

PROBLÉMATISATION FONCTIONNALISTE ET PROBLÉMATISATION HISTORIQUE EN SCIENCES DE LA TERRE CHEZ LES CHERCHEURS ET CHEZ LES LYCÉENS

Denise Orange Ravachol

Cet article s'intéresse à la problématisation en sciences de la Terre. Ces sciences sont en tension entre un pôle fonctionnaliste et un pôle historique puisqu'elles s'emploient à la fois à expliquer le fonctionnement actuel de la Terre et à reconstituer son histoire. Dans le cadre de quelques problèmes géologiques, nous caractérisons la problématisation fonctionnaliste et la problématisation historique et nous questionnons leur articulation : le principe méthodologique de l'actualisme et la distinction événement/ phénomène prennent alors toute leur importance. Nous mettons en comparaison la problématisation des chercheurs et celle des lycéens. Ces approfondissements permettent d'avancer dans l'identification des difficultés des lycéens à construire des savoirs scientifiques en géologie.

en sciences
de la Terre...

C'est en nous plaçant dans le cadre théorique de la problématisation (M. Fabre & C. Orange, 1997 ; C. Orange, 2000, 2002) que nous nous intéressons à la construction des explications par l'élève en *sciences de la Terre*. Nos recherches, en effet, prennent en compte une nécessaire liaison entre explication et problème scientifique et elles questionnent la construction des problèmes, autrement dit la problématisation. Dans ce cadre théorique, l'activité scientifique se caractérise par la co-construction et la mise en tension d'un registre empirique, monde des données à expliquer ou à prendre en compte dans l'explication, et d'un registre des modèles, monde des constructions explicatives ayant valeur de solutions (Martinand, 1992). Cette approche tensionnelle conduit à dégager des raisons (des nécessités) qui contraignent les modèles explicatifs et leur confèrent un caractère apodictique.

...des problèmes
fonctionnalistes...

Les *sciences de la Terre* articulent un pôle fonctionnaliste et un pôle historique : en effet, ces sciences s'emploient tout à la fois à comprendre le fonctionnement actuel de la Terre (ce sont des sciences fonctionnalistes) et à reconstituer son passé (ce sont des sciences historiques) (D. Orange Ravachol, 2003). Nous pouvons ainsi y distinguer des problèmes fonctionnalistes, par exemple le problème de la répartition actuelle des volcans, et des problèmes historiques, comme le problème de la formation des chaînes de montagnes.

...et des problèmes
historiques

Les buts poursuivis dans cette contribution sont les suivants : Établir et discuter les caractères de la problématisation en *géologie fonctionnaliste* et en *géologie historique*. G. Gohau (1997) écrit que le principe de l'actualisme lie ces deux pôles ; la place et le rôle de l'actualisme dans la problématisation en *sciences de la Terre* méritent donc d'être étudiés.

caractériser
la problématisation
en géologie

Étudier les difficultés des lycéens à problématiser en *sciences de la Terre*. Nous allons porter attention aux explications que produisent, d'un côté les chercheurs actuels et de l'autre les lycéens. Il s'agit d'analyser leurs explications pour accéder aux nécessités qu'ils construisent et pour dégager le rapport au temps qu'ils entretiennent. Trois problèmes nous servent ici d'appuis : le problème du volcanisme des zones de subduction (problème fonctionnaliste) ; le problème des ophiolites ; et le problème de l'origine de la vie (problèmes historiques).

1. PROBLÉMATISATION FONCTIONNALISTE EN GÉOLOGIE

un exemple
de problème
en géologie
fonctionnaliste

En *sciences de la Terre*, les chercheurs et les élèves prennent en charge des problèmes fonctionnalistes. Ce sont les problèmes qui concernent le fonctionnement actuel du système Terre ou de ses parties. La recherche d'une explication au volcanisme des zones de subduction (Andes, Japon, Antilles) en est un exemple. Nous l'étudions à ce titre, mais aussi parce qu'il prend place de manière récurrente dans les programmes récents des classes scientifiques du lycée : classe de première S (élèves de 16-17 ans) pour les programmes de 1992 et classe de terminale S (élèves de 17-18 ans) pour les programmes de 2001. Voyons d'abord en quoi consiste la problématisation des chercheurs, avant d'entrer dans celle des lycéens.

1.1. Le problème du volcanisme des zones de subduction du point de vue des chercheurs

Dans le cadre théorique actuellement admis de la tectonique des plaques, les zones de subduction correspondent à des zones superficielles de la Terre où une plaque lithosphérique plonge sous une autre plaque lithosphérique : ainsi, à l'Ouest du Chili, la plaque de Nazca s'enfonce sous la plaque supportant l'Amérique du Sud. Ce qui pose problème aux scientifiques, dans le volcanisme de ces zones, n'est pas tant la remontée du magma que sa formation. Car les plaques en jeu sont solides comme le manteau asthénosphérique sur lequel elles reposent et dans lequel elles s'enfoncent. Les géologues actuels apportent à ce problème la solution suivante : à l'aplomb des édifices volcaniques, il y a production de magma par fusion partielle du manteau (péridotite) sous les actions conjuguées d'une température et d'une pression lithostatique assez élevées ainsi que d'une certaine pression en eau (une eau issue de la déshydratation de la plaque plongeante). En termes de problématisation, les chercheurs construisent un espace de contraintes par la mobilisation et la mise en tension de plusieurs éléments :

- 1) l'existence de volcans dans les zones de subduction.
- 2) la nature solide du manteau révélée par la sismologie.

3) l'évaluation de la température au niveau de la plaque plongeante.

4) la liaison entre la fusion et des paramètres comme la température, la pression, des fondants.

solution...

Tous ces éléments n'ont pas le même statut épistémologique mais, dans le contexte problématique du magmatisme des zones de subduction, ils ne sont pas questionnés en tant que modèles : ils appartiennent au registre empirique (J.-L. Martinand, 1992), même s'ils participent d'une phénoménologie savante (1). La prise en compte de ces éléments de base se traduit par des mises en relation et certaines d'entre elles débouchent sur des nécessités : ainsi, la combinaison de 1) et 2) engendre-t-elle la nécessité d'une production locale de magma ; et la mise en jeu de 3) et de 4) ouvre-t-elle vers la nécessité d'un mécanisme faisant baisser la température de fusion des roches, et plus précisément à la nécessité de fondant(s). Le modèle explicatif exposé dans le paragraphe précédent est une solution réalisant ces nécessités.

...et espace
des contraintes
des chercheurs

Le schéma de la figure 1 donne une idée de l'espace des contraintes (C. Orange, 2000) des chercheurs. Sans rendre compte totalement du dynamisme de sa construction, il résume les mises en tension établies entre registre empirique et registre des modèles et il les situe dans un cadre de références explicatives que C. Orange (1997) a nommé registre explicatif. Dans notre exemple, la problématisation des chercheurs s'effectue dans un cadre mécaniste au sens large : elle se réfère en effet aux comportements de la matière (ses variations d'état, les caractères de la fusion partielle) parfaitement expliqués par la physico-chimie.

Étudions maintenant la problématisation de lycéens confrontés au problème du volcanisme des zones de subduction.

1.2. Le problème du volcanisme des zones de subduction du point de vue des lycéens

Dans une classe de première S (programme de 1992 (2)), où les aspects globaux de la théorie de la tectonique des plaques (accrétion, subduction, collision ; état du manteau) ont été travaillés, le professeur a demandé aux élèves, répartis en groupes, d'« expliquer à partir de quoi et comment se forme le magma des zones de subduction ». Cela a donné lieu à une production écrite (texte et schéma) suivie d'une confrontation des grands types de réponses. Ce débat a permis aux élèves de consolider la problématisation entamée en groupe :

– des propositions de groupes incohérentes avec les données théoriques ou empiriques ont été éliminées : c'est le cas d'un modèle mobilisant un magma issu de la base du manteau.

(1) C. Orange (2000) propose la règle suivante pour situer un élément du problème dans le registre empirique : « il n'est pas explicatif pour le problème en question et, s'il peut être incertain, il est non problématique (c'est-à-dire qu'il est éventuellement questionné en vrai/faux, mais pas en possible/nécessaire) ».

(2) Ce problème relève maintenant du programme de la terminale S.

- des nécessités ont été construites et la classe s'est accordée sur un modèle commun provisoire : c'est le haut de la plaque plongeante qui fond grâce au rôle déterminant de la température. Les élèves expliquent cette augmentation de la température soit par le gradient géothermique, soit par le frottement des deux plaques, soit encore par la pression exercée par la plaque qui plonge. Ces modèles ne correspondent pas au modèle savant actuel.

solutions...

Intéressons-nous plus précisément à ce moment d'apprentissage, en nous appuyant sur deux propositions explicatives de groupes et sur les échanges qui ont accompagné leur présentation.

- Pour le groupe 1, c'est l'augmentation de la température occasionnée par le frottement des plaques qui provoque la formation locale de magma (solution du groupe 1) : « *Ben, là, le magma, il est formé grâce au frottement des deux plaques. Quand celle-là, elle passe près de... en dessous de celle-là, ça frotte, ça réchauffe la roche. Et ça crée du magma qui s'entasse ici. Et par le... les séismes, ça crée des fissures et ça permet au magma de remonter et de former les volcans à la sur... à la surface. Voilà.* ».
- Pour le groupe 2, la plaque plongeante rencontre en s'enfonçant des conditions de température plus élevées, ce qui détermine sa fusion locale (solution du groupe 2) : « *En fait, c'est la plaque en descendant, elle arrive à une certaine profondeur. Et y-a une température qui est importante alors ça fond. Et puis ça fait du magma et puis ça remonte.* ».

...et espace
des contraintes
des lycéens

Les groupes 1 et 2 construisent et mettent en tension un registre empirique et un registre des modèles. Sur quels éléments empiriques s'appuient-ils ? Les deux groupes prennent en compte trois éléments : l'existence de volcans dans les zones de subduction (1), la nature solide du manteau (2), la liaison entre la fusion et la température (3).

Comme l'a montré C. Orange (2000), ces éléments sont combinés pour produire des contraintes sur les modèles : les points 1 et 2 conduisent à la nécessité d'une formation locale de magma ; le point 3 amène alors à chercher un mécanisme d'augmentation locale de la température. Le frottement des plaques comme l'existence de zones plus chaudes en profondeur réalisent ces nécessités. Les solutions proposées par ces deux groupes sont différentes tout en correspondant à une problématisation proche.

La situation d'explicitation et d'argumentation qui fait suite à la présentation du groupe 2 permet d'ajuster l'espace des contraintes. En effet, après que le groupe 2 a exposé son modèle, le professeur s'étonne du fait que la fusion se cantonne à la zone de la plaque plongeante, sans concerner ses abords proches où la température est sans doute élevée. Cela met les élèves dans un embarras qu'ils dépassent en faisant référence aux différentes roches en jeu. En mobilisant ces nouvelles contraintes empiriques, ils construisent l'impossibilité de la fusion de la péridotite, autrement dit la nécessité de fusion du basalte et des gabbros. La classe construit donc

Figure 1. Problème du volcanisme des zones de subduction : espace des contraintes des chercheurs (d'après C. Orange, 2000)

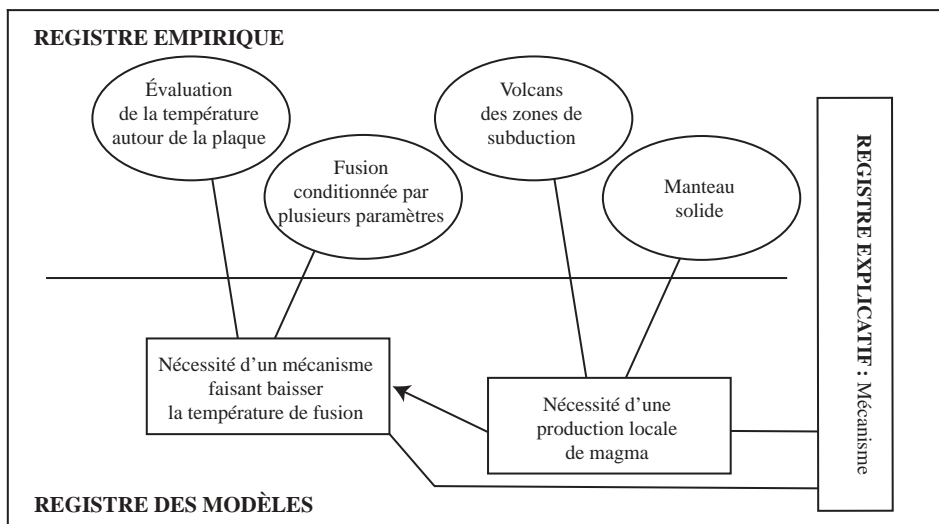
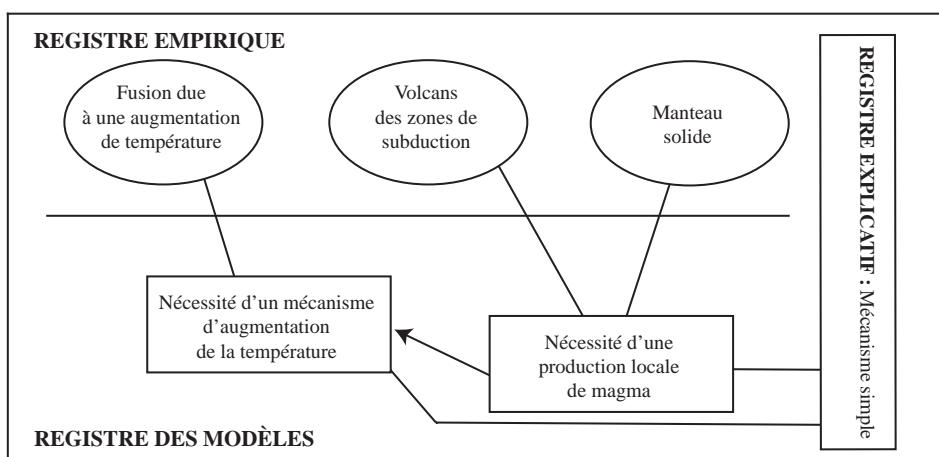


Figure 2. Problème du volcanisme des zones de subduction : espace des contraintes des élèves d'une classe de première S



la nécessité de la fusion d'une partie des roches de la plaque plongeante (3).

La figure 2 présente l'espace des contraintes construit par la classe de première S étudiée.

1.3. Comparaison de la problématisation des chercheurs et de celle des lycéens

Au terme de cette étude sur la construction d'un problème fonctionnaliste, le problème du volcanisme des zones de subduction, tentons une comparaison entre la problématisation des chercheurs et celle des élèves. C'est une façon d'identifier et d'expliquer les difficultés des élèves.

entre
la problématisation
des chercheurs...

On peut dire d'emblée que la problématisation des élèves se démarque de celle des scientifiques tant au niveau des espaces des contraintes construits qu'au niveau des solutions proposées. Ainsi, quand les élèves en arrivent à la nécessité d'un « *mécanisme d'augmentation de la température* », les chercheurs construisent celle d'un « *mécanisme abaissant la température de fusion* ». On peut rapporter ces écarts à la composition du registre empirique des uns et des autres : le registre empirique des élèves est moins fourni que celui des chercheurs et les conduit dans une problématisation du sens commun. Mais ce n'est pas tout. Les différences tiennent vraisemblablement aux formes d'explication, donc aux registres explicatifs, dont chercheurs et lycéens disposent. Nous avons montré (D. Orange, 2003) que spontanément, les élèves usent d'une forme d'explication qui est la « mise en histoire ». Cela leur permet de faire fonctionner « à moindre coût » un système physico-chimique complexe et de s'accommoder d'un registre empirique fragmentaire. En revanche, cela peut constituer un obstacle à la construction de certaines nécessités pesant sur le modèle.

...et celle
des lycéens...

Cette étude montre aussi que mettre uniquement l'accent sur les solutions au problème, c'est risquer de diagnostiquer chez les élèves une hétérogénéité qui n'est peut-être qu'illusoire : dans notre exemple, des modèles explicatifs différents cachent en effet une problématisation comparable, construisant la nécessité d'une fusion locale et celle d'un mécanisme élevant localement la température.

...des écarts
à plusieurs
niveaux

1.4. Conclusion

Les réflexions que nous avons tenues précédemment concernaient la problématisation en *géologie fonctionnaliste*. Nous pouvons nous demander maintenant en quoi elles sont pertinentes en *géologie historique*. Autrement dit, la problématisation historique prend-elle la même forme que la problématisation fonctionnaliste ? De plus, dès lors que nous nous préoccupons du passé de la Terre, le temps

(3) Cette problématisation est non conforme au savoir actuel, comme nous le verrons plus loin.

semble se montrer plus ouvertement qu'en *géologie fonctionnaliste*. De quelle manière intervient-il dans la problématisation historique ? Sa mise en jeu se limite-t-elle à des problèmes de chronologie et de durée ?

2. ÉLÉMENTS POUR PENSER LA PROBLÉMATISATION HISTORIQUE EN GÉOLOGIE

La *géologie historique* cherche donc à reconstituer, à ordonner entre eux et à comprendre des phénomènes et des événements qui se sont produits dans le passé de la Terre. En nous référant aux travaux de l'historien de la géologie G. Gohau et du paléontologue S.J. Gould, nous parvenons à l'idée que la compréhension de la problématisation historique doit gagner à questionner le principe méthodologique de l'actualisme et à faire la distinction entre événement et phénomène.

articuler
la géologie
fonctionnaliste...

G. Gohau (1997) écrit que « *La géologie a pour objectif d'étudier à fois les phénomènes se produisant actuellement à la surface de la terre, ou dans ses parties superficielles, et l'histoire de notre globe* ». Il lie donc la *géologie fonctionnaliste* (G. Gohau parle de *géologie dynamique*) et la *géologie historique* et il précise que ce qui les articule est un principe dit *principe des causes actuelles* (encore appelé *principe de l'actualisme*).

...et la géologie
historique

S.J. Gould (1991) écrit quant à lui que les sciences historiques comme la géologie « *tentent d'expliquer ou de reconstruire des événements extrêmement complexes qui n'ont pu, en principe, se produire qu'une seule fois* » (S.J. Gould, 1999). Il met donc en valeur la notion d'événements, souligne leur singularité et le fait qu'ils ne sont pas donnés mais construits.

Les approfondissements suivants visent à fournir des repères pour caractériser la problématisation historique que nous étudierons ensuite plus précisément dans deux cas.

2.1. Phénomène et événement

Prenons un exemple du volcanisme actuel, le volcanisme de la Montagne Pelée, en lien avec le volcanisme des zones de subduction étudié dans notre première partie. Perceptible par l'homme dans ses dimensions spatiale et temporelle, il prend deux significations, celle du « fait » singulier ou celle du « fait » général :

« fait » singulier
ou « fait » général

Pris dans son individualité spatiale et temporelle, par exemple sous l'angle de l'éruption meurtrière de 1902, le volcanisme de la Montagne Pelée est un « fait » singulier ou événement. Son explication va chercher à comprendre pourquoi il s'est produit une éruption à cet endroit, à ce moment, avec ces caractéristiques. C'est un problème de science historique.

questionner
la distinction
entre événement
et phénomène

En revanche, le volcanisme de la Montagne Pelée peut être considéré comme une des manifestations du volcanisme des zones de subduction, comme le sont aussi celui du Mont Saint Helens aux États Unis et celui du volcan Pichincha dans les Andes. Il n'est pas alors étudié dans sa singularité. Au contraire, il a un caractère répétable dans l'espace (d'autres sites présentent un volcanisme comparable) ou dans le temps (ce type de volcanisme se manifeste sporadiquement), derrière lequel l'explication cherche des invariants cachés, des régularités. L'activité de la Montagne Pelée, comprise comme du volcanisme de zone de subduction, prend le statut de phénomène (4). Son explication relève d'une *géologie fonctionnaliste*, où le temps est un paramètre ordinaire.

Sur l'exemple d'un objet géologique (le volcanisme des zones de subduction (5)), nous remarquons que le temps et l'espace peuvent jouer différemment, selon que le chercheur (novice ou expert) considère l'objet géologique comme phénomène ou comme événement. La distinction événement/phénomène est de première importance, tant du côté de la *géologie fonctionnaliste* que de la *géologie historique*, et nous pouvons faire l'hypothèse que la problématisation n'a pas les mêmes caractéristiques selon que l'on travaille sur un phénomène ou sur un événement.

2.2. La question des traces

Si nous mettons en relation les finalités et les caractéristiques de l'explication historique, nous sommes orientée vers deux recherches :

- la construction d'événements ou de phénomènes anciens qui ont marqué la Terre et qui peuvent « expliquer » des états actuels ;
- l'explication de ces événements ou phénomènes.

Ce qui sert fondamentalement, ce sont les archives de la Terre, les traces vues comme des résultats de ces phénomènes ou événements. Mais pourquoi paraissent-elles être dignes d'intérêt ? Vraisemblablement parce qu'elles s'intègrent dans le cadre problématique du chercheur ou de l'élève (F. Jacob, 1981). C'est dans le cadre problématique du volcanisme que certains édifices volcaniques du Massif Central sont mis en correspondance avec des édifices volcaniques actuels ; il en est de même pour les *pillow lavas* du Chenaillet.

construire
les traces

-
- (4) L'historien P. Veyne (1971) écrit que « *Ou bien les faits sont considérés comme des individualités, ou bien comme des phénomènes derrière lesquels on cherche un invariant caché* ». Les premiers intéressent pour eux-mêmes : ce sont des événements ; les seconds, répétables, sont un prétexte à découvrir une loi.
- (5) On pourrait tenir la même réflexion sur un exemple appartenant au passé de la Terre : la discontinuité faunistique et floristique de la limite Crétacé/Tertiaire. Elle peut être référée à une crise biologique (un phénomène) comme il y en eut d'autres dans l'histoire de la Terre. Ou bien, elle peut être considérée comme une crise biologique particulière (un événement) de cette époque.

Ces exemples montrent, comme nous l'avions relevé en *géologie fonctionnaliste*, que le registre empirique de la *géologie historique* est composite puisqu'il peut relever d'une phénoménologie commune (les cônes volcaniques aériens) ou d'une phénoménologie savante (les *pillow lavas* comme produits d'un volcanisme aquatique). D'autre part, nous remarquons que des éléments de ce registre participent d'un questionnement du fonctionnement terrestre à une époque donnée de son histoire (à telle époque, quels types de volcanisme par exemple ?). C'est donc que l'histoire de la Terre peut se comprendre, au moins par morceaux, dans le cadre d'une *géologie fonctionnaliste*.

2.3. La question de l'actualisme

Tous les géologues ont vu un recours nécessaire à la nature actuelle et à l'observation de ce qu'il s'y passe pour tenter d'interpréter les traces de ce passé. Devant des archives « muettes », le géologue a-t-il d'autres moyens pour construire une histoire de la Terre s'affranchissant des géogonies et relevant du domaine de la science (R. Hooykaas, 1970) ? On désigne là la forme méthodologique de l'actualisme : les phénomènes à l'origine des changements géologiques passés (leurs causes géologiques) ont existé et existent encore dans la nature actuelle. L'utilisation de ce principe n'est pas sans soulever des difficultés : le présent joue un rôle complexe et ambigu, puisqu'il est à la fois ce que l'on explique (le présent est le résultat de l'Histoire) et ce qui peut servir à expliquer (les causes encore agissantes permettant de reconstituer cette Histoire). De plus, les causes actuelles ne paraissent pas évidemment suffisantes pour comprendre certains phénomènes géologiques (la formation des chaînes de montagnes par exemple) : n'est-il pas alors plus tentant de recourir à des causes différentes en nature ou en intensité, autrement dit à du catastrophisme (6) ? Enfin, les méthodes étant étroitement liées à leur contexte d'utilisation (G. Canguilhem, 1983), nous pensons que l'idée que l'on se fait de l'évolution de la Terre au cours des temps géologiques contraint l'utilisation du principe méthodologique de l'actualisme : si l'on admet par exemple que la Terre a évolué depuis sa formation, n'est-il pas raisonnable d'envisager des causes anciennes d'une autre nature, sans qu'elles soient forcément d'une autre intensité que les causes actuelles ?

Ces considérations nous ont poussée à approfondir les dimensions de l'actualisme et à étudier ses relations avec les explications historiques (D. Orange Ravachol, 2003). Dans l'état actuel de nos recherches, nous mettons en valeur deux niveaux du principe méthodologique de l'actualisme.

clarifier
les différents
niveaux
de l'actualisme

(6) Il s'agit d'un catastrophisme méthodologique immédiat, mettant en jeu une cause *ad hoc* brutale, qui est soit une cause actuelle plus forte soit une cause sans équivalent actuel.

**• L'actualisme de premier niveau
(actualisme d'analogie)**

un actualisme
d'analogie...

L'actualisme de premier niveau ou *actualisme d'analogie* consiste à référer la trace de phénomènes ou d'événements passés à une trace actuelle, cette dernière renvoyant à un phénomène actuel dont le fonctionnement est connu. Prenons un exemple : les *pillow lavas* du Chenaillet sont lues comme des structures comparables aux *pillow lavas* actuelles des dorsales médio-océaniques. Nous pouvons observer la formation des *pillow lavas* actuelles par refroidissement d'un magma basaltique en milieu aquatique.

L'explication des *pillow lavas* anciennes est une explication historique qui se ramène à un problème fonctionnaliste actuel que l'on transfère dans le passé. C'est donc une explication fonctionnaliste, mais avec déplacement, via le temps, d'un registre empirique à un autre.

**• L'actualisme de deuxième niveau
(actualisme à temps long)**

L'actualisme de deuxième niveau ou *actualisme à temps long* consiste à référer la trace d'événements ou de phénomènes passés aux traces d'un phénomène actuel qui n'en est pas l'exact équivalent. Pour obtenir la trace passée telle que le géologue l'identifie, il est nécessaire d'envisager un processus de transformation s'exerçant sur une longue durée.

...et un actualisme
à temps long,
constructeur
de phénomène

Prenons l'exemple d'une surface structurale gréseuse cambrienne avec *ripple marks* (marques en ride) comme on en trouve à la Hague (M. Bournérias *et al.*, 1984). Ces rides ont une forme en tout point comparable à celles qu'on observe actuellement sur le sable des zones intertidales, sur le fond marin ou encore dans le lit d'un cours d'eau : ce sont des figures de courants. La formation de ces *ripple marks* peut être exportée au passé, sans qu'il soit possible de préciser la profondeur du dépôt par l'identification des seuls *ripple marks*. Nous sommes sur de l'*actualisme d'analogie*. Cependant, celles que l'on trouve sur la roche cambrienne sont indurées : les grains de sable sont soudés et les rides sont complètement figées en un ensemble rocheux compact. Nous n'observons pas cette transformation, nommée diagenèse, dans sa totalité à l'échelle du temps humain.

L'explication d'un banc gréseux à *ripple marks* est une explication historique qui se ramène à un problème fonctionnaliste et à la mobilisation d'un temps long.

**• De l'actualisme de 2^e niveau au catastrophisme
de 2^e niveau**

Prenons maintenant l'exemple des formations sédimentaires de la fin du Crétacé et du début du Tertiaire. Leur contenu faunistique et floristique présente une discontinuité. De nombreux affleurements de cette limite ère Secondaire/ère

un catastrophisme
simple

Tertiaire sont maintenant bien connus de par le monde, et des corrélations à distance sont faites. Comment expliquer cette trace du passé ? Avec quelle utilisation de l'actuel ? Il n'y a rien de comparable dans la période actuelle en termes d'extinction massive d'espèces en un temps court, ce qui permettrait de recourir à de l'actualisme d'analogie. Est-il alors possible de recourir à de l'actualisme de 2^e niveau ? Ce serait penser que l'ampleur des extinctions est rapportée à un phénomène encore en vigueur actuellement et qui se déploie sur une assez grande durée. Mais avec l'ensemble de plus en plus étoffé des traces anciennes de l'époque, et surtout avec l'encadrement temporel de plus en plus précis de cette discontinuité, qui borne un intervalle de temps géologiquement court, il paraît difficile aux géologues de raisonner sur la base d'un actualisme de 2^e niveau avec du temps long. Une catastrophe est alors convoquée, qui s'exprime dans deux solutions possibles : un impact météoritique (l'équipe américaine de L. & P. Alvarez) ou encore un épisode volcanique en Inde, intense et soutenu sur quelques dizaines à quelques centaines de milliers d'années (l'équipe française de V. Courtillot).

Il ne s'agit pas d'un catastrophisme immédiat, de 1^{er} niveau, qui consisterait à convoquer une cause extraordinaire adéquate, mais bien d'un catastrophisme de deuxième niveau, parce qu'il est sollicité après que les outils des deux actualismes méthodologiques ont été employés.

2.4. Conclusion

un catastrophisme
de 2^e niveau

En résumé, les géologues, par la mise en jeu de l'actualisme méthodologique sous toutes ses formes, et dans certains cas du catastrophisme de deuxième niveau, transforment des problèmes de la *géologie historique* en problèmes de la *géologie fonctionnaliste* : l'actualisme d'analogie transpose de l'actuel sur un tronçon passé de la flèche du temps ; l'actualisme de deuxième niveau (*actualisme à temps long*) procède de même mais il étire temporellement le processus en jeu dans le cours de l'Histoire. L'actualisme de 2^e niveau s'oppose au catastrophisme immédiat (catastrophisme de 1^{er} niveau) et construit la nécessité d'un temps long créateur.

Intéressons-nous maintenant à un cas de problème historique, la mise en place des ophiolites, et étudions notamment la place de l'actualisme méthodologique dans sa construction, chez les chercheurs comme chez les lycéens.

3. UN PREMIER EXEMPLE DE PROBLÉMATISATION HISTORIQUE EN GÉOLOGIE : LA MISE EN PLACE DES OPHIOLITES

un cas
de problématization
en géologie
historique

On trouve des ophiolites au sein de nombreuses chaînes de montagnes. Depuis une trentaine d'années, les géologues les définissent comme un assemblage de roches magmatiques constitué de péridotites plus ou moins serpentinisées, de gabbros, de basaltes en *pillow lavas* qui complètent des sédiments siliceux ou radiolarites (A. Nicolas, 1990). Dans le cadre de la théorie de la tectonique des plaques, ils les considèrent comme des lambeaux de lithosphère océanique charriés sur de la lithosphère continentale (obduction) : ils conçoivent une formation de ces roches relevant du magmatisme d'une dorsale et leur charriage sur une marge continentale en rapport avec des phénomènes tectoniques.

Nous nous sommes intéressée plus précisément au problème des ophiolites du Chenaillet : il s'agit d'un exemple étudié dans le cadre du programme de géologie du lycée (première S, programme de 1992 ; terminale S, programme de 2001). Notre étude de la construction de ce problème par les chercheurs s'appuie sur le compte rendu de l'entretien que nous a accordé, en 2001, le tectonicien A. Michard, dont une partie des travaux porte sur les massifs ophiolitiques (D. Orange Ravachol, 2003). L'étude de la problématization des lycéens utilise les productions écrites de deux classes de première S obtenues avant apprentissage.

3.1. Le problème des ophiolites du point de vue des chercheurs

formation
des ophiolites

Pour expliquer le phénomène de la mise en place des ophiolites, un modèle prévaut actuellement dans la communauté des chercheurs : A. Michard nous dit en effet que « *La communauté scientifique actuelle dans son ensemble reconnaît une origine océanique aux ophiolites et admet que leur mise en place sur les marges continentales (obduction) se fait dans un contexte de subduction au sens large* ». Nous nous sommes attachée à retrouver les contraintes empiriques et les nécessités sur le modèle contraignant cette solution partagée. Les nécessités construites sont au nombre de trois.

• **Nécessité d'une formation des roches dans un contexte de dorsale océanique**

Certains « *prélèvements d'échantillons* », le « *prélèvement d'échantillons utiles pour faire du paléomagnétisme* » et l'« *étude des fossiles et des nanofossiles* » servent la nécessité d'une formation des roches. Nous remarquons qu'A. Michard ne nous parle pas explicitement de l'assemblage caractéristique de roches (serpentinites, gabbros, basaltes en coussins et roches sédimentaires). Peut-être est-ce sous-entendu dans les prélèvements

chez les
chercheurs...

d'échantillons. Il nous semble que le chercheur prend en compte cette contrainte dans ses investigations empiriques mais qu'il se positionne très vite au-delà de cette reconnaissance. Ceci est confirmé par la référence implicite aux basaltes utilisés pour faire du paléomagnétisme. En revanche, nous constatons un intérêt du chercheur pour les fossiles à toutes les échelles, de l'œil nu au microscope électronique. Les fossiles se trouvent dans les roches sédimentaires (radiolarites) associées aux roches magmatiques des ophiolites et dans les roches sédimentaires au sein desquelles ou sur lesquelles se trouvent les ophiolites. Il y a notamment des fossiles de faciès qui témoignent d'un milieu de vie particulier et permettent de reconstituer un paléoenvironnement.

• **Nécessité d'un charriage de lithosphère océanique sur une marge continentale**

...construction
de plusieurs
nécessités

C'est en rapport avec la nécessité d'un charriage qu'A. Michard nous donne le plus d'exemples de contraintes empiriques. Il y a les « *mesures de pendages* », la « *position des plans de schistosité et linéation* », la prise en compte « *des minéraux métamorphiques avec identification au microscope et à la microsonde* », le prélèvement d'« *échantillons orientés pour mieux comprendre les relations schistosité/métamorphisme* ». Tout se passe comme si la priorité était donnée à la compréhension des phénomènes tectoniques et métamorphiques en jeu dans ce contexte. Il est vrai que cette reconstitution est difficile, car quel que soit le type de massif ophiolitique ou plus globalement de formation d'une chaîne de montagnes, « *les processus de transformation de minéraux ou de création de structures n'ont pas été partout synchrones* » et qu'il y a à « *déjouer les pièges tectoniques tardifs qui cachent ce qui s'est passé* ».

• **Nécessité d'un changement de régime des mouvements (passage d'un régime de divergence à un régime de convergence)**

Cette troisième nécessité résulte des deux premières.

penser
un charriage
est toujours
difficile

En résumé, la problématisation de la mise en place des ophiolites par les chercheurs actuels se caractérise par la construction de trois nécessités dans le cadre théorique de la tectonique des plaques : la nécessité d'une formation conjointe des roches des ophiolites, celle de leur charriage sur une marge continentale et celle d'un changement de régime des mouvements des plaques. Les contraintes empiriques retenues sont nombreuses, diverses et sophistiquées, en ce sens qu'elles mobilisent un recueil et des moyens d'étude outillés. Nous notons la difficulté qu'ont les chercheurs à construire la deuxième nécessité. A. Michard nous rappelle d'ailleurs qu'« *historiquement, le concept de charriage s'est imposé avec difficulté. Il était encore discuté au*

début du *xx^e siècle* ». Et il ajoute qu'« *actuellement, certains chercheurs minimisent de tels déplacements* ». Nous interprétons la construction plus ou moins aisée des nécessités comme la marque de la mise en jeu des différents niveaux de l'actualisme précédemment définis.

• Mise en jeu de l'actualisme de premier niveau (actualisme d'analogie)

chez les
chercheurs...

Par nombre de leurs caractères pétrologiques et organisationnels, les ophiolites rappellent la lithosphère océanique, maintenant bien connue grâce aux études sismiques et aux explorations sous-marines. Ainsi les figures de *pillow lavas* (laves en coussins) que présentent les basaltes sont aisément mises en comparaison avec des structures équivalentes produites de nos jours au niveau d'une dorsale océanique, par solidification d'un magma en milieu aquatique. Par analogie à une structure actuelle dont nous connaissons l'origine, puis grâce à une projection dans le passé, il est possible d'imaginer l'existence et le fonctionnement d'une dorsale ancienne : l'explication de la formation des roches des ophiolites met en jeu, sans difficulté, de l'actualisme d'analogie ou actualisme de 1^{er} niveau.

• Mise en jeu de l'actualisme de deuxième niveau (actualisme à temps long)

...mise en jeu
des différents
niveaux
de l'actualisme

Le recours à l'*actualisme d'analogie* situe donc l'origine des ophiolites en milieu aquatique. Mais ce n'est pas dans un tel environnement que nous les trouvons : elles sont émergées et même souvent véritablement « perchées » au sommet de hautes chaînes de montagnes. Le problème est aussi d'expliquer cette position. Plusieurs solutions sont possibles : une régression marine postérieure à la formation des *pillow-lavas* (*hypothèse eustatique* qui consiste à envisager des mouvements du niveau marin) ou une surrection du fond océanique par le biais de mouvements de l'écorce terrestre (*hypothèse épirogénique* envisageant la montée de blocs crustaux ou *hypothèse orogénique et tectonique* mettant en jeu une construction de relief ou de structure). C'est l'*hypothèse orogénique et tectonique* qui est retenue par les scientifiques actuels, car il y a formation de reliefs mais également bouleversement de la disposition des formations rocheuses. Comment alors penser des mouvements faisant passer d'un fond océanique immergé à des ophiolites constituant des sommets de chaînes de montagnes ? Si l'on raisonne en actualiste, on recourt à un ou des processus actuels. Il est bien évident que l'on ne voit pas à l'échelle du temps humain des massifs se départir de l'eau qui les recouvre (régression marine) ou surgir jusqu'à atteindre une altitude élevée. Le géologue est conduit à penser de petites modifications dont la sommation sur une longue durée produit un grand effet. L'explication de la localisation atypique des ophiolites

emploi nécessairement l'actualisme de 2^e niveau (*actualisme à temps long*). La difficulté de son utilisation réside dans le fait que la nature actuelle n'offre que quelques images éparées (par exemple des zones de déformations compressives intra-océaniques) d'un film très long (l'obduction) que le géologue reconstitue mentalement.

construction
de la nécessité
du temps long,
producteur de
phénomène

La figure 4 présente l'espace des contraintes des chercheurs tel qu'on peut le construire en se basant sur les propos d'A. Michard. Dans le registre explicatif, nous plaçons les deux types d'actualisme. Leur mise en jeu, ainsi que la construction de la nécessité d'un temps long producteur de phénomène, distingue ce cas de problématisation historique d'une problématisation fonctionnaliste dans la dimension du temps humain.

3.2. Le problème des ophiolites du point de vue des lycéens

C'est à deux classes de première S que nous avons soumis le problème de la mise en place des ophiolites du Chenaillet. Deux documents ont été fournis aux élèves :

- une photographie du Chenaillet montrant un relief constitué de *pillow lavas* ;
- une coupe de la région présentant les différentes formations rocheuses et leur disposition ; cette coupe inclut le mont Chenaillet présenté sur la photographie (7).

Un petit texte complète ces documents. Il définit les ophiolites comme un assemblage de roches : basaltes, gabbros et serpentinites (roche dérivant de la péridotite) et il précise que les basaltes présentent des figures en coussins. Les laves en coussins ou *pillow lavas* sont les formes de refroidissement d'une lave basaltique en milieu aquatique. Des expéditions sous-marines ont filmé la production de telles structures au niveau de dorsales actuelles. Toutes les classes de première S auxquelles nous nous intéressons ont vu un court extrait d'un documentaire reprenant ces images. Quant à l'ensemble des roches ophiolitiques, il est comparable à celui d'un fond océanique actuel, dont l'organisation et la nature pétrologique sont connues des élèves. En fait, ce qui distingue les deux classes étudiées est en lien avec la tectonique : une classe ne dispose que d'une maîtrise des aspects globaux de la tectonique des plaques (accrétion, subduction, collision) ; l'autre dispose en plus de possibles tectoniques (plissements, failles) travaillés avant en classe. Notre réflexion s'appuie sur les productions écrites individuelles des élèves. Quelles nécessités construisent les élèves ? Quelle utilisation font-ils du principe méthodologique de l'actualisme ?

(7) Ces types de documents (notamment la coupe) sont relativement familiers des élèves. Ils ne doivent pas présenter de difficultés de lecture majeures.

On peut faire les deux constatations suivantes :

1) C'est aisément que les élèves de première S construisent la nécessité d'une formation conjointe des roches du Chenaillet. Tous reconnaissent dans les ophiolites un morceau de lithosphère océanique et expliquent ainsi la formation des différentes roches qu'on y trouve : l'*actualisme d'analogie* fonctionne bien.

2) En revanche, aucun élève n'entre dans la construction de la nécessité d'une obduction exigeant du temps long :

les lycéens
se limitent...

– Sans possible tectonique, les élèves font un recours marqué à l'*actualisme d'analogie*. Tout se passe comme si les lycéens multipliaient les analogies bien au delà de ce que font les chercheurs : comme ces derniers, ils réalisent des analogies de structures (*pillow lavas*, cortège de roches) ou de fonctionnement (le modèle de fonctionnement de la dorsale ancienne est celui d'une dorsale actuelle), mais ils s'écartent des scientifiques en reconnaissant dans le relief montagneux la forme d'une dorsale, et dans les failles qui hachent ce relief les structures distensives de la zone d'une dorsale. Les élèves se focalisent sur la formation des roches, dans un contexte environnemental pour partie immuable (fixité des reliefs et des conditions environnementales).

...à l'actualisme
d'analogie...

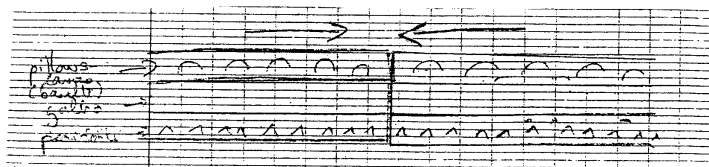
– Lorsque les élèves disposent de possibles tectoniques (plis, failles), leur explication prend en compte la formation des roches mais également leur position. Les solutions proposées se rapprochent de celles des chercheurs, mais nous remarquons que les élèves utilisent toutes sortes de possibles tectoniques pour obtenir l'organisation structurale du Mont Chenaillet. Prenons l'obliquité des formations rocheuses : certains élèves l'expliquent par des phénomènes de divergence, d'autres mettant en jeu de la convergence ; certains élèves la comprennent à une échelle locale, d'autres à une échelle globale. Tout se passe comme si les élèves se permettaient tout, sans règle ni contrôle. La production d'élève présentée sur la figure 3 l'atteste. L'élève propose, schémas à l'appui, une confrontation de deux parties de planchers océaniques. Elles sont de densité égale, ce qui empêche l'enfoncement de l'une sous l'autre. L'affrontement est tel qu'il provoque le plissement et la rupture des formations rocheuses : elles « *explorent* » et se réorganisent vers le haut à la manière des fleurs d'un bouquet.

Figure 3. Problème des ophiolites du Chenaillet : la réponse d'un élève de première S

" Le Mont Chenaillet observé comporte les 3 sortes de roches formant le plancher océanique, dans un ordre identique, sauf pour une couche de gabbro qui manque entre la péridotite et le basalte en coussins.

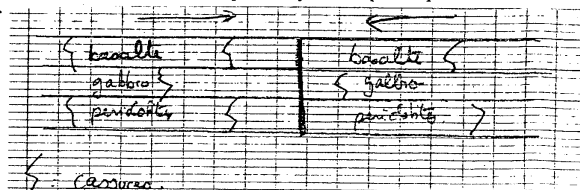
Vu la forme et la disposition des différentes strates, on peut penser qu'il y a eu modification dans la disposition de ces couches par un phénomène géologique...

Une confrontation entre deux parties de plancher océanique peut se dérouler ainsi :

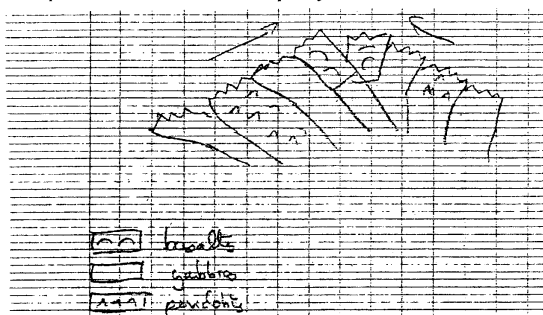


La confrontation des deux parties (de densité équivalente, puisque de même composition) crée des mouvements de compressions énormes (aucune ne passe dessus ou dessous l'autre).

Cette très forte compression fait onduler la roche petit à petit et provoque des cassure au niveau de chaque couche :



Les "blocs" brisés de chaque roche deviennent de plus en plus indépendants et le mouvement continu de compression les oriente alors plus facilement.



L'ordre reste celui de plancher mais peut aussi différer (voir gabbro de droite avec un mauvais emplacement).

L'érosion façonne les roches et forme la montagne lisse".

...et au
catastrophisme
simple

La tectonique des élèves est une tectonique de bricoleurs (C. Lévi-Strauss, 1962) : ils inventent avec les matériaux (fonds océaniques, plaques,...) et les outils dont ils disposent (rapprochement, écartement, affrontement, failles inverses, etc.) le montage du Chenaillet. Rien de la nature actuelle ne leur sert véritablement de référence, et la nécessité du temps long n'est pas construite. En d'autres termes, les élèves usent sans réserve du catastrophisme immédiat de 1^{er} niveau, et n'entrent pas dans une véritable construction de la durée des processus. Ils se contentent au contraire du temps de la « mise en histoire ».

Notons enfin que la nécessité d'un changement dans le régime de mouvement des plaques est construite par quelques élèves. Elle vient en conséquence de la construction de la nécessité d'une formation conjointe des roches en contexte océanique et de la nécessité de leur changement de position, mais semble indépendante de la construction du temps long créateur de phénomène.

La figure 5 fournit l'espace des contraintes d'un élève de la classe de première S n'ayant pas auparavant travaillé les possibles tectoniques (plissements, failles).

3.3. Conclusion

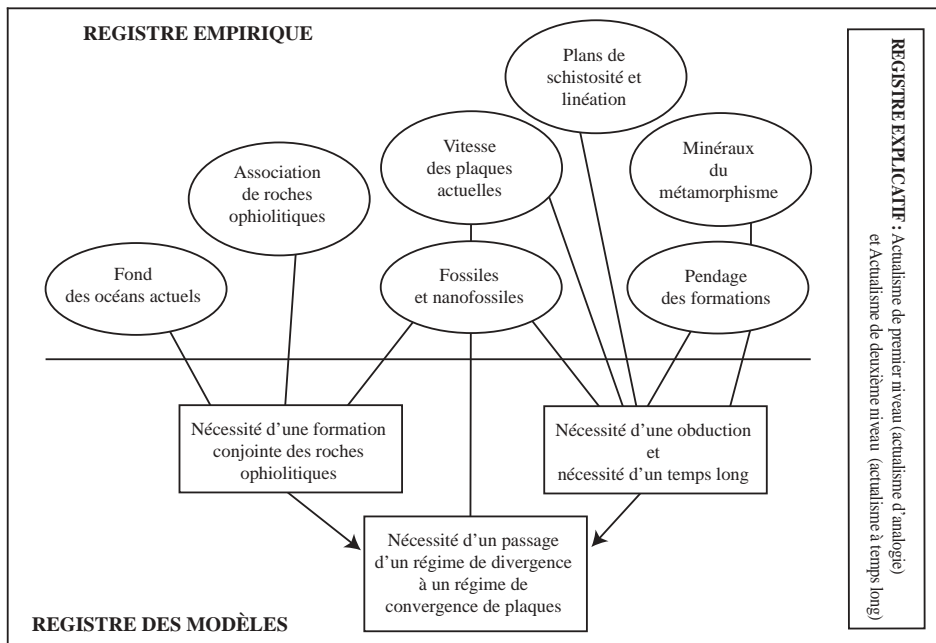
Le cas du problème historique des ophiolites met en jeu des phénomènes, c'est-à-dire des processus ayant une certaine généralité (volcanisme, tectonique, etc.). Sa construction, par la médiation du principe méthodologique de l'actualisme, s'apparente à une problématisation fonctionnaliste. Notre attention va maintenant se porter sur un autre cas de problème historique, où il est question de comprendre la survenue d'un événement historique. S.J. Gould insiste sur le rôle de la contingence dans la survenue des événements historiques : ce qui s'est passé aurait pu ne pas être. Or si, par l'actualisme, on arrivait à transformer totalement un problème historique en un problème fonctionnaliste, il n'y aurait pas de fonction particulière de la contingence dans les explications historiques.

4. DEUXIÈME EXEMPLE DE PROBLÉMATISATION HISTORIQUE EN GÉOLOGIE : L'ORIGINE DE LA VIE SUR LA TERRE

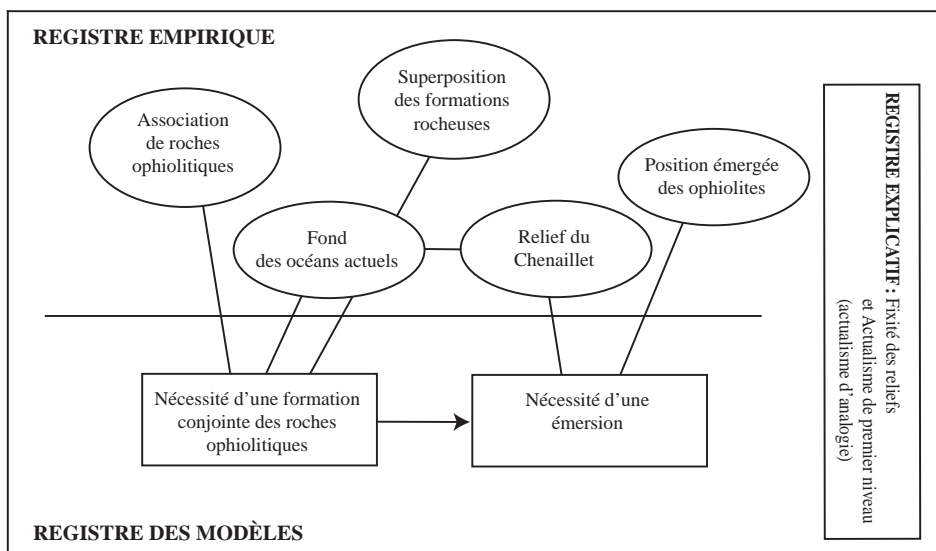
problématisation
historique
et construction
d'un événement

S. J. Gould alerte donc sur la complexité des événements et de leur production. Il met en avant le rôle de ce qui s'est fait avant l'événement étudié et accorde une place importante à la contingence. C'est cette réflexion sur la construction et la survenue des événements que nous tentons dans le cadre de l'explication de l'émergence de la vie sur la Terre. Comment

**Figure 4. Problème de mise en place des ophiolites :
espace des contraintes d'un géologue**



**Figure 5. Problème des ophiolites du Chenaillet :
espace des contraintes d'un élève de première S**



sont-ils construits ? Comment expliquer leur survenue ? Quelle forme donner aux explications et comment les prendre en compte dans la problématisation ?

4.1. Le problème de l'origine de la vie du point de vue des chercheurs

Les chercheurs actuels (comme le chimiste A. Brack qui nous a accordé un entretien en 2001 ; D. Orange Ravachol, 2003) comprennent l'origine de la vie terrestre comme un événement unique (ayant eu lieu à une seule période de l'histoire de la Terre) : elle s'est produite dans une fourchette de temps précise de l'histoire de la Terre, dans un contexte précis de la Terre primitive. En remontant l'histoire de la Terre, ils donnent à cet événement un caractère de nécessité dans le cadre évolutionniste où ils se placent : il y a forcément eu, à un moment donné de l'histoire de la Terre, apparition d'une vie terrestre ayant valeur d'ancêtre commun de toutes les formes actuelles et passées. En reprenant le cours de l'histoire de la Terre, ils confèrent à cet événement une certaine probabilité de se faire, certains le considérant même comme inévitable. Des scénarios moléculaires sont proposés, où le temps joue des rôles complexes, qualitativement et quantitativement. Ils sont autant de solutions dans un espace de contraintes dense et complexe. C'est ainsi que de nombreuses contraintes empiriques se situent au niveau moléculaire (composants des êtres vivants actuels, ribozyme, molécules organiques apportées par les météorites, etc.). Parmi les nécessités construites par des chercheurs comme A. Brack, citons notamment la nécessité d'un moment limité où l'apparition de la vie est possible, celle d'une première forme vivante particulière, celle d'un apport extra-terrestre de molécules organiques etc. Enfin, soulignons le degré d'élaboration du registre explicatif qui met en jeu l'actualisme dans ses deux niveaux mais également le matérialisme, l'évolutionnisme et le rejet de la panspermie.

construction
de la nécessité
de l'événement...

L'explication de l'origine de la vie est donc délicate :

- Il n'y a aucune trace directe de cette émergence.
- La possibilité de recourir à l'actualisme semble devoir être écartée globalement (événement unique). Pourtant il intervient, dans tous ses niveaux : *actualisme d'analogie* et de 2^e niveau pour se représenter les êtres vivants primordiaux, *actualisme d'analogie* de laboratoire (chimie prébiotique), *actualisme d'analogie* de terrain terrestre et extra-terrestre (repérage et étude des fumeurs noirs, exploration de planètes et de satellites naturels).
- Elle laisse la place à la contingence, ce qui la met dans un rapport particulier au temps. En effet, comme un certain nombre de chercheurs ne lui reconnaissent pas une probabilité de survenue totale, l'événement qu'est l'origine de la vie aurait pu ne pas être.

En résumé, il nous semble que la construction du problème de l'origine de la vie terrestre est l'objet d'un double enjeu : en faire un événement terrestre, par nature singulier dans le temps et l'espace, et non un phénomène, derrière lequel on chercherait des régularités ; établir les conditions de sa survenue en intégrant la contingence.

4.2. Construction et survenue d'un événement historique

...et mise en jeu de la contingence

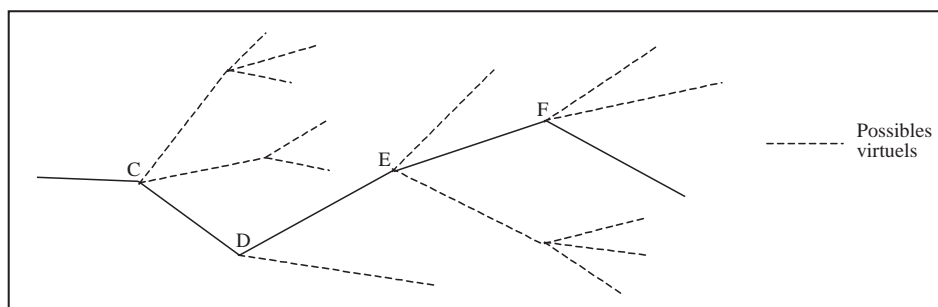
Lorsque S.J. Gould s'intéresse à la survenue d'un événement historique, il met en avant le rôle de ce qui s'est fait avant l'événement étudié. Il reconsidère les événements historiques dans une expérience de pensée qui consiste à rembobiner le film de l'Histoire et à le re-dérouler. Et il introduit la contingence : l'événement E (exemple : l'émergence de la vie terrestre il y a près de 4 milliards d'années) est contingent en ce sens qu'il dépend d'une séquence non déterminée d'états antécédents.

Prendre l'Histoire dans son cours, c'est se donner, à cause de la contingence, une infinité de parcours possibles et on n'est pas sûr d'obtenir la vie. Car à la place de chaque événement qui s'est produit, beaucoup d'autres auraient pu se faire. Tout se passe comme si le cours descendant de l'Histoire ouvrait sans cesse de nombreuses bifurcations, dont certaines nous échappent.

Parce que l'origine de la vie est prise comme un événement accompli, on recherche ses conditions de possibilités, vues comme des nécessités de l'Histoire ; mais à réemprunter le cours de l'Histoire, ces conditions ne sont que des conditions nécessaires mais pas suffisantes de sa survenue.

Le schéma de la figure 6 tente une représentation de la mise en jeu de la contingence selon S.J. Gould et de l'ouverture/fermeture des possibles de l'Histoire. Mettons en fonctionnement ce schéma avec l'exemple de l'émergence de la vie terrestre, événement noté E.

Figure 6. Contingence et possibles virtuels de l'histoire



construction
rétrospective...

...des nécessités
de l'Histoire

Nécessairement, l'événement E étudié est le résultat d'une seule chaîne événementielle antérieure : si E (l'émergence de la vie terrestre) s'est produit, c'est parce qu'un événement D s'est produit avant lui, événement D lui-même précédé des événements critiques (8) C, etc. Remonter l'Histoire, c'est prendre l'Histoire faite et il n'y en a eu qu'une. E ayant existé, cela veut dire que D, C, B et A ont nécessairement existé. En d'autres termes, E pris comme un résultat implique D. Dans notre exemple, si E est l'émergence des premières molécules auto-réplicatives, D serait la catastrophe biochimique ayant fait basculer d'un régime de réactions chimiques à un autre : on serait passé de réactions chimiques robustes, celles qui permettent la construction des briques élémentaires des premières molécules auto-réplicatives (et que la chimie prébiotique reconstitue) à une cascade de réactions chimiques conduisant aux premiers systèmes vivants. Mais D est seulement une condition de possibilité de E, de même que C est seulement une condition de possibilité de D, parce que si, après avoir « rembobiné » l'Histoire, nous la redescendons, il n'est pas sûr que nous obtenions le même film : D représente un point critique ouvrant vers de nombreux possibles. La survenue de D' au lieu de D aurait pu empêcher l'obtention de E ; et ce n'est pas parce que nous avons eu D (un changement de régime de réactions chimiques) que nous devons forcément obtenir E. En revanche, on voit que la survenue de E fait tomber une partie des possibles virtuels de l'Histoire envisagés pour D.

S.J. Gould marque donc la spécificité des sciences historiques par le fait qu'elles mettent en jeu la contingence. Au final, l'Histoire construite gagne et perd de son importance : elle en gagne parce qu'elle est unique ; elle en perd car elle est une parmi tant d'autres qui auraient pu exister. Les sciences historiques s'emploient à reconstituer les événements singuliers de l'Histoire, événements qui auraient pu ne pas se produire. Cela distingue la problématisation historique de la problématisation fonctionnaliste. Notons que pour le problème de l'origine de la vie, S.J. Gould (1991) écrit qu'elle fut quasiment inévitable compte tenu des conditions environnementales de la Terre primitive. Pour lui, ce côté inévitable ne tiendrait-il pas à la multiplicité des essais ? Ce serait alors un moyen de dépasser la contingence.

4.3. Le problème de l'origine de la vie du point de vue des lycéens

La communauté scientifique actuelle s'accorde pour dire qu'il n'y a pas toujours eu des êtres vivants sur la Terre et que leur apparition s'est faite il y a longtemps. Mais, de façon générale,

(8) « Critique » est ici pris dans le sens de : « ouvrant l'Histoire à plusieurs orientations ».

chez les lycéens... là s'arrêtent les ressemblances avec le point de vue de la plupart des lycéens. En effet, les chercheurs font de l'origine de la vie un événement nécessaire et relevant de nombreuses conditions dans le cadre évolutionniste où ils se placent. Les lycéens au contraire semblent banaliser l'origine de la vie : quand les conditions terrestres s'y prêtèrent, la vie est apparue ; ou encore ils l'esquivent au profit de l'histoire de la vie.

Prenant en compte ce constat, nous avons invité deux élèves de Seconde, Céline et Caroline, à un entretien (D. Orange Ravachol, 2003) visant à repérer des indices de leur problématisation. Cet entretien est déconnecté de l'enseignement (9). Mais il se passe après que nous avons demandé à tous les élèves de leur classe de préciser par écrit leurs conceptions sur l'origine de la vie. Céline et Caroline ont été choisies parce qu'elles pensent que la vie terrestre animale et végétale existe depuis toujours (ce que ne pensent pas les scientifiques) mais que l'une et l'autre ne construisent pas la même histoire de la biosphère. Pourquoi cette position, alors qu'elles savent que les scientifiques envisagent une origine ?

...des « mises en histoire »...

Dans l'entretien, Céline et Caroline disent rapidement les difficultés qu'elles ont à concevoir l'origine de la vie sur la Terre. Nous choisissons de les contraindre à y réfléchir. Voyons comment l'une et l'autre construisent ce problème :

Céline envisage une biosphère de tout temps fixe : par exemple, de tout temps, il y a eu des hommes, (Cé, 134) sur une Terre où la répartition des continents a changé mais qui a toujours ménagé des zones émergées (Cé, 307). Elle est fixiste « de force » : elle entend l'idée d'évolution mais elle ne peut se l'imaginer (Cé, 212) et elle est permanentiste « de force » : elle dit plusieurs fois sa difficulté à s'imaginer l'arrivée d'êtres vivants, mais aussi son impossibilité à trouver un début :

Cé(18)	<i>Y-a pas de début. Moi, j'arrive pas à le trouver le début (10), le point de départ, comment c'est venu.</i>
--------	---

Elle précise à notre demande sa façon de raisonner. Elle procède en remontant le temps :

Cé(20)	<i>Ben j'essaie de... C'est vrai que c'est assez compliqué. J'essaie de ve... de nous et puis de remonter un peu en arrière.</i>
P(21)	<i>Et tu trouves quoi, quand tu remontes ? Comme ça.</i>
Cé(22)	<i>Ben j'ai vraiment du mal à trouver quelque chose, en fait.</i>
P(23)	<i>Mais est-ce qu'il y a... Est-ce qu'il y a des choses plus sûres que d'autres ?</i>
Cé(24)	<i>Ben...</i>
P(25)	<i>Quand tu essaies de remonter.</i>

(9) L'origine de la vie terrestre est abordée dans le cadre du programme de terminale S (1994, 2001).

(10) Surligné par nous.

Cé(26)	<i>Ben y-a des choses... Pour moi y-a toujours... les végétaux, oui je suis sûre qu'ils ont toujours été... enfin bon... enfin je suis sûre... Pour moi, ils ont toujours existé. Mais les animaux, je sais pas comment... Parce qu'il faut qu'il y ait une reproduction mais pour qu'il y ait une reproduction, faut déjà qu'il y ait... qu'il y ait eu... Faut toujours qu'il y ait quelque chose en fait ! Donc c'est vrai que c'est assez...</i>
P(27)	<i>Faut toujours qu'il y ait quelque chose...</i>
Cé(28)	<i>Faut, faut... C'est comme nous, pour qu'on ait, pour qu'on ait pu être là, c'est que derrière bon, y-a eu nos parents, tout ça... mais au début ? Y-a bien... Pour qu'on arrive ? C'est vrai que c'est assez...</i>

Et un peu plus tard :

Cé(34)	<i>Je trouve encore, tout le temps des personnes mais à un moment où bon, ben, il doit y avoir quelque cho... A un moment, ça doit s'arrêter...</i>
--------	---

...et une banalisation
des événements

Céline construit l'histoire de la biosphère dans une régression à partir de l'actuel, en recourant à son expérience d'Homme : reproduction sexuée où il est impossible d'avoir des enfants sans parents ; obtention de plantes à partir de graines placées dans de bonnes conditions. Mais ce recul ne l'éclaire pas puisqu'il la place devant un choix impossible : accepter une série illimitée plongeant dans l'infini ou penser un commencement. Cela peut être l'un comme l'autre. De plus, si elle peut envisager un démarrage simple des plantes, il n'en est pas de même des animaux. Confrontée au contingent et à l'impossible, elle s'en remet à la permanence de la vie.

Caroline parle d'une évolution des êtres vivants à partir d'une forme initiale simple. Elle se place dans un cadre évolutionniste lamarckien où des êtres microscopiques (bactéries) se transforment au cours du temps en êtres vivants plus gros, plus complexes, et même en êtres vivants aériens quand l'eau s'est raréfiée au point de faire apparaître des continents.

Ca(14)	<i>Ben, moi, j'ai, j'ai vu des émissions mais je sais pas si c'est la vérité mais en fait c'était sous forme de bactéries au départ et... ben... ben... elles ont grandi quoi en fait et voilà, quoi, mais je sais pas si c'est vrai...</i>
--------	---

Plus tard dans l'entretien, elle précise :

Ca(187)	<i>Oui, enfin je sais pas mais... Ben c'est ce que j'ai vu à la télé donc c'est ce que j'ai pensé. Mais, je sais pas, sous forme de bactéries quoi en fait puis en fait après sont devenues des poissons et comme par exemple les ... j'ai vu dans un musée les amphibiens tout ça puis après comme y-avait moins d'eau, ils sont venus sur terre et ben voilà mais je sais pas si...</i>
---------	---

Contrairement à Céline, Caroline raisonne en descendant l'histoire de la vie, dans une sorte de métamorphose des êtres qui introduit de la complexité et qui néglige le temps. Mais elle est désarmée quant à l'origine des bactéries.

La discussion entre les deux élèves montre la prise en compte par Caroline d'arguments avancés par Céline. Céline dit que les végétaux seraient issus de graines ce qui conduit Caroline à remettre en cause l'origine bactérienne qu'elle leur donne – « j'avais marqué que c'était pareil [que les animaux],

mais en réfléchissant, c'est peut-être, oui c'est peut-être, son idée n'est peut-être pas mauvaise non plus » (Ca, 225) – et à fonctionner comme Céline, en se référant à ce qu'elle connaît de la germination actuelle (actualisme d'analogie).

Nous comprenons de tout cela que Caroline n'adhère pas fermement à une origine bactérienne et à une évolution des végétaux. Cependant, et comme Céline, elle a du mal à concevoir une origine végétale à partir de rien et elle dit l'impossibilité qu'ont les animaux à se maintenir sans végétaux (Ca, 157, 159).

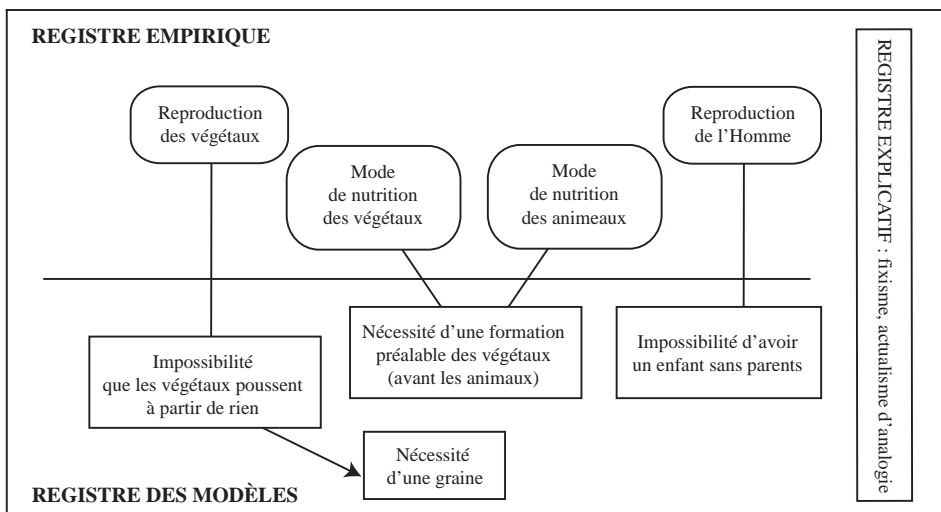
4.4. Comparaison de la problématisation des chercheurs et de celle des lycéens

Comme pour le problème des ophiolites, la mise en comparaison élève/chercheur attire l'attention sur le côté trompeur de solutions d'élèves conformes au savoir actuel. Dans un contexte problématique donné, l'élève pense parfois les bonnes solutions, mais il n'est pas sûr qu'il soit entré dans une problématisation comparable à celle des chercheurs. Pour le problème de l'origine de la vie, Caroline envisage un commencement avec des formes simples, une solution proche de celle des chercheurs et, comme eux, elle mobilise l'évolution des êtres vivants. Pourtant, sa problématisation de l'origine de la vie est faible à cause du peu de contraintes identifiées. Quant à Céline, ses conceptions paraissent plus éloignées de celles des chercheurs mais elle les tient mieux du fait d'une certaine épaisseur du registre empirique. La figure 7 fournit une reconstitution de l'espace des contraintes de cette élève confrontée au problème de l'origine de la vie sur la Terre.

solutions comparables...

...problématisations différentes

Figure 7. Problème de l'origine de la vie : espace des contraintes d'une élève de Seconde



freins
à la problématisation
historique

4.5. Conclusion

Dans la problématisation historique, il peut y avoir construction d'événements nécessaires par les conséquences qu'ils ont laissées. C'est dans une remontée de l'Histoire que sont donc construites les nécessités historiques. Mais, à redescendre l'Histoire, on ne peut que respecter l'incertitude de l'événement et de l'avenir. La tendance à la « mise en histoire » simple respectant le cours de l'histoire comme le fait Caroline est un frein à la problématisation historique. Il en est de même d'une itération régressive à partir de l'actuel gouvernée par des postulats de la pensée commune, comme s'y emploie Céline.

5. CONCLUSION GÉNÉRALE

Au terme de cette étude, sans prétendre avoir épuisé la réflexion, nous pouvons tenter un état des lieux de notre avancée dans la connaissance de la problématisation en *sciences de la Terre* et pointer les aspects problématiques pris en charge par nos recherches actuelles.

5.1. Problématisation fonctionnaliste et problématisation historique : une distinction pertinente ?

La problématisation historique a pour partie les caractéristiques d'une problématisation fonctionnaliste et pour partie des caractères propres, à savoir la construction des nécessités de l'histoire faite.

deux formes
de problématisation
proches...

En effet, c'est fondamentalement le principe méthodologique de l'actualisme dans ses deux niveaux (11) qui ramène la problématisation historique dans le champ de la problématisation fonctionnaliste. Sa mise en jeu est plus complexe qu'il n'y paraît : la distinction que nous avons faite (actualisme de premier niveau ou *actualisme d'analogie* et actualisme de deuxième niveau ou *actualisme à temps long* mettant en jeu un temps long constructeur de phénomène) est une façon d'entrer dans sa complexité. Nos investigations montrent comment il participe à la construction de phénomènes historiques nécessaires, notamment ceux que l'Homme ne perçoit pas dans l'espace du temps humain.

Il apparaît d'autre part dans l'état de nos recherches, que c'est par la prise en compte de la contingence et par la construction de nécessités événementielles rétrospectives que la problématisation historique se distingue de la problématisation fonctionnaliste. Ces nécessités sont construites dans

(11) Et le catastrophisme de deuxième niveau.

une sorte de causalité inverse. La remontée dans l'Histoire construit des événements historiques ayant valeur de nécessité par les conséquences qu'ils ont laissées (l'effet rend nécessaire certaines de ses causes). Mais à redescendre le temps, l'historien ne peut que respecter l'incertitude de l'événement et de l'avenir.

...mais qu'il
faut distinguer

La distinction entre problématisation fonctionnaliste et problématisation historique, somme toute indissociables en géologie, a donc une fonction heuristique : elle met en valeur la diversité des nécessités construites (nécessités sur le modèle, nécessité du temps long, nécessité de l'Histoire) ; elle ouvre sur une étude de la tension dialectique événement/ phénomène et sur un questionnement de la singularité toute relative de l'événement.

5.2. Difficultés des lycéens à problématiser en géologie

C'est dans le cadre d'un problème fonctionnaliste (le volcanisme des zones de subduction) et de deux problèmes historiques (la mise en place des ophiolites et l'origine de la vie sur la Terre) que nous avons étudié les caractères de la problématisation des lycéens. Où sont les sources d'écarts avec les chercheurs ? Où sont les principales difficultés des lycéens ?

dépasser
la mise en histoire
simple
et le catastrophisme
simple

Dans leur tendance à recourir à l'actualisme méthodologique de premier niveau (*actualisme d'analogie*) et dans le catastrophisme de premier niveau (mise en jeu d'une cause ad hoc brutale, qui est soit une cause actuelle plus forte, soit une cause sans équivalent actuel).

Dans leur tendance à expliquer sous la forme de « mises en histoire ». Cette manière de faire constitue un véritable obstacle à la problématisation en géologie : elle empêche notamment la construction de la nécessité du temps long producteur de phénomène et, en banalisant la notion d'événement, elle empêche la construction des nécessités historiques.

Nous poursuivons des approfondissements théoriques et didactiques, notamment en matière d'argumentation et de débats scientifiques, sur les conditions pour l'élève d'un dépassement de certaines formes de mises en histoire et d'une construction de véritables espaces de contraintes dans les problèmes géologiques.

Denise ORANGE RAVACHOL
IUFM des Pays de la Loire
CREN université de Nantes
denise.orange@paysdelaloire.iufm.fr

BIBLIOGRAPHIE

- BOURNERIAS, M., POMEROL, C., & TURQUIER, Y. (1984). *La Manche du Havre à Avranches*. Neuchâtel-Paris : Delachaux & Niestlé.
- CANGUILHEM, G. (1983). *Étude d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris : Vrin.
- FABRE, M., & ORANGE, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, 24, 28-38.
- GOHAU, G. (1997). Naissance de la méthode « actualiste » en géologie. In GOHAU, G., (dir.), (pp. 139, 149). *De la géologie à son histoire*, CTHS.
- GOULD, S.-J. (1991). *La vie est belle*. Paris : Seuil.
- GOULD, S.-J. (1999). La paléontologie : une fiction de nos origines. In *Qu'est-ce qu'on ne sait pas ? Les rencontres philosophiques de l'UNESCO*. Paris : Découverte Gallimard.
- HOOYKAAS, R. (1970). *Continuité et discontinuité en géologie et biologie*. Paris : Seuil.
- JACOB, F. (1981). *Le jeu des possibles*. Paris : Librairie Fayard.
- LEVI-STRAUSS, C. (1962). *La pensée sauvage*. Paris : Plon.
- MARTINAND, J.-L. (1992). Présentation. In *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. (pp. 7, 22). Paris : INRP.
- NICOLAS, A. (1990). *Les montagnes sous la mer*. Orléans : BRGM.
- ORANGE, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF.
- ORANGE, C. (2000). *Idées et raisons*. Mémoire de recherche pour l'H.D.R. Université de Nantes.
- ORANGE, C. (2002). Apprentissages scientifiques et problématisation. *Les Sciences de l'éducation-Pour l'ère nouvelle*, 35 (1), 25-42.
- ORANGE RAVACHOL, D. (2003). *Utilisations du temps et explications en sciences de la Terre par les élèves de lycée : étude dans quelques problèmes géologiques*. Thèse de Doctorat. Université de Nantes.
- ORANGE, D. (2003). Tendance à la « mise en histoire » par les élèves de lycée en sciences de la vie et de la Terre : étude de deux cas. In *Actes des 3^e Rencontres Scientifiques de l'ARDIST*. (pp. 239, 246). Toulouse.
- VEYNE, P. (1971). *Comment on écrit l'histoire*. Paris : Seuil.