de 65 à 135 MA porte uniquement des sédiments de cet âge... ;

– il n'y a pas de sédiments d'âges différents superposés. Sur quelque verticale où l'on se place, on ne trouve, en âge, qu'un seul type de sédiment.

Dans ce type de réponse, tout se passe comme si la formation de la couverture sédimentaire se faisait en totalité juste après la formation du plancher océanique (une sorte de couverture sédimentaire « livrée avec »).

Les coupes de la figure 2 illustrent cette catégorie J (Juxtaposition).

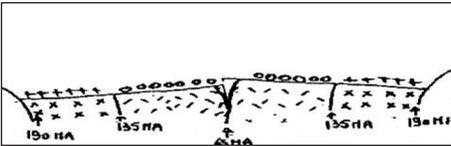
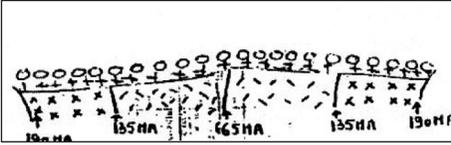
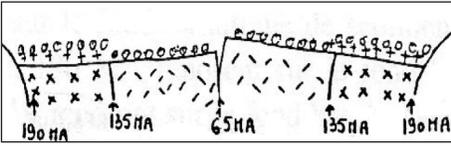
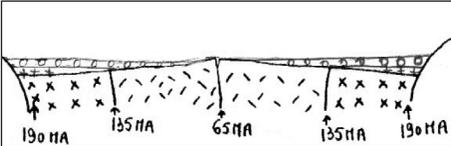
Mettons en texte le fonctionnement du fond océanique que sous-tend ce type de schémas. Cela oblige à convoquer une succession d'épisodes qui se reproduisent cycliquement. Il y a :

– formation d'une bande basaltique ;

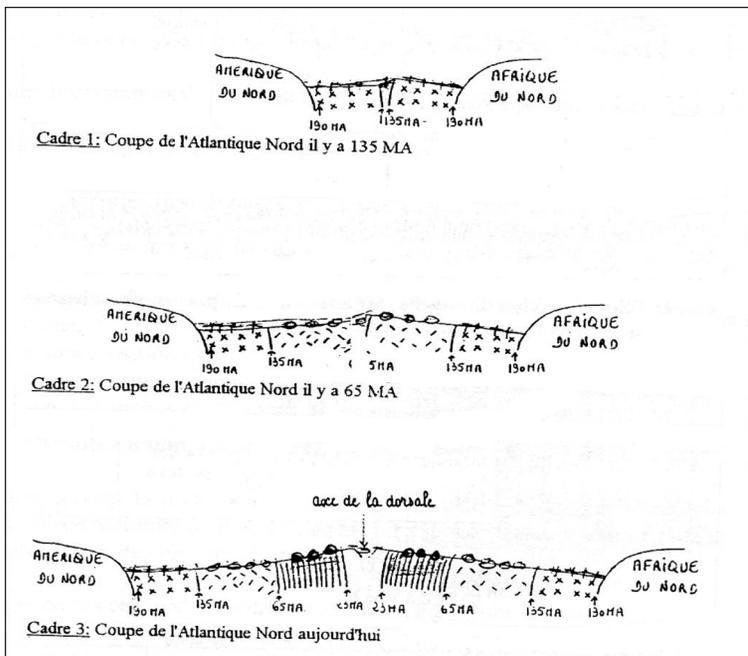
- sédimentation sur cette bande ;
- formation d'une bande basaltique ;
- sédimentation sur cette bande ;
- et ainsi de suite.

Nous remarquons que les caractéristiques spatio-temporelles du deuxième phénomène, à savoir la sédimentation, ne sont pas prises en compte.

**Tableau I. Les grandes catégories de réponse en matière de sédimentation océanique**

Catégories	Caractéristiques des réponses	Nombre de réponses
Catégorie 1 : (J)	<p>Il y a « juxtaposition » de sédiments d'époques différentes sur le fond océanique.</p> 	21
Catégorie 2 : (S =)	<p>Il y a une superposition de couches sédimentaires de même extension (elles recouvrent la totalité du fond océanique) quel que soit leur âge*.</p> 	3
Catégorie 3 : (S ++ et non SB)	<p>Il y a une superposition de couches sédimentaires d'autant plus étendues qu'elles sont plus récentes. Ces couches ne sont pas biseautées.</p> 	13
Catégorie 4 : (S ++ et SB)	<p>Il y a une superposition de couches sédimentaires d'autant plus étendues qu'elles sont plus récentes. Ces couches sont biseautées en direction de l'axe de la dorsale.</p> 	0
		38**
<p>* Une de ces réponses parle d'éparpillement des sédiments au fond des océans. ** Une réponse, difficilement interprétable, n'a pas pu être classée.</p>		

**Figure 2. Catégorie J : juxtaposition de sédiments d'époques différentes sur le fond océanique (21 réponses sur 38)**



Pour la catégorie 3 (S ++ et non SB), ces réponses, que les coupes de la figure 3 illustrent, sont repérables par :

- une *superposition* (S ++ ) de sédiments de plus en plus jeunes et de plus en plus étendus quand on s'élève à la verticale à partir du fond basaltique ;
- une absence de figure en *biseau* (B) des couches sédimentaires du côté de l'axe de la dorsale.

La mise en texte permet de rendre compte du fonctionnement de ces schémas. Nous obtenons l'histoire suivante, une histoire cyclique :

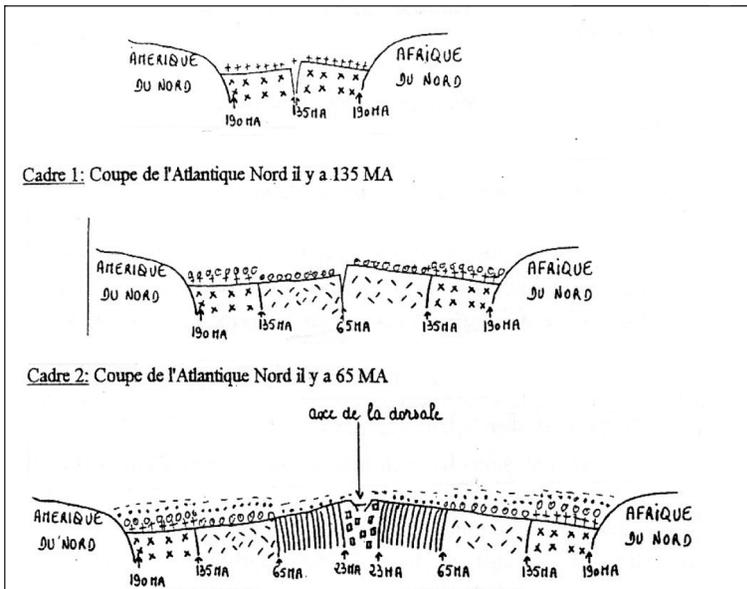
- formation d'une nouvelle bande basaltique ;
- sédimentation sur tout le fond océanique existant ;
- formation d'une nouvelle bande basaltique ;
- sédimentation sur tout le fond océanique existant ;
- et ainsi de suite.

#### • Deux catégories fondamentales de pensée des élèves

L'activité que nous venons d'étudier, à savoir la reconstitution de la couverture sédimentaire du fond océanique à différentes époques, était suivie dans la foulée d'une dernière activité à réaliser toujours individuellement : placer les sédiments

sur une carte de l'Atlantique-nord, tels qu'on pourrait les voir de dessus. Nous obtenons deux grandes catégories de réponses. Les réponses (figure 4a) où le fond océanique vu de dessus ne montre que les sédiments récents. Ils masquent de fait des sédiments plus anciens : « si on regarde juste au dessus de la roche basaltique on verra des sédiments d'âge différents mais si on regarde juste à la surface des sédiments on trouvera des sédiments très récents » a écrit un élève près de sa carte (Julien). Et les réponses (figure 4b) où le fond océanique, vu de dessus, montre une juxtaposition de bandes de sédiments d'âges différents. Les justifications lient l'âge des sédiments à leur distance à l'axe de la dorsale : « plus l'on s'éloigne de l'axe de la dorsale et plus les sédiments sont anciens » (Maria).

**Figure 3. Catégorie S ++ et non SB : superposition de couches sédimentaires de plus en plus étendues mais sans biseaux (13 réponses sur 38)**



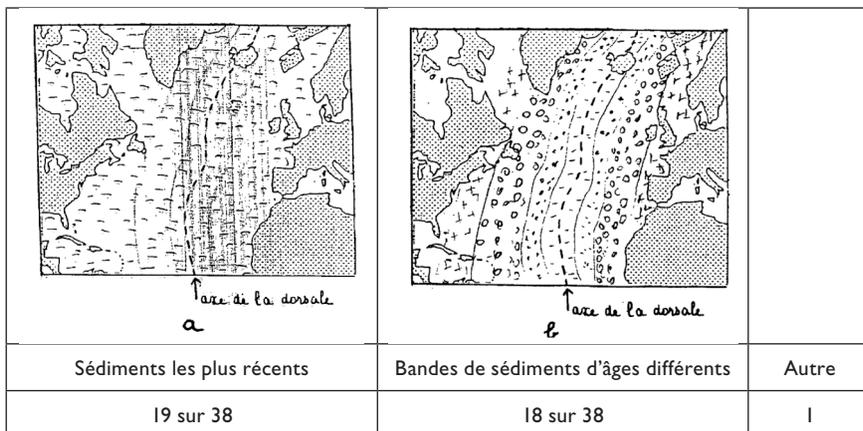
Nous avons croisé les réponses sur coupes (catégories S ++ et non SB ; catégorie J) et les réponses sur carte. Le tableau 2 rend compte des résultats obtenus.

**Tableau 2. Croisement des réponses sur coupes et des réponses sur carte**

Carte	Coupes	Superposition (S ++ et non SB)	Juxtaposition (J)	
Superposition		12*	4	16
Juxtaposition		0	17	17
		12	21	33

\* Une réponse S ++ pour les coupes et énigmatique pour la carte n'a pas été comptabilisée.

**Figure 4. Deux types de réponse en matière de sédimentation océanique**  
(vue de dessus)



Nous remarquons que les réponses des élèves présentent une grande cohérence : le type de réponse produit par un élève à l'activité précédente se retrouve dans cette nouvelle activité. Les élèves (J) répondent en juxtaposition de tranches sédimentaires sur une carte des fonds océaniques et les élèves (S ++ et non SB) persistent à être S puisqu'ils placent au fond de l'eau la couche sédimentaire la plus récente. Devant ces résultats, nous sommes conduit à penser qu'il y aurait chez les élèves deux catégories fondamentales de pensée quant à l'articulation dans le temps et dans l'espace des processus de dérive/accrétion et de sédimentation océaniques. Elles se traduisent toutes deux par des enchaînements d'épisodes, des mises en histoire qui ne sont pas tout à fait semblables.

### 2.3. Résultats et discussion

La reconstitution de l'histoire des fonds océaniques ne pose pas de véritable problème aux lycéens : le fonctionnement en double dérive latérale semble maîtrisé tout comme son extrapolation dans un passé plus ou moins lointain. Mais cette apparente aisance n'est pas sans laisser poindre des conceptions décalées par rapport à celles des chercheurs et des écarts de problématisation en rapport avec le temps : il y a de fausses ressemblances avec les scientifiques quand les élèves sont capables de réaliser une datation relative des différentes parties d'un fond océanique mais se représentent le magmatisme d'une dorsale à la manière du volcanisme aérien ; il y a de vraies différences quand il s'agit d'articuler des processus inscrits dans des histoires spatio-temporelles différentes comme c'est le cas des processus de dérive/accrétion et de sédimentation<sup>5</sup>. Détaillons un peu ces aspects.

<sup>5</sup> C'est aussi le cas de la conjugaison de l'histoire des anomalies magnétiques à la dérive/accrétion, étudiés par ailleurs (recherche en cours).

• **La difficulté à penser et à représenter la continuité des processus**

Nous constatons que, dans une proportion non négligeable, les élèves reconstituent le fonctionnement et le passé d'un océan par séquentialisation de l'accrétion/dérive et de la sédimentation plutôt que de les envisager synchrones et continues. Que leur proposition s'inscrive dans la catégorie (J) ou (S ++ et non SB), il y a pour eux :

– une histoire séquentielle de l'accrétion/dérive : formation d'une bande basaltique ; interruption de l'épisode basaltique du fait de l'épisode sédimentaire ; épisode basaltique ; interruption de l'épisode basaltique du fait de l'épisode sédimentaire ; etc.

– une histoire séquentielle de la sédimentation : interruption de la sédimentation du fait de l'épisode basaltique ; épisode sédimentaire ; interruption de la sédimentation du fait de l'épisode basaltique ; etc.

Autrement dit, les lycéens transforment deux phénomènes simultanés en une succession de séquences avec interruption rythmique de chacun des processus. Le « en même temps » de la dérive/accrétion et de la sédimentation devient « et puis » et « chacun son tour ». C'est donc que les élèves n'ont pas l'idée d'une réalisation continue et synchrone des processus. Ils lui substituent un déroulement alternatif et saccadé.

Compte tenu des situations étudiées et devant ces résultats, on pourrait objecter que l'absence de traduction en biseaux de la sédimentation dans les productions des élèves est à mettre en rapport avec le découpage du temps en tranches (voir les figurés) ou avec la petitesse des supports. Mais comme aucune justification écrite ou orale des élèves ne fait référence explicitement à de la continuité, il nous est difficile de retenir ces explications.

• **La difficulté des élèves à articuler deux phénomènes simultanés**

Dans l'histoire (S ++ et non SB), l'accrétion est comprise de la même manière que la sédimentation (par formation rythmique de nouvelles bandes ou de nouvelles couches), mais la sédimentation concerne à chaque fois tout le fond océanique. Au contraire, dans l'histoire (J), cette dernière prend le statut local de l'accrétion (elle se cantonne à l'axe de la dorsale). Cela veut dire qu'une histoire, l'histoire basaltique, tire l'autre (l'histoire sédimentaire) dans sa suite. C'est donc en termes d'espace que l'histoire (J) se démarque de l'histoire (S ++ et non B) : dans l'histoire (J), la sédimentation se calque sur l'accrétion/dérive. Tout se passe comme si le fonctionnement (et le mouvement) du fond basaltique conditionnait(ent) et situait(ent) la sédimentation. Il reste cependant à interroger le lien qui unit ces deux fonctionnements. Est-ce une succession simple (*post hoc*) ou de la causalité simple (*propter hoc*) ?

## **2.4. Conclusion**

En résumé, les élèves substituent le temps séquentiel de mises en histoire, vues comme des enchaînements d'épisodes, à la continuité et à la simultanéité de la dérive/accrétion et de la sédimentation. C'est une façon d'articuler le temps et l'espace qui est

différente de celle des scientifiques. Si elle n'est pas recevable, c'est parce qu'elle réduit le temps des processus à une seule dimension spatiale et aussi parce qu'elle ne questionne pas la raison de l'alternance des épisodes. Ce sont autant de caractères qui trahissent la pensée commune, soucieuse de rendre compte efficacement de résultats.

Comme, dans de nombreux problèmes géologiques, il est question de combiner plusieurs processus (magmatisme, sédimentation, mouvements...), nous nous sommes demandée dans quelle mesure cette tendance des élèves à expliquer par des mises en histoire, bien identifiée pour le cas de l'accrétion/sédimentation, se retrouvait ailleurs et à quelles conditions il était possible de la dépasser. D'où une nouvelle étude de cas, au même niveau d'enseignement et avec une autre classe, où le problème explicatif est à voir à l'échelle du globe. Notre but est de questionner les figures de combinaison de processus du point de vue de la mise en histoire et de la problématisation, donc de leur rapport au temps.

### **3. L'explication de la répartition des volcans et des séismes par les lycéens**

#### **3.1. La situation étudiée et le corpus de données**

La situation de classe étudiée maintenant se situe au début du traitement du thème général de sciences de la Terre de la classe de première scientifique intitulé « *Structure, composition et dynamique de la Terre* ». Dans le thème retenu, les programmes indiquent que « *la tectonique des plaques et les modèles de la structure et de la dynamique interne de la Terre fournissent un cadre de réflexion qui s'enrichit et évolue au fur et à mesure de l'accumulation des données* » (France : MEN, 2000, p. 11). C'est un cadre qui, compte tenu des programmes antérieurs<sup>6</sup>, est pour partie connu des élèves.

Après avoir établi collectivement les grandes caractéristiques de la répartition des volcans et des séismes récents et actuels à la surface du globe, les 32 élèves d'une classe de première scientifique<sup>7</sup>, répartis en groupes de 4, prennent en charge l'explication de ces répartitions. Chaque groupe produit une affiche portant un (des) schéma(s) explicatif(s) assorti(s) éventuellement d'un court texte. Vient ensuite, et cela s'est fait par demi-classe au cours d'une séance de travaux pratiques, un moment où chaque groupe présente son travail aux autres. Chaque exposé est suivi d'un moment de débat.

Cette situation est pensée pour permettre aux élèves de se réinscrire dans le cadre général de la théorie de la tectonique des plaques et de mettre en jeu leurs conceptions sur l'organisation et le fonctionnement du globe terrestre. Elle se démarque de celle que nous venons d'étudier précédemment pour plusieurs raisons. Tout d'abord, elle concerne la Terre entière et non plus une de ses zones.

---

<sup>6</sup> Nous pensons notamment au programme de sciences de la vie et de la Terre du cycle central du collège.

<sup>7</sup> Il s'agit d'une classe de première scientifique du lycée Montesquieu du Mans. Nous remercions Valérie Royer, professeur de SVT de cette classe, de nous avoir permis de travailler avec ses élèves.

Ensuite, elle cherche à expliquer des phénomènes observables (volcans et séismes) connus des élèves. Enfin, elle donne aux élèves la possibilité de choisir et de combiner des phénomènes géologiques (volcanisme, formation des chaînes de montagnes...) et des éléments du modèle plaquiste.

Quelles combinaisons et articulations de phénomènes les élèves réalisent-ils ? Quelles parts de mises en histoire ou de problématisation mettent-ils en jeu ? Comment ces mises en histoire et ces problématiques évoluent-elles au cours du débat ?

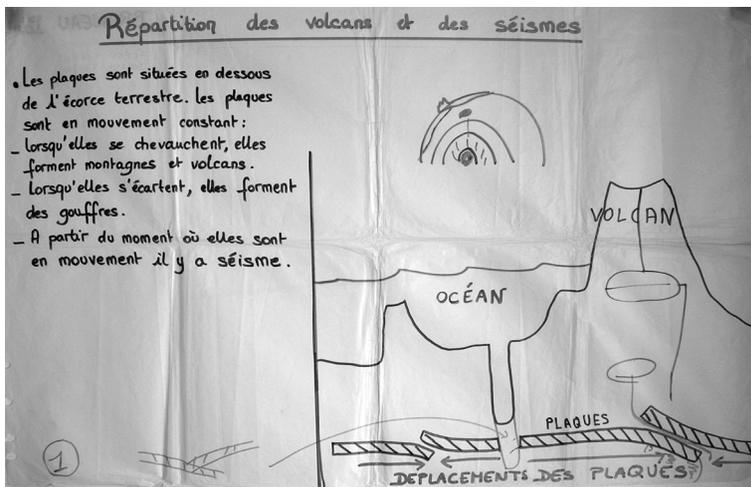
Cette deuxième étude de cas s'appuie sur un corpus comprenant les 8 affiches des groupes, l'enregistrement et la transcription de deux groupes au travail (un par demi-classe), l'enregistrement et la transcription de la séance de présentation/débat (durée de chaque séance : 2 heures) de chaque demi-classe. Dans cette contribution, nous limitons notre analyse à la production du groupe 1 de la première demi-classe et au long débat (45 minutes) qui a suivi sa présentation à la classe. Le professeur ayant fait le choix de peu s'impliquer, nous pensons que ce moment d'échanges donne à voir des modes de raisonnement spontanés des élèves.

### 3.2. Les combinaisons de problèmes et de phénomènes réalisées par les élèves

Dans le prolongement de notre première étude, où l'expansion des fonds océaniques était combinée à celle de la sédimentation, tentons d'identifier les combinaisons réalisées ici par les élèves et les liens qu'elles entretiennent avec la mise en histoire et la problématisation.

Figure 5. L'affiche du groupe 1

Le schéma en bas à gauche, la coupe de la Terre sous le titre et les poches de magma ont été ajoutés par les élèves au cours du débat.



### • Caractérisation de l'explication du groupe I

La séance commence par la présentation du groupe I (4 élèves : Eveline, Nicolas, Noëlle, Paul). Ce groupe a réalisé l'affiche présentée sur la figure 5.

En s'appuyant sur cette affiche, voici l'explication de la répartition des volcans et des séismes que deux élèves du groupe proposent à la demi-classe :

7 – Noëlle : *Euh, oui, nous on avait supposé qu'on avait une écorce terrestre qui était au dessus, avec les **plaques**<sup>8</sup>, les différentes **plaques** des continents en dessous. Et que... donc les mouvements de ces **plaques** induisaient les séismes et même parfois aussi les éruptions. Et donc les **plaques**, quand, **elles** peuvent se rapprocher, donc **elles** se chevauchent. Et donc quand **elles** se chevauchent, en même temps ça s'écarte de l'autre côté. Donc ça... ça s'écarte. Rires. Suivant !*

8 – Nicolas : *Et en fait, on pensait que selon les mouvements des **plaques**, euh, euh... enfin, ça... Enfin, ça décidait le relief, le relief de l'écorce terrestre en fait. Quand les **plaques**, effectivement, **elles** se chevauchent, ben... y a des montagnes ou des volcans et, comme quand **elles** se chevauchent, **elles** s'écartent autre part y a... Ca fait des cratères. Ben... Enfin, en fait, on savait qu'y avait des cratères dans les océans, donc on pensait que c'est quand les **plaques** s'écartaient, en fait.*

L'explication du groupe I s'apparente à une histoire simple. Elle met en jeu des plaques mobiles surmontées d'une écorce terrestre. Ces plaques, à valeur de personnages principaux, peuvent se rencontrer et se chevaucher, ce qui donne des reliefs ; elles peuvent aussi s'écarter, ce qui provoque des sortes de gouffres que les élèves nomment « cratères ». Tout donne à penser que les processus de déplacement/convergence/écartement des plaques servent la réalisation du modelé terrestre.

On peut voir dans cette histoire simple une solution au problème de répartition des volcans et des séismes. Les séismes sont expliqués par les mouvements des plaques. « À partir du moment où elles sont en mouvement il y a séisme » est-il écrit sur l'affiche, donnant à ce lien mouvements-séismes la forme d'une règle générale. Cela veut-il dire que les mouvements des plaques et les séismes ne font qu'un ? Si tel est le cas, l'explication des élèves se démarque de celle des chercheurs en termes d'échelle notamment : pour les premiers, les séismes concerneraient l'ensemble de chaque plaque, prise comme une entité indéformable ; pour les seconds, les séismes naissent de ruptures ou de rejeux locaux de blocs rocheux sous l'effet de contraintes compressives ou distensives, les frontières de plaques étant les endroits concentrant le plus souvent les contraintes. Le volcanisme est réparti aux frontières de plaques : les volcans terrestres sont associés à la convergence de deux plaques ; le volcanisme sous-marin est lié à la divergence de deux plaques. Écoutons à nouveau Nicolas : « Quand les plaques, effectivement, elles se chevauchent, ben... y a des montagnes ou des volcans [...], elles s'écartent autre part

8 Surligné par nous.

y a... *Ça fait des cratères* ». Nous notons que ce groupe de lycéens englobe dans un même ensemble reliefs montagneux et édifices volcaniques aériens, et les explique par les mêmes éléments du modèle plaquiste. Les géologues font de tels liens à quelques différences près cependant : d'une part, ils distinguent les édifices volcaniques aériens et les édifices montagneux : les premiers sont des constructions faites de produits volcaniques et non des déformations crustales ; d'autre part, ils ne se limitent pas à l'explication des reliefs puisqu'ils abordent aussi la question du magmatisme.

Cette solution articule des éléments du modèle plaquiste (mouvements des plaques, convergence et divergence de plaques) et des éléments empiriques (séismes, reliefs volcaniques ou non, cratères). Elle lie avec un certain degré de nécessité la convergence et la divergence des plaques (cette relation aurait donc valeur de contrainte théorique) : « *comme quand les plaques se chevauchent (quelque part), elles s'écartent autre part* » dit Nicolas. Elle associe fortement mouvement des plaques et séismes. Mais si le mouvement est une condition suffisante d'obtention des séismes, rien ne dit que les séismes ne peuvent pas être le produit d'une autre cause. En d'autres termes, nous nous demandons si les élèves font du mouvement des plaques une nécessité pesant sur le modèle d'explication des séismes.

En résumé, l'histoire que propose ce groupe d'élèves est moins simple qu'elle ne paraît (D. Orange-Ravachol, 2005) : elle a les caractères d'une itération (des plaques qui se déplacent et se déplacent encore), elle comprend des îlots explicatifs (l'explication des reliefs et des séismes) et elle est potentiellement propice à la problématisation, du fait de ses implicites (en contraintes théoriques notamment) et des éléments hétérogènes qu'elle réunit (édifices volcaniques et montagnes).

#### • Les problèmes engendrés par la production du groupe

Après la présentation du groupe 1, le professeur s'assure que ce groupe n'a plus rien à ajouter puis il invite le reste de la classe à réagir. C'est alors qu'un débat s'instaure. Il se déploie de l'intervention 11 à l'intervention 710 et peut être découpé en deux grands moments : un premier temps où les questions fusent (25-85), avec leur lot de problèmes géologiques ; puis un second temps où les élèves travaillent conjointement certains de ces problèmes géologiques (86-710).

Premier moment, la classe questionne l'explication du groupe 1 en pointant plusieurs problèmes. Dans le tableau 3, nous les présentons dans leur ordre d'apparition.

Le deuxième moment se caractérise par un débat long et soutenu (environ 45 minutes). Les problèmes 1, 3 et 4<sup>9</sup> vivent en interaction. Il s'y ajoute deux nouveaux

---

9 Le problème des relations entre l'écorce terrestre et les plaques n'est pas discuté dans le débat qui suit la présentation du groupe 1. Il renaîtra plus tard, en lien avec les exposés des groupes 2 et 3, quand les élèves se demanderont si on marche ou non directement sur les plaques. Rappelons que pour les chercheurs, l'écorce terrestre représente la partie supérieure des plaques.

problèmes : le problème du mouvement des plaques et celui du fonctionnement d'un volcan aérien en zone de convergence de plaques. Axons-nous sur le problème du trou engendré par l'écartement des plaques, depuis son émergence (25) jusqu'à son règlement par le rejet de son existence au profit d'une stabilité structurelle (518). Comment les élèves le travaillent-ils ?

**Tableau 3. Les problèmes géologiques pointés par la classe après la présentation du groupe I**

<b>Problèmes pointés par la classe :</b>	<b>Extrait correspondant du débat :</b>
1. Le problème du trou provoqué par l'écartement des plaques	25. <i>Entre les deux plaques, là, y a un trou ? Ben, y a quoi ?</i>
2. Le problème de l'organisation du globe terrestre	33. <i>Et y a quoi entre l'écorce terrestre et les plaques ?</i>
3. Le problème de la formation des montagnes et des volcans aériens	48. <i>Et comment est-ce que vous expliquez la formation des volcans ?</i> 50. <i>Oui mais après, par rapport à la lave, tout ça.</i> 85. <i>En fait, où est-ce que vous pensez qu'il y a formation de montagnes ? Parce que, avec le chevauchement des plaques, des fois ça fait un volcan et de l'autre côté, ça fait des montagnes. Mais c'est le même système.</i>
4. Le problème de la formation des séismes	77. <i>Là, vous avez en fait expliqué au niveau du relief terrestre et sous-marin mais en fait, par rapport aux séismes, ça se passe comment ?</i>

### **3.3. Le « travail » par les élèves du problème du trou océanique**

#### **• Méthodologie d'étude de la mise en histoire et de la problématisation des élèves**

Nous procédons de la manière suivante : en partant de l'énoncé du problème par un élève, nous prenons en considération les différentes propositions des élèves sur la question et étudions ce qui les fait évoluer jusqu'à ce que le problème soit résolu. Nous considérons qu'un problème est résolu par la classe lorsque, dans la suite des présentations ou des échanges, la solution de ce problème est utilisée par les élèves comme une boîte noire, c'est-à-dire comme un donné qu'ils ne questionnent plus. En quoi consiste l'enrichissement des registres ? Quelles articulations se tissent avec d'autres problèmes ? Comment est travaillée la mise en histoire ? Quelles sont les traces de problématisation ?

#### **• Un entrecroisement de plusieurs problèmes**

Dans sa présentation, le groupe I articule le chevauchement des plaques à leur écartement dans d'autres zones du globe. Cet écartement se matérialise par un trou océanique qui fait immédiatement problème pour la classe (voir section 3.2.). Ce problème est revisité par les élèves de manière récurrente

jusqu'à ce qu'émerge une solution acceptée par tous : il n'y a pas de trou, du fait du renouvellement continu des plaques dans les zones de divergence. Le tableau 4 présente les grands moments du débat, depuis la position du problème du trou jusqu'à sa résolution. Ils sont définis par les problèmes pris en charge par les élèves.

Le tableau 4 montre que les épisodes proprement consacrés au problème du trou (colonne de gauche du tableau) sont entrecoupés de moments consacrés à d'autres problèmes : problème du fonctionnement intermittent des volcans aériens, explication des montagnes et des volcans aériens, problèmes du mouvement des plaques et de l'organisation du globe terrestre. À l'opposé de tous les autres problèmes, le problème des séismes n'émerge qu'une seule fois et il est très vite réglé.

• **Le traitement des différents problèmes par les élèves**

Entrons plus précisément dans le travail conjoint des différents problèmes réalisé par les élèves.

**Le problème de la formation des montagnes et des volcans aériens.**

Comme nous l'avons vu plus haut, c'est très tôt dans le débat que des élèves s'étonnent de la formation contingente des volcans aériens et des montagnes<sup>10</sup> (48, 85) et proposent de mettre en jeu de la lave (50). Le groupe I, qui n'a pas envisagé de magma, est contraint de s'expliquer et de questionner la contingence des types de reliefs. Ses premières interventions veulent écarter la mobilisation du magma : il n'a rien à voir dans un problème de répartition des volcans et des séismes, dit Nicolas.

51 – Nicolas : *Ben, enfin moi, je pensais que le magma, il était en dessous des plaques et quand... enfin... selon le mouvement des plaques... Mais ça, je sais plus. Rires. Il me semble que c'est ça, mais... De toute façon, c'était pas ça la question donc... Rires.*

53 – Nicolas : *Je dis, de toute façon, c'était pas ça la question.*

57 – Nicolas : *C'était la répartition. Rires.*

Mais cette question du magma concerne malgré tout le groupe et elle l'embarasse. Les interventions de Noëlle le montrent.

91 – Noëlle : *comment on sait s'il y a du magma ou pas ?*

96 – Noëlle : *En fait, on sait que c'est un volcan s'il y a du magma. Mais en fait, en regardant comme ça, on sait pas trop comment, s'il y a du magma ou pas. On sait pas trop comment c'est... parce que...*

---

<sup>10</sup> Contingent dans le sens de « on peut obtenir l'un comme on peut obtenir l'autre ».



Mais l'insistance de la classe à impliquer le magma est telle qu'elle fait craquer l'histoire du groupe 1 : elle oblige ce groupe à ne pas se limiter à la mise en jeu des plaques et à faire intervenir le magma ; elle étend la réflexion du problème de l'obtention de reliefs montagneux ou volcaniques au problème du trou océanique qui, avec une enveloppe de magma sous les plaques, devrait être moins profond. Les interventions 112 et 121 attestent de ce raisonnement :

112 – Élève de la classe : *En fait, ça aurait été bien quand même de mettre le magma. Enfin, je pense parce que là où vous montrez l'écartement des plaques...*

121 – Élève de la classe : *Ce serait mieux de mettre du magma sur le schéma pour, pour combler la fosse que vous avez fait au niveau de l'écartement des plaques puisque comme vous pensez qu'il y a du magma en dessous, y aurait sans doute pas de fosse jusque, jusqu'en dessous des plaques.*

Est-ce à dire que le problème de la distinction entre formation de montagnes et formation de volcans aériens est délaissé ? Non, car il revient de manière éphémère, un peu plus tard, en lien avec le mouvement des plaques et l'importance de la convergence :

180 – Eveline : *Le magma c'est liquide, ça permettrait... c'est ce qui pourrait expliquer le mouvement des plaques qui se chevaucheraient et selon l'importance du chevauchement, ça ferait des volcans ou des montagnes.*

**Le problème des séismes.** Le problème de l'explication des séismes s'intercale dans le travail du problème de la formation des volcans aériens et des montagnes. Il est très vite réglé par les élèves du groupe considéré.

79 – Nicolas : *Ben, c'est les plaques qui bougent.*

80 – Noëlle : *C'est les plaques qui bougent, oui, ou se frottent, oui, voilà. Soit elles se chevauchent, elles glissent, ou oui.*

C'est beaucoup plus tard, après la présentation du groupe 2, qu'il sera réouvert.

**Le problème du mouvement des plaques.** Ce problème apparaît lorsque les élèves se posent la question de la localisation du magma. La suggestion faite au groupe 1 de mettre du magma sous le trou et d'en réduire la profondeur (voir plus haut les interventions 112 et 121) entraîne d'abord refus ou doute. « *Ah mais y-en a pas forcément (du magma) !* » dit aussitôt un élève de la classe (122) quand deux élèves du groupe 1 disent ne plus trop savoir (123, 124, 126, 128). Y a-t-il du magma partout sous les plaques ? Se cantonne-t-il dans des poches localisées ? Des élèves de la classe et du groupe règlent ce dilemme en faisant intervenir le mouvement des plaques : il y a du magma partout, dit une élève du groupe 1, « *parce que les plaques tectoniques glissent dessus. Pour qu'il y ait mouvement. Parce que si c'était sur de la roche ou des trucs comme ça, ce serait plus difficile. Ben ça fait un peu comme un*

système de... » (147). Mais l'affaire n'est pas si simple. Pour preuve, la difficulté que pointe Paul, un autre élève du groupe 1, de penser en même temps l'existence d'une enveloppe magmatique sous les plaques et la montée de ce magma pour alimenter les éruptions des volcans des zones de convergence. Parce que, « *s'il y a des montagnes, le magma a priori, il passe pas jusqu'à la surface de la Terre. Donc ça veut dire qu'il est bloqué au niveau de l'écorce* » (Paul, 156).

Les problèmes du mouvement des plaques et des éruptions aériennes interagissent donc en lien avec celui de l'organisation du globe terrestre. Pour les élèves, cette organisation doit concilier les solutions de ces deux problèmes. Doit-on alors imaginer une enveloppe de magma ou des poches de magma ? Comment concevoir l'organisation des zones de convergence pour que le magma puisse atteindre la surface ? Toutes ces interrogations émergent sans vraiment affaiblir la nécessité d'une enveloppe magmatique sous les plaques. L'extrait suivant, qui met en jeu Nicolas (partisan de poches de magma) et sa camarade de groupe, Noëlle (partisane de la nécessité d'une enveloppe de magma), en est une illustration.

205 – Noëlle : *Ce que je veux dire, si tu mets une poche de magma en dessous, comment veux-tu expliquer le mouvement des plaques ?*

206 – Nicolas : *Ouh...*

207 – Noëlle : *Non, mais je veux dire, ça se tient ce qu'il disait ! Parce que...*

208 – Nicolas : *Non mais d'accord, ça se tient. Je sais que ça se tient ! Si on dit que les plaques bougent, y a pas forcément besoin qu'il y ait du magma en dessous ! C'est tout !*

209 – Noëlle : *Ah ben oui, mais tu les fais bouger comment. ? Comme ça ?*

210 – Nicolas : *C'est bon !*

211 – Noëlle : *Avec un moteur ! Je sais pas !... Ça se tient pas !*

L'explication du mouvement des plaques par la mise en jeu d'une enveloppe de magma sous-jacente apporte satisfaction à une majorité des élèves comme elle ravive le problème du trou. Nicolas<sup>11</sup> tient à montrer les conséquences absurdes de l'une sur l'autre : s'il y a du magma partout sous les plaques, « *ça voudrait dire que dès qu'il y a un mouvement, dès que les plaques s'écartent, là, y a du magma qui sort. Donc là, y a du magma qui sort. Or, parce que c'est pas le cas !* » (Nicolas, 212). C'est dans ce creuset d'histoires de plaques et de magma qu'émerge un doute sur l'existence du trou : « *Les trous, ben en fait, c'est bizarre. Je sais pas si y a vraiment un trou, comme ça* » (un élève de la classe, 262). Tout se passe comme si la nécessité d'une enveloppe magmatique sous les plaques faisait tomber celle du trou.

**Le problème du fonctionnement d'un volcan aérien en zone de convergence de plaques.** Le problème du fonctionnement d'un volcan aérien en zone de convergence préoccupe les élèves. C'est le problème auquel ils consacrent le

<sup>11</sup> Nicolas est le seul élève qui semble tenir aux poches, sans parvenir à dire pourquoi.

plus de temps dans le débat. Il apparaît après que les élèves ont envisagé la nécessité de mettre du magma partout sous les plaques pour permettre leur mouvement. Rappelons-nous les propos de Paul (156) : « *S'il y a des montagnes, le magma a priori, il passe pas jusqu'à la surface de la Terre. Donc ça veut dire qu'il est bloqué au niveau de l'écorce* ».

Comment tenir un fonctionnement global (la dynamique des plaques) et un fonctionnement local (le volcanisme des zones de convergence) ? Comment mettre en cohérence les sorties magmatiques aux différentes frontières de plaques ?

Lorsque le professeur relance ce problème d'ascension du magma (277), les élèves s'en emparent promptement. Ils s'accordent d'abord sur l'implication de magma quel que soit le type de volcanisme (explosif ou effusif). Puis, pour les zones de convergence de plaques, ils construisent tout à la fois la nécessité d'un conduit vertical et l'impossibilité physique qu'il existe. Comment concevoir en effet une cheminée dans des plaques rigides et compactes ? Nicolas, du groupe I, donne à entendre plusieurs fois cette tension (333, 366, 384). Écoutons-le.

333 – Nicolas : *Si on dit que le magma est en dessous des plaques et que... Ben, pour sortir, il faut bien qu'il y ait un conduit !... Il faut forcément un conduit. Mais si le magma est en dessous, le conduit, il peut pas aller jusqu'à la poche. Si le magma est en dessous des plaques, le conduit, il peut pas aller jusqu'à la poche.*

Nora dit la même chose un peu plus tard.

370 – Nora : *C'est évident qu'il doit y avoir un conduit pour que le magma passe. Pour que... Il sort quand il y a éruption. Mais... avec leur schéma, les plaques, elles se chevaucheraient et je vois pas comment... comment il peut y avoir... comment dire ? Déjà formation d'un volcan donc une élévation en fait des plaques et en même temps un conduit... Il faut qu'elles exercent une force l'une sur l'autre pour pouvoir monter. Et après le conduit, ben... On sait pas trop où est sa place.*

Cette tension entre une nécessité fonctionnelle et une impossibilité structurale oblige les élèves à explorer d'autres possibles structuraux. Plusieurs d'entre eux recourent aux fissures intraplaques (346, 367).

346 – Paul : *À propos du conduit, ben, je sais pas. Moi, j'étais assez d'accord que le magma serait en dessous des plaques. Mais pour qu'il remonte, je sais pas. Y a peut-être des fissures dans les plaques qui font qu'il peut remonter mais... je sais pas.*

367 – Noëlle : *Oui, mais si les plaques se chevauchent, elles peuvent très bien se fissurer en se chevauchant donc le magma peut peut-être passer à travers. Ou le magma étant chaud, il peut peut-être ben justement brûler ces plaques. Ben, je sais pas.*

Mais ce n'est pas tout. L'idée d'un couplage entre la nécessité d'une enveloppe de magma (elle explique le mouvement des plaques) et celle de poches magmatiques (elles alimentent des éruptions épisodiques) prend forme. Les élèves

s'emparent donc, non seulement, du problème de la remontée du magma mais aussi de ses sorties en surface sporadiques. Dans l'extrait suivant, des élèves conçoivent la mise en jeu de poches dont la contenance s'ajuste aux éruptions et dont le remplissage va avec un écartement transitoire des plaques.

385 – Noëlle : *C'est le magma, le magma. Tu le places où ? En dessous, au dessus.*

386 – Paul (ou Pierre ?) : *Ben pour moi, il est en dessous et puis après y a une autre poche et puis, ben, ça marche.*

398 – Noëlle : *Donc on en a dedans. Et y a en a toujours autant. Donc peut-être comme y a une autre poche à côté, comme ça, ce qui fait que quand ça s'écarte, ça remplit et hop, ça... ça remonte.*

400 – Eveline : *Comme par magie...*

404 – Professeur : *Vous ré-expliquez un peu tout parce que...*

407 – Noëlle : *Disons qu'on a une poche magmatique avec du magma toujours permanent dedans, mais pas assez, pas assez pour qu'il y ait une éruption. Mais on a un autre conduit qui, qui nous relie en dessous des plaques avec une autre poche, avec du magma dedans et quand elles s'écartent, les plaques, donc le déplacement des plaques, ça fait le magma qui remonte. Ça remplit là. Et on y va pour une éruption !*

Le problème du trou revient au gré des tentatives d'application à l'échelle du globe de processus locaux, la remontée du magma par exemple (420, 430) : si du magma remonte en tel endroit lorsque les plaques s'écartent, pourquoi cela ne se passerait-il pas aussi en d'autres lieux où elles s'écartent ? C'est bien cette généralisation que veulent faire Pierre et Noëlle.

420 – Pierre : *Vous dites que le magma, il passe quand les plaques s'écartent ? Alors qu'à côté, quand les plaques elles s'écartent, ça fait une fosse.*

430 – Noëlle : *Pourquoi. Parce que si on suit le raisonnement avec de la lave partout, on se dit si ça s'écarte, pour avoir, pour avoir une éruption, pourquoi pas là alors ?*

Quelle que soit la zone considérée (zone de convergence ou zone de divergence de plaques), les élèves attribuent le même comportement au magma. Mais les effets attendus de ce comportement (les éruptions) ne sont pas conformes à ce qu'ils estiment être la réalité. Comment gèrent-ils cette contradiction ? En bricolant aux frontières. Ici certains élèves tentent de substituer de la convergence à de la divergence, sans entraîner cependant l'adhésion des autres. Pour Nicolas par exemple, cette proposition ne peut pas tenir : la convergence va nécessairement avec la divergence.

450 – Nicolas : *Tous les mouvements de plaques, en fait, seraient des rencontres de plaques. Enfin, les mouvements seraient en opposition et... et si c'était tout le temps comme ça, y aurait forcément un endroit où y aurait un écartement. Donc, ça résout pas le problème. Parce que c'est obligé qu'il y ait un endroit où les plaques s'écartent.*

Ce couplage semblait implicitement exister dans l'exposé du groupe I. Il prend ici valeur de contrainte théorique forte.

458 – Eveline : *Si les plaques se rapprochaient en certains endroits, il fallait bien qu'elles s'écartent en d'autres endroits !*

Dans un va-et-vient entre le fonctionnement du trou et celui des édifices volcaniques aériens, avec la préoccupation de faire sortir du magma, on retrouve un peu plus tard les élèves en train d'aménager les frontières de convergence : ne pourraient-elles pas rebiquer vers le haut ? L'impossibilité de cette conformation est aussitôt construite sur la base des propriétés physiques supposées des plaques.

466 – Un élève de la classe : *Moi, je pense que pour le volcan, pour que le magma, il sorte, il faut que les deux plaques, elles s'entrechoquent vers le haut.*

467 – Paul : *Oui, mais nous on est parti avec l'idée qu'elles pouvaient pas, qu'elles pouvaient pas faire ce mouvement comme ça.*

491 – Un élève de la classe : *Par rapport à la flexibilité des plaques. Enfin, on pensait pas qu'elles pouvaient se croiser comme ça et puis se courber.*

C'est suite à ces échanges, à ces va-et-vient d'un type de frontière de plaques à un autre, à ces passages d'un problème à un autre, d'une histoire de plaques et de magma à une autre que la proposition de Florian arrive, comme une solution au problème du trou.

508 – Florian : *Si on dit que ça s'écarte, les plaques, vu qu'en dessous, y a que du magma, ça pourra se reformer. Parce que le magma, c'est de la roche en fusion donc en fait le mouvement des plaques, y aurait jamais d'écart entre... entre les plaques.*

512 – Florian : *Ben en fait, si on dit que là y a tout plein de magma... les mouvements des plaques par vers là. (inaudible) ça sera plus chaud vers ici roche en fusion ça va fondre et ici, au contraire, ça va se refroidir donc ça va reformer en fait de la roche ici. Et donc le mouvement sera continu.*

518 – Florian : *Ben, ça veut dire qu'au fil des années, ben, depuis que la Terre existe, ben, ce mouvement là, ça forme... ça forme de la roche. C'est pour ça qu'il peut pas y avoir d'écart, quoi.*

Florian ancre son idée de renouvellement dynamique des plaques sur les apports du débat, ses controverses, ses îlots de problématisation, ses mises en histoire. Cet élève intègre et dépasse plusieurs mises en histoire : celle des plaques en mouvement, celle des éruptions volcaniques, celle de la formation des reliefs. Il dépasse le temps linéaire des histoires pour une élimination du temps (la stabilité structurelle de la zone de la dorsale met le temps à l'écart). De fait, il installe le fonctionnement terrestre dans une sorte de temps profond (« au fil des années ») et dans une logique d'état stationnaire intemporel : « Le mouvement sera continu » dit-il.

• **Bilan et discussion**

Au final, comment le problème du trou est-il construit et résolu par les lycéens dans cette situation ?

Les élèves résolvent le problème du trou en travaillant d'autres problèmes : le problème du déplacement des plaques, le problème de la formation des volcans des zones de subduction, le problème de leurs éruptions avec leur caractère sporadique. Tout se passe comme si ce travail d'autres problèmes alimentait en contraintes le problème du trou. Comment concilier du magma cantonné uniquement dans des poches et le mouvement des plaques ? Comment tenir en même temps la nécessité d'une ascension du magma par un conduit dans les zones de subduction et pas dans le trou occasionné par la divergence de plaques ?

En démêlant les problèmes qui s'entrecroisent, nous remarquons qu'au début de leur travail, les élèves les résolvent par des mises en histoire simples : l'histoire de la formation d'un relief sans questionnement du temps long ; la progression des plaques sur un océan de magma qui, vue comme une randonnée, provoque inévitablement des trous ; la sortie épisodique d'un magma venu des profondeurs.

C'est par la conjugaison de problèmes et d'histoires à différentes échelles d'espace et dans différentes directions temporelles que mûrit la solution de renouvellement des plaques. L'idée d'une enveloppe de magma sous les plaques (problème de déplacement des plaques, marquage horizontal du temps) est exportée dans le problème du trou et du volcanisme aérien (problème de volcanisme, marquage vertical du temps). Les propriétés des plaques (entités rigides non déformables) retenues dans le problème des séismes sont réinvesties dans l'explication du passage d'un magma à travers des plaques ou dans la représentation des frontières de plaques. Le comportement du magma dans les zones de subduction est repris dans le fonctionnement du trou. Il y a des va-et-vient de problèmes en problèmes qui enrichissent des mises en histoire initiales, construisent des contraintes et des nécessités pesant sur les solutions, et contribuent à faire des généralisations.

#### **4. Conclusion générale**

Nous souhaitons approfondir la place et le rôle des mises en histoire dans les apprentissages en sciences de la Terre. Où en sommes-nous au terme de cette contribution ? Nous retenons les points suivants.

##### **4.1. La tendance à expliquer par des mises en histoire simples se retrouve d'un problème géologique à un autre**

Dans le premier exemple étudié, où les élèves de première scientifique (16-17 ans) doivent articuler deux phénomènes (l'accrétion/dérive et la sédimentation

océaniques), cette tendance empêche un certain nombre d'entre eux de penser la continuité de ces processus géologiques, leur mise en jeu simultanée, leur déploiement dans des dimensions spatio-temporelles en partie différentes. Ces élèves calquent la sédimentation sur l'accrétion/dérive. De ce fait, chacun de ces processus a un fonctionnement saccadé et les deux processus s'articulent dans un syncrétisme de temps et de causalité.

Le deuxième exemple étudié, à savoir l'explication de la répartition actuelle des volcans et des séismes confirme cette tendance spontanée des lycéens : les lycéens assimilent les plaques à des objets constitués (des choses) mobiles ; c'est parce qu'ils les considèrent de cette manière que la divergence de deux plaques provoque l'existence d'un trou océanique qui fait problème pour eux.

Le traitement par les élèves des problèmes d'accrétion/dérive et de sédimentation donne à voir du temps cyclique. Nous savons que ce temps a eu une fonction heuristique dans le développement des sciences de la Terre<sup>12</sup>. Il casse la linéarité de l'histoire simple et dégage du problème des origines. Nous pourrions donc penser que les élèves accèdent à une certaine complexité de mise en histoire. Mais il y a temps cyclique et temps cyclique : dans les productions des lycéens, il est organisé par l'entrecroisement de deux histoires simples ; chez les géologues, il est sous le joug de contraintes théoriques fortes (une relative uniformité d'état de la Terre par exemple). Il y a donc à réfléchir sur l'appropriation par les élèves de cette forme plus élaborée de temps cyclique. N'a-t-on pas là en effet une condition de possibilité d'introduction du principe méthodologique de l'actualisme, principe fondamental de la géologie ?

#### ***4.2. Il semble qu'il y ait des situations d'apprentissage plus propices que d'autres au dépassement des mises en histoire simples***

Ce sont notamment les situations où les élèves prennent en charge conjointement plusieurs problèmes ne se déployant pas dans une même échelle spatiale et où le temps des phénomènes marque différemment l'espace. La recherche d'une explication de la répartition des volcans et des séismes terrestres en est une. Le travail conjoint de ces problèmes oblige les élèves à remettre en cause des mises en histoire simples et les engage dans des problématisations tenues par des contraintes théoriques fortes et où des formes plus complexes du temps sont construites. C'est en conjuguant le travail de plusieurs problèmes que les lycéens évacuent le problème du trou océanique. Leur réflexion s'appuie sur l'idée (qu'ils ne remettent pas en question) que si les plaques convergent en certains endroits, elles s'écartent forcément en d'autres. Elle les porte à construire la nécessité d'un renouvellement des plaques et les engage dans une approche systémique du fonctionnement de la partie superficielle de la Terre :

---

<sup>12</sup> Les travaux de Hutton (1726-1797), par exemple, en témoignent.

les plaques ne sont plus des objets immuables et le temps linéaire de la petite histoire des plaques n'a plus lieu d'être.

#### **4.3. Le travail des problèmes a un effet boule-de-neige : il engendre d'autres problèmes vifs pour les élèves**

Le problème de l'intermittence des éruptions volcaniques n'apparaît pas d'emblée dans l'exemple de la recherche d'une explication à la répartition des volcans et des séismes. C'est du traitement d'autres problèmes qu'il émerge. Il en est de même du problème de la détermination des limites des plaques et de celui du devenir des continents lorsque les plaques se renouvellent. Nous ouvrons là sur l'articulation entre les problèmes de la géologie fonctionnaliste et ceux de la géologie historique. Nos deux cas appartiennent au champ de la première, mais ils orientent les élèves dans le domaine de la seconde. La propension des élèves à faire des histoires simples et leur recours à des postulats de la pensée commune sont alors autant d'obstacles à une construction d'une histoire avec un H de la Terre. Il reste donc d'autres formes de temps plus complexes à penser et à leur faire construire et articuler en sciences de la Terre : le temps long constructeur de phénomènes, la prise en compte de la contingence de l'histoire et la construction des nécessités historiques, les continuités et discontinuités temporelles et spatiales (Orange-Ravachol, 2003). Nous y travaillons et, en nous appuyant en particulier sur les travaux de Ricœur (1983) et Veyne (1971), nous poursuivons des approfondissements sur les récits et la problématisation historique. ■

### **BIBLIOGRAPHIE**

- ADAM J.-M. (1984). *Le récit*. Paris : PUF.
- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- BRUNER J. (1991). *Car la culture donne forme à l'esprit*. Paris : Eshel.
- BRUNER J. (2002). *Pourquoi nous racontons-nous des histoires ?* Paris : Retz.
- FABRE M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris : PUF.
- FRANCE : ministère de l'Éducation nationale (2000). Classe de première, sciences de la vie et de la Terre, série scientifique, enseignement obligatoire. BOEN, Hors-série n° 7 du 31 août 2000.
- GOHAU G. (1987). *Une histoire de la géologie*. Paris : Éd. Le Seuil.
- GOHAU G. (1990). *Les sciences de la Terre au XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles. Naissance de la géologie*. Paris : Albin Michel.
- HOOYKAAS R. (1970). *Continuité et discontinuité en géologie et biologie*. Paris : Éd. Le Seuil.
- JACOB F. (1981). *Le jeu des possibles*. Paris : Fayard.
- JUTEAU T. & MAURY R. (1999). *Géologie de la croûte océanique*. Paris : Dunod.
- ORANGE C. (2000). *Idées et raison : construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'éducation non publié, université de Nantes, Nantes.

- ORANGE C. (2002). Apprentissages scientifiques et problématisation. *Les sciences de l'éducation – pour l'ère nouvelle*, n° 35, vol. 1, p. 25-42.
- ORANGE C. & ORANGE D. (1995), Géologie et Biologie : analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *Aster*, n° 21, p. 27-49.
- ORANGE-RAVACHOL D. (2003). *Utilisations du temps et explications en sciences de la Terre par les élèves de lycée : étude dans quelques problèmes géologiques*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation non publiée, université de Nantes, Nantes.
- ORANGE D. (2004). Les interactions langagières en sciences de la vie et de la Terre au lycée : une aide à la problématisation ? *Actes du colloque « Faut-il parler pour apprendre ? »*, Arras, mars 2004. Cédérom, 9 pages.
- ORANGE-RAVACHOL D. (2005). Mise en histoire, problématisation fonctionnaliste et problématisation historique en sciences de la Terre chez les chercheurs et chez les lycéens. *Actes du 73<sup>e</sup> Congrès de l'ACFAS*, Chicoutimi (Canada), 9-13 mai 2005. 22 pages.
- ORANGE D. & GUERLAIS M. (2005). Construction de savoirs et rôle des enseignants dans une situation de débat scientifique à l'école élémentaire : comparaison de deux cas. *Actes du 5<sup>e</sup> Colloque International Recherche(s) et Formation*, Nantes, 14-16 février 2005. Cédérom, 10 pages.
- POMEROL C., LAGABRIELLE Y. & RENARD M. (2005). *Éléments de géologie*. Paris : Dunod.
- POPPER K. (1985). *Conjectures et réfutations*. Paris : Payot.
- RICOEUR P. (1983). *Temps et récit*. Paris : Éd. Le Seuil.
- VEYNE P. (1971). *Comment on écrit l'histoire*. Paris : Éd. Le Seuil.
- VIENNOT L. (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, n° 1, p. 13-27.