

DU FIXISME À LA TECTONIQUE DES PLAQUES. ET POURTANT, ELLES BOUGENT...

Alain Monchamp
Marie Sauvageot-Skibine

introduction
tardive de la
nouvelle théorie
dans
l'enseignement

La théorie de la tectonique des plaques a fait son apparition en 1982 dans les programmes français d'enseignement pour la classe de première scientifique et en 1988 dans les programmes de la classe de quatrième alors que, comme le rappellent les Instructions officielles, c'est "*dans la décennie 1960-1970, [que] les idées mobilistes allaient être reprises à la faveur de l'évolution des techniques et des idées*".

Constatant que beaucoup d'avancées scientifiques, en immunologie par exemple, accèdent rapidement au statut de savoir scolaire, on peut être surpris par le fait qu'il a fallu attendre environ quinze ans pour que le nouveau savoir du géologue soit transposé dans l'enseignement. De notre côté, la revue *Aster* a attendu neuf ans pour consacrer un numéro - mais deux volumes ! - à la géologie et une seule recherche a porté sur ce champ disciplinaire, de 1986 à 1989, l'INRP étant associé à une recherche ministérielle.

Il ne s'agit pas ici d'élucider les conditions dans lesquelles ont été prises les décisions ministérielles concernant les réformes des programmes ni de dégager les raisons qui ont permis de décider de ce qui est bon pour la société et qui doit alors être enseigné. Il s'agit plutôt d'examiner la situation de manière à tenter de dégager une relation entre certaines raisons qui ont rendu difficile l'acceptation de cette "nouvelle théorie" par les scientifiques et celles qui ont prolongé le délai de son introduction dans les programmes.

1. DE LA DISCIPLINE SCIENTIFIQUE À LA DISCIPLINE SCOLAIRE

la théorie
actuelle est une
reformulation
d'une vieille idée

Dans *L'écume de la terre* (1), Claude Allègre rappelle que la théorie mobiliste ne date pas de 1961, date à laquelle elle est admise par une partie importante de la communauté scientifique, mais qu'elle n'est que "*l'héritière de la théorie de la Dérive des continents proposée par l'allemand Wegener en 1912.*" Il retrace l'évolution des idées et analyse "*le phénomène complexe par lequel une théorie scientifique essentiellement exacte est critiquée, puis finalement éliminée, pour ressusciter quelques années plus tard et donner naissance à une profusion de développements.*" Allègre n'hésite pas à

(1) ALLÈGRE Claude, *L'écume de la terre*, Fayard, 1983.

toute théorie
scientifique
rencontre des
résistances

comparer la "bataille d'idées et d'arguments, violente et passionnelle" autour de la tectonique des plaques,... "à celle qui avait accompagné l'émergence des idées évolutionnistes en biologie.... De même que la théorie darwinienne occupe une position centrale dans toute la biologie moderne, la théorie de la mobilité continentale est le pivot de la révolution que les sciences de la Terre ont connue depuis vingt ans."

Le fait que certains chercheurs n'hésitent pas à parler de révolution, donc d'un changement de regard total, nous renvoie au phénomène constaté maintes fois dans l'histoire des concepts, que ce soit celui de la circulation sanguine ou celui de la lampe électrique : la lenteur, la difficulté et même l'impossibilité temporaire qui accompagnent la reconnaissance d'une nouvelle réponse aux problèmes posés.

Si révolution il y a eu, en quoi a-t-elle consisté ?

des phénomènes
perçus comme
indépendants...

On a longtemps pensé que les mouvements de l'écorce terrestre étaient essentiellement **verticaux**, que les massifs rocheux constitués de roches anciennes dures, comme celles du Massif Central, de la Bretagne ou des Vosges étaient **fixes**, que des forces internes se manifestaient de **manière continue** pour créer des montagnes comme les Alpes, les Andes ou l'Himalaya, que les éruptions volcaniques et les tremblements de terres étaient des *phénomènes indépendants*, que l'érosion, la sédimentation, les déplacements des lignes de rivages étaient des activités de surface qui avaient un **déterminisme propre**...

Tout change dans la compréhension du monde avec les théories de la dérive des continents et de la tectonique des plaques.

... sont
finalement reliés
entre eux par
l'activité terrestre
interne

- La théorie de la tectonique des plaques **met en relation** ce qui était autrefois perçu comme autonome, tels les volcans, séismes, fosses abyssales, chaînes de montagne, et **répond aux problèmes** de leur localisation géographique constatée depuis longtemps. La nouvelle science qui se constitue est caractérisée par un renforcement appréciable de ses pouvoirs explicatifs et prédictifs : on comprend, par exemple, le gisement de cuivre du complexe ophiolotique de Chypre si, en même temps, on constate de fortes concentrations de ce métal au niveau de la dorsale de la jeune mer rouge, l'orientation de la chaîne de l'Oural permet *a priori* de proposer l'hypothèse explicative d'une collision très ancienne entre deux masses continentales, on peut prévoir la localisation de concentrations d'or en fonction de l'extension de la zone de subduction, en arc, de la Nouvelle-Zélande à l'Asie, etc.

- La mobilité continentale n'est qu'une **traduction en surface** de mouvements profonds qui animent notre planète : le "moteur" est dans la Terre et sa source d'énergie est nucléaire.

- L'océan et ses fonds longtemps inviolés ont ravi la première place aux continents.

tout état
est provisoire

- Même si le postulat reste le même (les lois physico-chimiques qui régentaient l'univers étaient les mêmes que celles qui s'exercent actuellement), les explications données jusqu'alors, changent : par exemple, le métamorphisme n'est plus dû à une force verticale, gravitationnelle, qui transforme, dans l'ordre, une argile en schiste, micaschiste et gneiss, mais à des forces latérales qui compriment, étirent la roche à l'état solide tout en réarrangeant les atomes des minéraux...

- **Rien n'est fixé** et donc réellement permanent au cours des temps géologiques, les continents n'ont pas toujours les mêmes contours - la Californie glisse vers l'Alaska -, ni la même place - l'Inde a changé d'hémisphère. Les mers et les océans se ferment - comme la mer Méditerranée -, ou s'ouvrent - comme la mer Rouge.

or, l'esprit
humain, même
scientifique
semble
conservateur...

Or, cette "plasticité" pose problème. En présentant la thèse de Gabriel Gohau, Guy Rumelhard (2) souligne les conditions d'installation d'un conflit intellectuel chez le scientifique : *"L'esprit humain semble avoir refusé avec beaucoup d'énergie que le monde ait une histoire... la pensée reste attachée à l'immobilisme et au fixe, ou bien admet le changement une seule fois, mais pas plus !"*. L'opposition plasticité/fixité crée un dilemme qui est à considérer. En effet, le traitement de cette situation demande à chacun un renoncement à **ce qui fait obstacle pour penser autrement**. G. Gohau analyse alors différentes façons de refuser l'histoire et de ne pas rechercher d'archives, soit comme Descartes, en décrivant la formation progressive de la Terre, à la manière d'une embryologie préformiste qui aboutit à un être stable, soit comme Hutton en montrant des mécanismes cycliques qui conservent la structure de la Terre.

... d'où
des résistances,
y compris dans le
milieu enseignant

Pourquoi ne pas penser que **c'est ce même obstacle** qui a empêché l'acceptation des idées de Wegener, ce même obstacle qui a résisté pendant cinquante ans aux thèses dérivistes... et qui a créé des résistances à l'introduction des nouveaux savoirs dans les programmes ?

Les idées géniales du météorologiste allemand bousculaient beaucoup trop les connaissances de l'époque pour pouvoir être intégrées. Il faudra attendre trente ans après sa mort pour que la théorie de l'expansion des fonds océaniques de Hess et Dietz les remettent au premier plan.

Cette évolution des idées, lente et saccadée, a permis de construire un nouvel objet scientifique. En effet, les sciences de la Terre ont subi une profonde mutation, même si la conservation du mot géologie ou son remplacement par "sciences (au pluriel) de la Terre" souligne en apparence la continuité d'un objet (géo = Terre). En fait, la tectonique globale prend en compte la totalité de la Terre (jusqu'à une pro-

(2) *Biologie Géologie*, revue de l'Association des Professeurs de Biologie et de Géologie, 1985, n° 1.

la géologie
demande une
approche
systémique...

fondeur limitée cependant) et son inscription dans l'univers. Dans le changement de terme, c'est peut-être le pluriel qui est important (sciences) car cet objet est pluriscientifique ou interscientifique. Nous n'entendons pas par là un objet traité en commun par plusieurs disciplines juxtaposées et qui éventuellement s'ignorent, selon l'un des sens possibles de l'interdisciplinarité mais un **objet construit** expressément comme effet de leur collaboration. Il ne s'agit plus de sciences qui cheminent en parallèle, comme ce qu'on appelait il y a peu les géodynamiques interne et externe mais de sciences convergentes.

À partir de 1970, les différents domaines relevant des sciences de la Terre, domaines isolés et autonomes, vont entrer en relation. Le géophysicien va communiquer avec le paléontologue. Si la phase de dispersion des disciplines s'est accompagnée chez chacune d'elles d'une mise au point de méthodes spécifiques et d'une accumulation des résultats de recherche, la mise en relation de toutes ces activités isolées permet désormais d'expliquer la dynamique de la planète Terre, son fonctionnement et son histoire. Mais, pour cela, il a fallu un nouveau paradigme.

"Fini le cloisonnement ! s'exclame C. Allègre (3), Le magnéticien réalise qu'il existe des micro-paléontologistes et qu'ils doivent s'entraider pour dater le fond des océans. Le pétrologue s'aperçoit que, sans une certaine culture dans le domaine de la géothermie, et donc un dialogue avec le géophysicien, il ne peut comprendre les messages que les roches qu'il étudie portent en elles. Le tectonicien, spécialiste des montagnes, comprend qu'il ne peut plus ignorer les choses de la mer, ni les résultats des océanographes, et ainsi de suite [...] Ainsi va se bâtir une communauté scientifique nouvelle, pluri-disciplinaire, mais de plus en plus homogène dans ses buts et ses approches."

... tout comme
la vie

Mais cet objet d'étude n'a pas de matérialité. Il n'existe pas en dehors de l'esprit de ceux qui s'interrogent à son propos. Et pour que notre discours soit mieux compris, on pourrait oser une analogie et rappeler que la biologie est aussi un "objet construit". Elle n'existe pas en tant que telle mais elle émerge de la mise en commun des sujets de réflexion de nombreuses disciplines, très différentes les unes des autres, ne serait-ce que par les différences d'échelle et les méthodes d'approche : zoologie, botanique mais aussi écologie, éthologie, physiologie, biochimie... Chacune se penche sur la vie sans la voir réellement et autrement que par certaines de ses manifestations et cela parce que la vie est aussi un objet construit par l'esprit d'une certaine époque, un concept.

Par contre, le vivant désigne une entité mais aussi un objet palpable. Il "parle" davantage à l'esprit en s'adressant aux organes des sens, comme l'a souligné F. Jacob.

(3) Op. cit. note 1.

C'est sans doute pour cela que la biologie, discipline autonome qui n'a que deux siècles de constitution (un peu plus que la tectonique), a connu de nombreuses dénominations dans l'enseignement : histoire naturelle, sciences naturelles, sciences et techniques biologiques et géologiques, sciences de la vie... le dernier titre opposant l'idée unique à la multiplicité des disciplines actuelles (et à venir ?) dont les pratiques sont bien concrètes.

la Terre est
un objet matériel
mais surtout
une idée qu'on
s'en fait

Ainsi, et par les considérations épistémologiques précédentes, le mot Terre - inscrit dans le titre "Sciences de la Vie et de la Terre" - ne désignerait pas l'objet-planète mais l'idée qu'on peut se faire d'elle-même et de son statut dans l'univers. Cette idée est en fait multiple et évolutive selon la maîtrise qu'on peut avoir des différents angles d'approche, des multiples méthodes et concepts la concernant... y compris de ceux d'astrophysique ! C'est bien un objet construit.

On peut considérer alors que si la biologie désigne les sciences de la vie, le mot géologie pourrait encore une fois désigner les sciences de la Terre. Le concept de géologie évoluerait en même temps que les préoccupations et les sciences des hommes. Mais reconnaissons que le titre officiel présente l'avantage de lever toute ambiguïté à propos du projet d'enseignement.

Cette évolution sémiologique du mot géologie est une conséquence des innombrables mesures scientifiques réalisées, tant par les sismologues que par les géo- ou astrophysiciens. Ces disciplines ont contribué à éloigner davantage la géologie de la biologie, en la rapprochant de la physique et des mathématiques.

En conséquence, l'évolution des contenus de cette science entraîne non seulement un changement conceptuel mais aussi un changement de la dénomination de la discipline. Un rapide survol historique souligne cette transformation.

donc l'Homme
a de tout temps
"fait" de
la géologie

Gabriel Gohau, dans son introduction à *l'Histoire de la géologie* (4), nous rappelle que *"l'objet de la géologie est défini par cette double préoccupation : connaître la partie de la Terre accessible à l'observation et en déterminer l'histoire. L'homme a donc de tout temps fait de la géologie, même si le mot n'existait pas."* Selon cet auteur, le mot "géologie" date du XVIII^{ème} siècle et *"va désigner l'entreprise commune au passé de la Terre."* (Martin : 1735, Diderot : 1751, Jean André Leduc : 1778, Horace-Benedict de Saussure : 1779). La science et la discipline mettront cinquante ans à se construire et à constituer un enseignement. *"En 1832, la géologie est enseignée au Muséum, à la faculté des sciences de Paris et au Collège de France"*. Elle devient la science historique que l'on connaît, science originale qui va rechercher les événements passés dans ses archives, mais qui ne pourra pratiquement jamais vérifier de lois, la répétition étant exceptionnelle et le temps non réversible.

(4) GOHAU Gabriel, *Histoire de la géologie*, Paris, La Découverte, 1987.

L'enseignement scientifique de Paul Bert de la fin du XIXème et du début du XXème siècle, prévoit pour "la seconde année de l'enseignement scientifique", c'est-à-dire le cours supérieur de 11 à 13 ans des classes élémentaires des lycées et collèges, un chapitre intitulé "Pierres et terrains". La géologie est confiée aux professeurs de biologie qui enseignent les sciences naturelles, comme le précisent encore les différents B.O. de 1958 à 1970 pour le lycée et le collège. Le B.O. du 14 novembre 1985 fixant les programmes des classes des collèges, change l'intitulé qui devient "Sciences et techniques biologiques et géologiques". Le B.O. du 24 septembre 1992, pour les nouveaux programmes des classes de seconde, première et terminale des lycées, modifie à nouveau la dénomination, qui devient "Sciences de la Vie et de la Terre". Une parenthèse précise ce changement : "(nouvelle appellation de Biologie-Géologie)".

2. LES OBSTACLES ÉPISTÉMOLOGIQUES CONCERNENT-ILS L'ENSEIGNEMENT DE LA GÉOLOGIE ?

2.1. Les obstacles chez les élèves

l'élève, qui vit au présent, fige les objets géologiques

Le volcanisme et les tremblements de terre restent avec les dinosaures des valeurs sûres quant à la motivation des élèves. Ce sont des faits objectifs qui s'opposent *a priori* aux caractéristiques de cette nouvelle "super-discipline" étudiant un objet quasi virtuel. L'élève conjugue d'abord une géologie au temps présent, en s'appuyant sur ses organes des sens : la matière visible (les cailloux - ce qu'ils sont et à quoi ils ressemblent), les matériaux (durs, pesants - ce qu'ils sont par rapport à moi et ce que je peux leur faire) et leur exploitation (l'utilité - ce qu'ils peuvent m'aider à faire). Par contre, il n'est pas sûr qu'il ait conscience d'être "dans" la géologie quand il s'intéresse aux dinosaures. Il s'agirait plutôt de son "avant lui", qui fait quand même partie de "son" histoire mais à une époque révolue, quand les "choses n'étaient pas telles qu'elles sont aujourd'hui."

il est donc réticent pour penser leurs transformations

La géologie devient historique quand l'élève est conduit à se demander "comment cette roche s'est-elle formée ?" et le fait de devoir considérer cette question va constituer, d'autant plus qu'il est jeune, une véritable rupture. En effet, il doit transformer sa vision statique et actuelle des objets en une chaîne organisée d'événements, de causes successives **transformant à l'envers la matière** visible en objets imaginés. Il ne s'agit pas d'une simple activité visuelle d'identification mais d'une création et d'une organisation d'objets, donc d'une reconstruction en acceptant l'idée nouvelle que, comme lui, cette roche est l'aboutissement d'une histoire pour remonter jusqu'à un commencement ou bien un

recommencement... et c'est peut-être un peu d'anthropomorphisme qui va l'y aider.

l'idée de permanence se construit à partir d'informations sensorielles...

Mais pourquoi cette roche aurait-elle une histoire puisque les organes des sens donnent l'illusion d'une permanence, d'une résistance à toute épreuve, sauf catastrophe observable (volcanisme, glissement de terrain, érosion torrentielle...) ? Enfin, si cette roche a une histoire, ce ne peut être, pour l'élève, qu'une histoire linéaire, faite d'une succession programmée et irréversible d'événements, tout comme l'Ancien Testament de notre culture la raconte... et ces événements ne pourront être que ceux que l'élève aura lui-même vécus ou qui lui seront aisément accessibles.

... qui doivent être réinterprétées pour créer l'espace et le temps...

De plus, cette roche a un volume et celui-ci est tellement important que seule une représentation mentale peut l'appréhender en entier. Ainsi, les concepts de temps et d'espace sont toujours requis, sinon encore davantage par la théorie globale. Ces concepts sont difficiles à faire naître et utiliser par l'enfant. Et même si ces problèmes ont été relevés par la didactique, ils constituent des sujets qui sont loin d'être épuisés. La paléontologie (voir l'article de C. Gouanelle et P. Schneeberger dans le prochain volume) peut aider à construire le concept de temps. La carte géologique (voir l'article de P. Savaton) peut aider à construire le concept d'extension spatiale (en trois dimensions) et ce concept va se compliquer quand il s'agira de passer du local au régional puis au global !

... d'où des conflits...

Ainsi, les nouvelles activités intellectuelles et mentales de l'élève ne deviendraient possible qu'après **affrontement entre permanence et changement** au niveau des manières de se représenter les structures géologiques, dans l'espace et le temps. Et le changement ne pourrait être accepté que dans la violence. Il lui faut donc bien du courage et des conditions psychologiques favorables pour accepter de changer de manière de considérer des faits. Il en faut tellement que, souvent, il se révèle incapable d'aider à franchir cet **obstacle** (au sens de G. Bachelard). Comme exemple extrême, J.-P. Astolfi nous rappelle (5) que de jeunes élèves considèrent les falaises comme des constructions humaines en raison d'un obstacle artificialiste fréquent à cet âge, renforcé par la difficulté de concevoir la géométrie d'une couche géologique.

... qu'il faut s'efforcer de reconnaître chez chaque élève

Il est donc intéressant pour tout professeur d'être informé des obstacles éventuels contre lesquels l'enseignement d'une discipline risque de buter. C'est l'un des objectifs et des intérêts des articles proposés dans le premier volume de ce numéro.

Gabriel Gohau nous rappelle que le développement de l'enfant ne récapitule pas l'histoire des idées, mais que *les obstacles sur lesquels a buté la science sont toujours présents*

(5) ASTOLFI, Jean-Pierre, "Quelques logiques de construction d'une séquence d'apprentissage", *ASTER*, 13, 1991.

dans notre expérience quotidienne et dans notre pensée spontanée". À propos de l'âge et du mécanisme de la formation des montagnes, il interroge deux catégories de personnes, de grands élèves et des écrivains. Puis il applique sa grille d'analyse sur des propositions théoriques de scientifiques contemporains. Il met en évidence la permanence d'une vision catastrophiste des phénomènes géologiques, le passé étant totalement séparé du temps actuel. Il lui semble alors que la présence de l'eustatisme, invoqué pour expliquer les variations des rivages, **empêche de penser** les déformations du sol. L'obstacle s'exprime dans la succession cyclique des mêmes phénomènes et dans le principe d'actualisme, les représentations-obstacles n'arrivant pas à concilier *"la répétition et le cheminement irréversible."*

Hervé Goix se centre sur les concepts de roche, cristal, magma et Terre, au collège. Il cerne trois obstacles qu'il formule ainsi :

- une roche a toujours existé ;
- la Terre est liquide à l'intérieur ;
- les cristaux ne correspondent pas à une organisation précise de la matière.

des obstacles
démasqués...

Le volcanisme interroge C. Orange (école et lycée), M. Laperrière-Tacussel (école, collège et formation des professeurs des écoles) et J.-C. Allain (école), par rapport à l'enfant :

- le volcan est une montagne conique ;
- la lave vient du centre de la Terre ;
- l'édifice volcanique se fait par soulèvement, sous l'influence d'une poussée interne ;
- existence d'une couche de magma fluide uniforme sous la couche solide ;
- la lave sort entre les plaques de l'écorce terrestre ;
- les tremblements de terre sont provoqués par l'éruption des volcans.

Ainsi, deux réseaux d'idées, autour du fixisme et du temps-durée sont repérés par tous les auteurs, réseaux qui jouent comme obstacle pour comprendre l'histoire.

2.2. Comment chercher les représentations et dénicher les obstacles ?

... pour identifier,
grâce aux trames
conceptuelles,
leurs conditions
d'intervention

H. Goix propose tout d'abord, d'analyser la matière à enseigner, à l'aide de trames conceptuelles, celles concernant par exemple les concepts de Terre, de magma et de roche. Il montre que cet outil permet de préciser les différentes notions à aborder à un niveau donné, notions qui servent de base à la recherche des représentations. Une originalité de son travail consiste à situer dans les trames de savoir à construire, les conceptions des élèves à l'endroit où elles risquent d'empêcher la construction des notions visées ou leur mise en relation.

un obstacle est
résistant parce
qu'il propose un
système explicatif

En connaissant les obstacles historiques et en élaborant des outils qui peuvent en permettre l'émergence, G. Gohau propose de "tendre des pièges" à des élèves de 4ème et de 1ère, pour "retrouver chez des adolescents nourris de science contemporaine des modes de pensée archaïque".

J.-C. Allain demande aux élèves d'exposer leurs idées par des schémas dont la signification peut être approfondie éventuellement par une interview.

Cerner les obstacles historiques, analyser les ruptures est une méthode reprise par C. Orange. Il constate que l'importance des apports de la chimie, ou celle de la découverte de la radioactivité, occasionne un nouveau questionnement. Il propose de "peupler le champ des possibles dans l'explication des volcans de façon à donner des repères pour l'analyse des représentations des élèves".

il faut donc
connaître ce
qu'il permet
d'expliquer

Pour analyser les représentations obtenues, H. Goix, reprenant la perspective d'une recherche de l'INRP ("ROOSA", rapport interne, juillet 1995), pose deux questions fondamentales pour expliquer la résistance de ces représentations : que permettent-elles d'expliquer ? qu'est-ce qu'elles empêchent de comprendre ?

De son côté, M. Laperrière-Tacussel nous met en garde contre certains documents repérés dans les manuels qui induisent ou renforcent des représentations fausses. Le cas le plus flagrant et le plus répandu est celui qui concerne l'existence d'une couche liquide sous l'écorce terrestre.

Mais, ces obstacles sont d'autant mieux repérés que l'enseignant est convaincu de leur existence et de leur intérêt pédagogique en tant qu'objectifs.

2.3. Des obstacles chez les enseignants pour accepter ceux des élèves

Beaucoup des représentations citées ont déjà été relevées par les historiens de la géologie (Gohau G., Ellenberger F.). Leur existence est désormais établie et leur identification devient plus aisée. Et il nous semble nouveau et prometteur de trouver dans un ouvrage destiné aux enseignants (6) l'ouverture d'une rubrique telle que "Les erreurs à ne plus commettre" et dans laquelle on peut lire, page 148 : "Il n'y a pas de couche de magma sous la croûte terrestre, même si notre inconscient collectif y plaçait la marmite bouillonnante de l'enfer."

... même encore
de nos jours

Cette situation nous semble assez remarquable pour mériter d'être examinée. Nous nous arrêterons d'abord sur l'usage de l'imparfait ("y plaçait") qui semble reléguer cette erreur dans le musée des horreurs passées et peut-être ridicules. Les études publiées dans ce numéro, avec beaucoup

(5) *Enseigner la géologie, collège-lycée*, collection Pratiques Pédagogiques, Paris, Nathan, 1992.

la connaissance
scientifique
avance mais les
mythes survivent

d'autres en biologie, montrent pourtant que ces erreurs et errances sont tout à fait contemporaines, très fréquentes et tout à fait spontanées, quel que soit l'âge de l'individu mais dépendantes de la nature de la culture. On peut aussi s'étonner de l'opposition entre l'usage de l'imparfait et l'évocation de l'inconscient collectif. Cet inconscient est-il un concept historique ? Cet inconscient construit à partir des grands mythes de l'humanité ne serait-il pas plutôt permanent, anhistorique ? Et dans ce cas, pourquoi ne contiendrait-il pas encore et toujours certaines représentations spontanées ?

Quoi qu'il en soit, nous avons bien écrit que cette citation, qui marque un tournant dans un tel ouvrage, était un fait prometteur car il présente le grand avantage d'informer les collègues sur des formulations de représentations certes exhumées de l'histoire des sciences mais qui ne les surprendront pas quand ils les entendront exprimées à nouveau par leurs élèves. Peut-être même, ainsi avertis, les attendront-ils, munis par précaution, d'un dispositif de traitement *ad hoc* ?

Ainsi, l'erreur de l'élève, condamnée de manière définitive par une certaine idée de l'éducation, devient une forme de production de l'esprit à considérer. Elle est à la fois révélatrice d'une certaine activité mentale et susceptible d'aider le professeur à concevoir une stratégie adaptée. Elle acquiert un statut positif, comme G. Bachelard nous l'a déjà montré dans un autre champ conceptuel. Elle justifie donc les recherches actuelles en didactique des sciences expérimentales à propos du traitement des représentations en général.

Ces représentations existent bien puisqu'elles ne s'effacent pas pour autant chez l'adulte. Elles peuvent cependant y changer de statut par le jeu de leur identification et de leur remplacement par une "autre théorie" plus performante. Ainsi, tels géologues reconnus, se piquant au jeu de la vulgarisation, présentent des situations où on voit bouger la roche inanimée, où un massif rocheux émet des vibrations, des souffles, de la chaleur. N'avons-nous pas nous-mêmes écrit plus haut : "des mouvements qui animent la planète" ?

et les
manifestations
de la vie peuvent
être reconnues
à tort, dans des
événements
géologiques

Chez le lecteur, la boîte de Pandore est alors réouverte et elle libère toutes les représentations de notre enfance. De même que "la terre est nourricière", elle est aussi "active" et même "vivante", elle a été jeune et elle vieillit : la Terre est une planète qui possède toutes les caractéristiques d'un être vivant ! Dans ces conditions il n'est peut-être pas sans danger, tout au moins sans conséquence, d'introduire une telle expression dans un titre de film ou dans un chapitre d'un ouvrage de vulgarisation. La Terre s'opposerait donc à la lune, planète "morte". Et celui qui se penche sur la Terre pour l'observer et l'expliquer peut être à la fois le géophysicien qui énonce les lois de son fonctionnement - et on lui trouvera les attributs du physiologiste (qui énonce les lois

du vivant) - ou le géologue qui doit savoir isoler des indices, des symptômes pour diagnostiquer un phénomène passé à partir d'une théorie construite par le premier - et on lui trouvera les attributs du médecin.

quand la contradiction du savant devient flagrante

Cette lecture anthropomorphique de notre planète est fréquente, même dans des ouvrages destinés aux grands étudiants. Elle appartient, bien sûr, à une manière littéraire, quasi poétique, de s'exprimer - une coquetterie de géologue - mais elle appartient aussi à la volonté de bien faire comprendre des idées complexes de manière simple. Et comment faire sinon en s'adressant à ce que chacun possède depuis son enfance au plus profond de lui-même, c'est-à-dire ses représentations initiales ? Si notre hypothèse était valide, nous nous trouverions à la fois devant un géologue-pédagogue qui refuse de tenir compte des représentations des élèves et devant un géologue-conteur qui s'appuie sur elles pour faire passer son message, un Janus-géologue en quelque sorte !

Une situation ambiguë voire hypocrite a, depuis quelques années, été décrite par la didactique de la biologie. Il n'est donc pas surprenant qu'elle soit également relevée en géologie et cette persistance renforce le premier constat.

Malheureusement, la fable métaphorique, lue par de jeunes yeux, risque de ne plus être comprise comme un procédé littéraire mais comme une vérité qui s'impose ! Écrite en se plaçant au "second degré" et donc riche d'implicites, elle est lue au "premier degré".

mais comment reconnaître le clin d'œil quand on n'a pas les outils ?

Les recherches didactiques à propos des interprétations enfantines du volcanisme, des séismes... dont celles proposées dans les articles de ce volume, aboutissent aux mêmes conclusions : l'enfant comprend avec ce dont il dispose déjà, avec ce qu'il s'est déjà construit pour donner du sens, c'est-à-dire avec ses représentations.

d'autant que les progrès techniques compliquent la situation

Mais si l'histoire des sciences nous enseigne l'existence de certaines représentations, cela ne veut pas dire que la succession des représentations invalidées au cours des siècles par le travail scientifique de rectification correspond exactement à celle que le professeur doit attaquer chez l'élève. G. Gohau (mais aussi C. Gouanelle et P. Schneeberger, voir le prochain volume) nous rappelle qu'il faut se méfier de la tentation "récapitulacionniste". L'enfant ne redécouvre pas, au cours de son développement, et dans le même ordre, toutes les représentations qui ont prévalu successivement au cours de l'évolution du savoir des hommes. L'analyse historique nous apprend que de nouvelles représentations peuvent naître par analogie avec des techniques, perdant ainsi leurs caractères permanents et spontanés : ainsi l'interprétation des manifestations volcaniques à partir de l'idée du "feu central" n'a pu apparaître qu'après l'invention de la machine à vapeur (naissance de la théorie du soulèvement).

Il semble bien, cependant, que l'enfant passe effectivement par quelques étapes décrites par les études épistémologiques et historiques mais pas nécessairement par toutes et pas toujours dans l'ordre révélé par ces études.

l'objet observé
ne parle pas
de lui-même

Mais le fait semble désormais bien acquis que l'enfant interprète ce qu'il voit avec ce qu'il a déjà acquis dans la classe comme dans sa famille et dans la rue. Avec, mais aussi contre, puisque ce déjà-là, qui impose une interprétation d'évènements non pertinente, va devoir être contourné et abandonné. En conséquence, **l'observation** d'un objet totalement inconnu ne lui permettra jamais d'interpréter cet objet et d'en induire des règles nouvelles. Tout au plus pourra-t-il avancer quelques analogies...

3. QUELQUES PROBLÈMES DE L'ENSEIGNEMENT DE LA GÉOLOGIE

Dans l'esprit de nombreux naturalistes, l'observation constitue le point de départ de toute activité intellectuelle : identifier, classer... Elle est encore souvent considérée comme l'activité fondamentale et première de nombreuses séances de T.P. C'est pourquoi il nous semble nécessaire d'y revenir, au risque de répéter des acquis établis par la didactique de la biologie.

3.1. Des relations difficiles entre la représentation et l'observable

L'idée que la théorie précède l'observation d'un fait particulier n'est pas communément partagée ou n'est pas entièrement comprise, une certaine interprétation des réflexions d'Auguste Comte persistant de manière latente. Cette idée est cependant centrale dans notre enseignement puisqu'elle conditionne toute forme d'utilisation d'un document.

Nous illustrons notre propos en renvoyant à l'ouvrage cité plus haut (7), mais on pourrait en citer beaucoup d'autres. Il conclut : "[...] *On observe la nature, on mesure des paramètres variés et l'on déduit la dynamique de la Terre à partir des observations de tous ordres que l'on a pu faire à la surface. C'est la démarche typique du naturaliste, même quand ces observations sont de nature très physique. Puis, deuxième démarche, on explique [...]*".

il ne peut donc
pas y avoir
d'évidence

C'est tout le problème des conditions à réunir pour observer qui se pose ici, conditions externes et internes à l'élève, et ce problème n'est pas mince dans nos disciplines et notre enseignement car il semble, hélas, qu'il ne puisse exister de

(7) Op. cit. note 4, page 148.

situation de mise en évidence, pour un individu non initié au préalable.

le chercheur
construit
et modifie
constamment
ses schémas
d'interprétation

Par exemple, l'observation d'un sol n'apporte aucune information immédiate permettant de comprendre ses propriétés, sa fertilité. Il faut **chercher à y voir** des composants fins pour les y trouver. Son étude réclame donc l'existence d'une représentation antérieure permettant d'effectuer des comparaisons. C'est par ce va-et-vient entre une construction mentale, qui permet de poser des questions, et les réponses de l'objet que l'élève pourra reconnaître des constantes entre différents échantillons (8). En fait, l'objet est muet. Nous avons usé d'une métaphore pour rappeler que c'est toujours l'observateur qui y voit ou non ce qu'il cherche. C'est lui qui révèle activement, au lieu d'attendre ou de se contenter de la surface...

En illustration, nous rappelons G. Gohau qui souligne, dans sa thèse d'état (mai 1983), que Hutton conçoit et prévoit l'existence de discordance stratigraphique **avant d'en observer** sur le terrain. L'élaboration théorique précède et guide l'observation. Il l'oppose à Deluc qui a "vu" des discordances sans les interpréter.

ces schémas
interviennent
lors du choix
de l'appareil
de mesure...

Le fait que pour observer, il y a les yeux, bien sûr, mais aussi et très souvent un intermédiaire qui mesure ou rend visible un seul aspect immédiatement inobservable du phénomène : la machine ne change en rien notre position. Nous rappelons que le choix d'une méthode ou d'un appareil de mesure suppose la connaissance du principe de fonctionnement de chacun d'eux. La théorie, qui est à la base de la construction et surtout de l'utilisation de l'instrument, doit être connue par l'utilisateur. En effet, le choix de la technique se fait par une mise en relation entre l'idée (intuition ?) de départ et la théorie qui a fait naître l'appareil.

... comme dans
l'interprétation
des mesures

Car enfin, pourquoi un géologue se "promènerait-il" dans la nature muni d'un gravimètre sans avoir auparavant défini sa stratégie et les conditions d'emploi de l'appareil pour répondre à un certain problème ? Il pratique ainsi parce qu'il sait *a priori* qu'il existe une relation entre la valeur du champ de gravité, celle de la densité des roches, elle-même en relation avec le flux de chaleur, indicateur à son tour d'un courant de convection dans le manteau.

L'aspect provocateur de cette question en réduit peut-être l'intérêt et il est plus aisé de s'expliquer sur des exemples précis. Comme une majorité de professeurs de Sciences de la Vie et de la Terre est plutôt biologiste de formation, nous les choisirons, pour mieux nous faire comprendre, en biologie d'abord, puis en géologie ; et ceci permettra de montrer, comme le font C. et D. Orange (voir le prochain volume) que,

(8) MONCHAMP Alain, LAINÉ Annick. "Essai d'évaluation de deux modèles pédagogiques à propos du sol", *ASTER*, 17, 1993.

conceptuellement parlant, de nombreux ponts existent entre ces deux domaines.

le spécialiste
en biologie
peut s'en
convaincre...

- Le physiologiste qui présente un enregistrement de potentiel d'action inscrit sur l'écran d'un oscilloscope a, au préalable, fait la relation entre événements électriques nerveux et variation d'un potentiel électrique entre les plaques horizontales. Pour l'élève, le résultat ne peut être interprétable que par des savoirs physiques et techniques (connaissance de la charge de l'électron, structure de l'appareil) et donc en s'appuyant sur "le théorique" qui a permis de l'obtenir. En conséquence, l'observation d'un enregistrement de potentiel d'action ne permet pas de déduire quoi que ce soit sans idée préalable sur les phénomènes électriques en œuvre dans un oscilloscope... et c'est aussi une connaissance *a priori* des ions qui permettra ensuite d'envisager une explication possible des phénomènes membranaires.

On pourrait multiplier les exemples en biologie (compréhension des conséquences de l'introduction de curare dans un animal et idée préalable de stéréochimie...).

en réexaminant
son activité
mentale, centrée
sur un objet
géologique

- Si, dans un paysage, je peux observer la même roche en deux affleurements distincts, vais-je logiquement et nécessairement en déduire le principe stratigraphique de continuité ? Pour valider cette hypothèse, vais-je redécouvrir seul le principe de construction d'une carte géologique et conclure que puisque de très nombreux points révèlent la même roche on peut tracer une carte paléogéographique ? Les conditions historiques dans lesquelles ces principes ont été énoncés et acceptés ne me laissent que peu d'espoir d'être aussi inventif... Par contre, je peux espérer les accepter si on les énonce devant moi et si je suis prêt à les recevoir... à moins qu'un obstacle ne vienne s'y opposer ! Une fois ces principes acquis, je pourrais sans doute chercher à voir et effectivement voir leurs manifestations dans la nature.

la carte
géologique est
l'exemple-type
de la confusion
entre
aboutissement et
point de départ
d'activités
intellectuelles
et pratiques

Comme tout produit d'une activité humaine scientifique - en classe on dirait, "comme tout document" - la carte géologique est un objet construit : l'article de P. Savaton développe ce point. Il ne s'agit pas seulement de la cartographie de ce qu'on voit sur le terrain (datation relative, tectonique...). La carte est même fort complexe puisqu'il s'agit d'une synthèse. Elle est l'**aboutissement** de travaux cumulés de plusieurs disciplines alors qu'elle est le **point de départ** d'activités (et donc de séances d'observation ?) proposées par le professeur aux élèves. La cartographie des affleurements de roches métamorphiques était possible dans le cadre de la théorie du géosynclinal (la célèbre carte de Tulle). Elle l'est beaucoup plus difficilement actuellement, les critères et repères n'étant plus les mêmes.

On pourra se reporter à l'article de P. Savaton. L'auteur dresse un plaidoyer pour la carte géologique disparue de l'enseignement avec l'avènement de la tectonique des plaques, l'enseignement de cette théorie privilégiant les

représentations internes du globe au lieu d'une cartographie des affleurements. Il montre que la construction d'une carte géologique permet de développer des compétences scientifiques, tant méthodologiques que notionnelles.

Pour achever cette liste d'arguments, les exemples étant légion, on rappellera que ce n'est pas la cartographie des anomalies magnétiques des fonds océaniques qui a permis de concevoir les principes de la théorie globale. Ceux-ci étaient déjà assez bien précisés quand des spécialistes de l'aimantation des roches continentales proposèrent, en 1963, d'appliquer leur technique aux roches de la croûte océanique, avec le succès que l'on sait. Mais, pour cela, il a fallu avoir accès à ces roches.

3.2. Le problème de l'accessibilité de l'observable

• *Accès aux faits par le scientifique*

C'est l'étude de l'océan et de ses fonds qui a d'abord autorisé le grand bouleversement théorique. Pour cela, il a fallu l'intervention convergente de disciplines nombreuses et allochtones (magnétisme) et des savoir-faire nouveaux (technologie pétrolière, engins d'observation à grande profondeur...). Puis la recherche d'une connaissance de l'histoire de la Terre s'est accompagnée d'une recherche sur l'histoire des matériaux terrestres. Les études à la fois de l'infiniment petit (physique nucléaire) et de l'infiniment grand (astronomie, astrophysique...), totalement indépendantes de la géologie, sont venues apporter des propositions de réponses : le *big bang*, les étoiles productrices d'atomes, l'accrétion... nous sommes alors dans un monde si différent, par l'échelle, de celui de l'observation d'une roche au microscope polarisant. Rappelons que l'observation actuelle de l'espace correspond, en fait, à une remontée dans le temps !

Dans tous les cas, la machine et l'appareil de mesure et de codage ont dû s'interposer entre le fait et l'œil. Ils n'ont pu restituer que ce que leur structure leur permettait de capter. Le résultat obtenu est toujours le résultat d'une certaine technique contenant implicitement l'idée du constructeur et de l'utilisateur.

• *Accès aux faits par l'élève*

Nos réflexions et exemples précédents nous rappellent qu'en géologie comme en biologie aucun objet d'étude n'est donné directement à l'observation empirique. Son observation-interprétation dépend toujours d'une théorie ou d'un modèle antécédent. Cette constatation nous amène à poser un problème pédagogique fondamental : si la fameuse "peau de zèbre" du magnétisme des fonds océaniques recèle le pouvoir de valider la théorie globale de manière déterminante, a-t-elle aussi et nécessairement le pouvoir de faire naître la théorie dans l'esprit de l'enfant, pouvoir d'évidence aveuglante devant laquelle toute représentation initiale ne pour-

observer, c'est
aussi être habile
à changer
mentalement
d'échelle,
dans l'espace
et le temps

rait que rendre les armes ? Rien n'est moins sûr et cette seule question vaut d'être débattue car elle conditionne la **définition du statut du document en classe.**

les conditions
de construction
du savoir sont
sélectionnées
voire mutilées...

Comme il ne nous est pas donné d'enseigner de technique productrice de document (exceptée celle de la datation absolue) on peut se demander comment les élèves peuvent appréhender un résultat codé et en saisir toutes les informations... Face à un document, on peut, comme le demande les Instructions officielles, ignorer le spectrographe de masse, les discussions critiques de spécialistes, les facteurs de variation d'un phénomène, les comparaisons avec d'autres analyses, bref le jeu de plusieurs disciplines sur un même objet d'étude. Mais alors, la technique prend une valeur absolue, une signification d'évidence. La spécialisation disciplinaire se réduit à la lecture d'une courbe qui augmente ou diminue en fonction d'un seul paramètre. Ce seul paramètre est supposé apporter, par exemple, l'évidence d'une glaciation **et** d'une baisse du niveau marin.

Le phénomène est supposé ne pas devoir être construit puisqu'il est **prétendu être donné par l'observation.**

Le thème de l'interdisciplinarité redevient un simple mot d'ordre à la mode ou une platitude : étudiez en commun la Terre ! Les critiques qui associent spécialisation, étroitesse de vue et désintérêt peuvent se donner libre cours.

... et la jubilation
d'accumuler du
savoir stérilise
la réflexion

Il semble que la nécessaire patience du concept, le détour, l'accumulation de connaissances et la longue maîtrise de techniques ne puissent résister devant l'accélération du progrès, la fête intellectuelle apportée par une géologie enfin vivante et consensuelle. Pédagogiquement, le dogmatisme reprend aussi vie en s'appuyant sur l'évidence nouvelle. Les procédures d'évaluation qui interdisent de proposer au candidat un grand nombre de documents pour des raisons de temps et de volume ne peuvent que renforcer cet effet réducteur et dogmatissant.

POUR CONCLURE

Le fait de parvenir à un ensemble cohérent de faits initialement dispersés est excitant pour l'esprit. Il est même extraordinairement exaltant pour ceux qui ont étudié la géologie avant 1970. Autour de cette date, le nouvel enseignement universitaire a commencé à donner du sens à un savoir éclaté et cumulé, qui, jusqu'à présent, semblait peu utile. Mais, pour cela, il a fallu que chacun de ces enseignants réorganise son savoir. Malheureusement, cet effort important n'a souvent pas permis à l'individu de "se regarder changer". Le difficile passage du fixisme au mobilisme s'est opéré sans qu'il y ait identification des conditions de contournement de l'obstacle. Oubliant ou ignorant les étapes de restructuration de son système explicatif l'ensei-

1ère règle de
l'enseignement :
se souvenir de
ses propres
souffrances

gnant ne peut tenir compte de sa propre expérience pour gérer son enseignement de manière adaptée.

Par ailleurs, les événements géologiques rapportés par les médias ont souvent soit un caractère anecdotique soit spectaculaire. Il devient alors difficile pour l'enseignant de les exploiter pour les dépasser et accéder à la théorie.

Enfin, cet enseignement rénové a fait naître un grand risque à la fois pour les sciences de la Terre et pour l'élève :

- pour l'image des sciences de la Terre dans l'enseignement d'abord. En appelant constamment un modèle pour le modèle, leur enseignement risque de les ramener à des maquettes de plaques qui s'éloignent ou s'affrontent ou à des mouvements de convection observables dans le contenu d'un bécber posé sur un bec bunsen. Dans ce cas, on se placerait alors, et à la rigueur, soit dans le champ de la géographie, soit dans celui de la physique, mais pas dans celui de la géologie. Par ailleurs, la référence constante et immédiate au modèle théorique présente aussi l'autre versant du danger de déconnecter l'élève du réel ;

- pour l'élève ensuite parce qu'il s'agit pour lui d'intégrer un grand nombre d'informations de nature différente, ses représentations comprises. Et si la clarté naît de la complexité il n'en reste pas moins vrai que la première n'apparaît qu'après avoir vaincu la seconde et cela, au prix de quels efforts et de quels renoncements ! L'entreprise est d'autant plus difficile qu'il ne s'agit pas de visiter et de maîtriser un seul champ disciplinaire et conceptuel mais plusieurs... L'expérience personnelle du professeur suffit pour qu'il puisse savoir que l'esprit de synthèse n'est pas spontané et qu'il s'éduque lentement. Accordons le temps nécessaire aux apprentissages !

À cause des différences d'échelles, du nombre de concepts difficiles (temps, espace, viscosité...) et parce que les capacités d'intégration de l'élève risquent de ne pas être ménagées, le lien qui doit constamment le rattacher au concret pourrait être rompu, ce qui générerait découragement et réaction de rejet en bloc.

L'enseignement des sciences de la Terre constitue, sans aucun doute, un objectif nécessaire mais dont le cheminement est loin d'être aussi évident que la conception à laquelle est arrivée le professeur après de nombreuses années d'étude et d'enseignement... Il ne faut pas se laisser entraîner dans une ivresse intellectuelle qui amène à croire que tout est facile. On se méfiera donc des certitudes d'érudits : enseigner ne consiste pas seulement à exposer des connaissances sans **tenir compte de l'élève**.

Toutes ces remarques appellent des études didactiques précises et nombreuses, comme celles qui ont justifié la rédaction des articles présentés dans ce volume. Dans un second temps, la reconnaissance des représentations peut consti-

les études
didactiques
améliorent la
lucidité de
l'enseignant

l'enjeu n'est plus
la simple
présentation de
savoirs, mais
leur assimilation
par l'élève

tuer une base d'organisation de stratégies adaptées aux élèves. Ce sera le thème du prochain volume d'*Aster*.

En réunissant diverses analyses et propositions, même susceptibles d'approfondissement, de quelques sciences de la Terre, ce numéro d'*Aster* espère contribuer à sortir de l'ombre certaines difficultés et à en faciliter l'enseignement.

Alain MONCHAMP
Lycée Jean Vilar
Plaisir (Yvelines)
Équipe de didactique des Sciences
expérimentales, INRP

Marie SAUVAGEOT-SKIBINE
IUFM/MAFPEN
Dijon
Équipe de didactique des Sciences
expérimentales, INRP

TRAQUER LES OBSTACLES ÉPISTÉMOLOGIQUES À TRAVERS LES LAPSUS D'ÉLÈVES ET D'ÉCRIVAINS

Gabriel Gohau

Les faits géologiques ont d'abord été compris comme racontant une histoire linéaire, progressive ou régressive (Buffon). Puis, Hutton les a réinterprétés comme la succession cyclique des mêmes phénomènes avec, notamment, répétition des orogénèses. Or, les élèves rapportent souvent la formation des montagnes à un événement unique ancien. Et des idées analogues se retrouvent chez des écrivains et des cinéastes, montrant la difficulté à concevoir une histoire cyclique de la terre. Même la science contemporaine bute sur ce problème, faute de parvenir à construire un modèle qui concilierait répétition et cheminement irréversible.

ce que le
pédagogue
peut apprendre
de l'historien

Le présent texte s'appuie sur le dernier chapitre d'une thèse d'État, intitulée "*Idées anciennes sur la formation des montagnes - préhistoire de la tectonique*"(1). Destiné à montrer la lente maturation depuis l'Antiquité des idées de base de la tectonique, ce travail devait rencontrer les "obstacles épistémologiques" contre lesquels, selon Bachelard, s'élaborent les concepts scientifiques.

L'ultime chapitre était un prolongement pédagogique de l'étude historique, reposant sur l'idée que les obstacles sur lesquels a buté la science sont toujours présents dans notre expérience quotidienne et dans notre pensée "spontanée". Et que, en conséquence, ils doivent entraver notre propre apprentissage des concepts géologiques - et plus encore celui de nos élèves.

Nous avons retenu trois sections de ce chapitre liant les lapsus d'élèves à ceux de quelques écrivains, pour déboucher sur une "psychanalyse" de la science contemporaine. Les quelques allusions à des auteurs étudiés dans la thèse ont été précisées. Pour le reste, il semble que les obstacles évoqués sont plus ou moins présents à l'esprit de tout professeur de Sciences de la Vie et de la Terre. Contentons-nous de lui rappeler l'épisode majeur de l'histoire de la géologie qui fait passer de la conception linéaire à la conception cyclique de l'histoire de la Terre.

(1) Thèse dirigée par François DAGOGNET et soutenue en mai 1983 (Université Lyon III). Quoique la thèse n'ait pas été publiée, on en trouve les principales notions dans : GOHAU G., *Une histoire de la géologie*, 2ème édition, Paris, Le Seuil, 1991, et pour l'époque qui précède immédiatement la naissance de la géologie : GOHAU G., *Les Sciences de la terre aux dix-septième et dix-huitième siècles. Naissance de la géologie*, Paris, A. Michel, 1990.

1. RÉVOLUTIONS CONTRE ÉVOLUTION : DEUX GRILLES D'ANALYSE HISTORIQUE

des faits
géologiques
soumis à des
cycles...

On admet communément que la notion de cycle géologique apparaît, sous sa forme moderne, dans la *Théorie de la terre* de James Hutton (1726-1797) publiée en 1795. Selon l'auteur, l'érosion, la sédimentation, la consolidation des strates (accompagnée, en profondeur de leur fusion-injection sous forme de liquide granitique), et leur soulèvement s'enchaînent en une suite qui se répète à l'infini. La thèse du médecin écossais s'oppose radicalement à celle formulée quelque vingt années plus tôt par Buffon (1707-1788) dans ses célèbres *Époques de la nature* (1778). Prenant pour fil directeur le refroidissement du globe, supposé né d'un jet incandescent de matière solaire, l'intendant du Jardin du Roi divise l'histoire en une séquence irréversible de sept périodes : consolidation de la surface avec formation d'aspérités (montagnes cristallines), précipitation des eaux atmosphériques (océans), dépôts de sédiments (montagnes à couches), dégagement des continents par enfouissement des eaux dans les cavités internes, naissance des formes vivantes terrestres, etc., jusqu'à l'apparition de l'homme.

ou à une linéarité
temporelle

Les principaux reliefs, issus des montagnes cristallines, sont donc, pour Buffon, des traits primitifs de l'histoire de la terre, alors qu'Hutton les tient pour des structures renouvelées. L'orogénèse sera donc, selon le cas, un événement unique, remontant aux premiers âges, ou un phénomène de tous les temps.

L'uniformitarisme, développé par Charles Lyell (1797-1875), qui se présente, dans ses *Principes de Géologie* (1830-1833), comme le disciple d'Hutton, souligne ce dernier point : les phénomènes qui ont façonné le globe terrestre existent encore actuellement, et agissent avec la même intensité que dans le passé : les "causes" géologiques sont donc, à la fois, actuelles et lentes. Pourtant, sous sa forme radicale, ce principe dit plus que le concept de cycle.

révolutions :
mouvements
circulaires...

En effet, les phases du cycle étant successives, elles ne peuvent être simultanées que si plusieurs cycles décalés dans le temps coexistent. C'est ce qu'admet Lyell. S'il n'en est rien, il serait possible (sinon probable) qu'aucune orogénèse n'existe présentement, et que le soulèvement des montagnes soit un phénomène brutal, subit comme le veut Elie de Beaumont (1798-1874), adversaire de Lyell. L'idée de cycle n'exclut évidemment pas celle de "révolution" ou de catastrophe.

ou changement
brutal ?

De même, les cycles répétés peuvent ajouter leurs effets, de telle sorte que le globe s'organise progressivement. Tel est le point de vue du même Elie de Beaumont qui combine ses "systèmes de montagnes" (= nos phases tectoniques) en un "réseau pentagonal" qui eut son heure de gloire... au moins en France. La répétition n'implique pas que le globe montre un visage stationnaire (*steady state* disent les anglophones).

Cependant dans le schéma du réseau, la surface de la Terre se **construit** graduellement : l'évolution est progressive. Au contraire, l'évolution buffonienne est régressive. La température diminue, le niveau de la mer s'abaisse. La force créatrice de la terre s'affaiblit : les premières formes vivantes sont de grande taille. Comme Lucrèce dans son *Natura Rerum*, au premier siècle avant notre ère, Buffon imagine que la nature des premiers âges était plus féconde qu'aujourd'hui.

une vie humaine : modèle pour reconstruire l'histoire de la Terre

On peut voir, à travers ce schéma, persister le vieux mythe de l'âge d'or cher à Platon. Or on sait que ce mythe se rencontre encore dans notre pensée. Peut-être, d'ailleurs, contient-il des séquelles d'anthropomorphisme : c'est parce que l'on prête à la nature des propriétés de notre vie que nous imaginons si volontiers qu'elle eut une phase de jeunesse, où elle était plus féconde et plus vigoureuse.

Retrouver les vestiges d'une telle pensée chez élèves et étudiants n'est pas improbable. C'est en ce sens qu'on suivra les schémas linéaires et cycliques pour les comparer à ceux des auteurs anciens (2).

2. ESSAI D'IDENTIFICATION DE MODES DE PENSÉE ARCHAÏQUES CHEZ L'ENFANT...

2. 1. Introduction

Pour éviter toute équivoque, précisons qu'il ne s'agit pas d'adhérer à une quelconque conception suivant laquelle l'esprit de l'enfant récapitulerait les étapes de l'histoire de la pensée scientifique. À trop vouloir décalquer un **développement** sur une **histoire**, on risque d'inverser leurs rapports et de réduire la seconde au premier.

analyse des relations entre pensée commune et pensée scientifique

Nous ne voulons d'ailleurs pas suivre le cheminement de la pensée de l'enfant, pour le prendre en parallèle avec les étapes de la constitution de la science de la Terre. Sans doute le jeune enfant égocentriste a-t-il une vision des choses où le monde ressemble au Cosmos géocentrique des Anciens. Mais ce type d'investigation ressortit au domaine de la psychologie génétique. Or celle-ci ne confirme pas forcément nos intuitions "récapitulationnistes" les plus naïves. Rappelons seulement que Jean Piaget a cru pouvoir établir que l'enfant avait une idée plus ou moins nette des vitesses des mobiles avant de cerner les concepts d'espace et de temps. Il en a conclu que les idées relativistes lui sont peut-être accessibles plus tôt qu'on ne le pense, alors qu'en

(2) Sur l'histoire de ces schémas, on peut lire : S.J. GOULD, *Aux racines du temps*, trad. B. Ribault, Grasset, Paris, 1990, 346 p. (le titre américain, *Time's Arrow, Time's cycle, Myth and Metaphor in the discovery of geological time*, Harvard U.P., Cambridge, Mass., 1987, est plus explicite).

en évitant le
piège du
"récapitula-
tionnisme"

bonne logique il devrait d'abord être réceptif à la physique newtonienne (3).

Qu'on adopte ou non les conclusions du psychologue genevois, il est clair que la question des rapports entre la pensée de l'enfant et celle de l'adulte scientifique est problématique (4). La résoudre par la récapitulation est une attitude purement métaphysique. Nous n'en avons pas l'intention. Il s'agit seulement d'explorer quelques aspects de ces rapports, en faisant l'hypothèse qu'ils existent, et en soumettant notre supposition à vérification.

En fait, d'ailleurs, si nous partons de la coexistence d'une pensée commune et d'une pensée scientifique, le problème se trouve quelque peu déplacé. Ce n'est pas seulement la pensée de l'enfant qui nous intéresse mais celle de toute personne qui n'a pas reçu une éducation scientifique poussée, lui ayant permis de vaincre les obstacles épistémologiques qui entravent le passage à l'esprit scientifique. Et donc, par exemple, celle d'un écrivain ou d'un journaliste.

Inversement, quand nous nous adresserons aux élèves, nous les choisirons assez âgés pour que leur esprit ait atteint le stade où ils raisonnent, à peu de chose près, comme des adultes. De façon à ne pas avoir à distinguer les stades successifs de constitution de leur pensée reconnus par les psychologues.

2. 2. Lapsus d'élèves

un questionnaire
construit sur des
hypothèses

Les observations sur la résistance des élèves aux idées modernes, en géologie, ont été faites en marge du travail d'un groupe de professeurs de lycée, dans le cadre d'une recherche patronnée par l'Institut National de Recherche Pédagogique. Ce groupe, animé par Guy Rumelhard, a rédigé un questionnaire sur la formation et la place des montagnes dont les réponses offrent la matière des lignes qui suivent.

Il n'est pas possible de discuter ici la méthode utilisée. La technique du questionnaire est très discutable. Elle est d'autant plus directive que les questions sont plus "fermées" (plus précises). En bonne méthodologie, elle aurait dû être précédée d'entretiens avec les élèves afin de mieux cerner les traits dominants de leur pensée que le questionnaire aurait eu pour but de préciser.

(3) PIAGET, J., *Psychologie et épistémologie*, Paris, 1970, pp.102-105. Une étude plus complète se trouve dans PIAGET, J., *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*, Paris, 1946.

(4) Sur ce point, on peut lire : HALBWACHS F., *La pensée physique chez l'enfant et le savant*, Neuchâtel, 1974.

tirées de l'histoire
de la géologie...

et de
l'expérience du
professeur

Mais il ne s'agissait pas ici de découvrir les "représentations" (5) des élèves sur les montagnes, à la façon dont pourrait le faire un psychologue. Notre but était, plus modestement, de **retrouver**, chez des adolescents nourris de science contemporaine, des modes de pensée archaïques. Pour cela, il fallait, en quelque sorte, leur tendre des pièges en fonction de la connaissance préalable qu'on avait de ces archaïsmes. Le questionnaire était donc conçu comme une chausse-trappe, construite à partir de ce qu'on savait d'avance des difficultés historiques rencontrées lors de la constitution de la géologie scientifique.

Ajoutons qu'il répondait, malgré tout, à des observations antérieures spontanées faites sur les élèves, et qui pouvaient donner une base aux questions à poser. Enfin, précisons que nous avons tenté, dans la lecture des réponses, de prêter attention à ce qui était le moins stéréotypé et le moins attendu, afin d'éviter d'y lire le simple reflet de nos propres idées.

Le questionnaire portait sur l'âge et le mécanisme de la formation des montagnes. Voici la formulation des questions.

- 1° *Quand se sont formées les montagnes ?*
- 2° *Comment se sont-elles formées (dessins éventuels) ?*
- 3° *On trouve jusqu'au sommet de certaines montagnes élevées des coquillages (fossiles) marins. Les couches qui les contiennent sont, par ailleurs, généralement inclinées. Que vous apportent ces deux observations ? Confirment-elles votre réponse à la question précédente ? Sinon, en quoi modifient-elles votre réponse ?*
- 4° *À la fin du XVIIIème siècle, trois conceptions s'affrontaient à propos de l'origine des montagnes :*
 - *pour certains, le globe avait acquis ses irrégularités dès l'origine, au moment de son refroidissement, comme se forment les aspérités sur une boule de fer fondu qui se refroidit ;*
 - *d'autres croyaient que le globe avait été lisse à l'origine, puis que des effondrements successifs, provoqués par des cavernes souterraines, avaient formé les plaines. Les montagnes étant constituées par les blocs restés en place (zones non effondrées) ;*
 - *d'autres enfin pensaient, au contraire des précédents, que la terre avait subi, non des effondrements, mais des soulèvements par l'action d'un "feu souterrain", et que les diverses montagnes étaient résultées de ces bombements.*
 - *Que pensez-vous de chacune de ces théories ?*
 - *Y en a-t-il une qui se rapproche de votre propre conception ? Si oui laquelle ?*
 - *L'une vous semble-t-elle plus fausse que les autres ? Pourquoi ?*

(5) RUMELHARD, G. *Représentations et concepts de la génétique dans l'enseignement*, Thèse pour le doctorat de 3ème cycle, Université Paris VII, 1980, pp. 9-12. On y trouvera une discussion de ce concept. Également, ROQUEPLO P., *Le partage du savoir*, Paris, le Seuil 1974, pp. 125 sq.

Ce questionnaire a été soumis, dans les collèges et lycées de Paris, à des élèves de classes de quatrième et de première (élèves de 13-14 et 16-17 ans) où l'on enseigne la géologie. Les connaissances des élèves variaient évidemment d'une classe à l'autre, et dans les divisions d'une même classe, elles dépendaient de ce qu'avait dit le maître préalablement, autant que de la culture géologique antérieure de chaque adolescent.

Faute de pouvoir maîtriser cette variable, nous avons préféré... la négliger. Les élèves ont tous un savoir minimum sur la question, issu des cours antérieurs (notamment en géographie générale) et de la culture ambiante "parallèle". Ce savoir est suffisant pour leur permettre d'esquisser une réponse. On s'aperçoit d'ailleurs qu'ils connaissent, pour la plupart, les orogénèses hercynienne et alpine. Et puis, encore une fois, ce sont les défauts de cet apprentissage qui nous intéressent. Il n'est donc pas important que les élèves aient des connaissances variables pour que ceux-là apparaissent.

Malgré tout, les réponses obtenues sont un peu différentes en classe de quatrième et de première et nous les distinguerons. Est-ce dû à une différence de connaissance ou à une inégale maturité ? Il ne serait pas étonnant que des jeunes de douze à quatorze ans eussent des réactions moins rationnelles que des adolescents de dix-sept ans. Nous nous contenterons de signaler la différence.

distinguer les
élèves des
classes de
quatrième et de
première

• À la question : "Quand se sont formées les montagnes ?", la majorité des élèves de première ont rappelé le nom des deux principales orogénèses ayant affecté le sol français : hercynienne et alpine. Ils ont donc pu mobiliser leurs connaissances sans laisser découvrir d'éventuelles pensées préscientifiques. En quatrième, sept élèves seulement, sur trente-six, voient deux orogénèses et les situent à peu près dans le temps. Les autres cherchent plutôt à mettre la formation des reliefs en correspondance avec un événement. Certains la situent lors de la "formation de la Terre" (huit élèves), d'autres au "temps préhistorique" (sept), tandis que d'autres évoquent le "déluge" ou le "retrait des eaux" (quatre). Il en est, enfin, qui pensent que les montagnes sont nées "avant la vie" ou "le jour où les volcans ont éclaté", voire qu'elles ont toujours existé. Ce qu'il faut retenir de ces solutions c'est qu'elles attribuent l'orogénèse à un phénomène unique, situé dans une histoire linéaire, non répétitive. Et naturellement qu'elles la rejettent dans un passé lointain, plus ou moins mythique. Ajoutons, d'ailleurs, que si les élèves de première échappent en général à ces naïvetés, dix (sur soixante deux) ne retiennent qu'une seule orogénèse (6) et un autre la situe lors du refroidissement de la Terre.

(6) Plusieurs la situent à l'époque actuelle ou à l'ère quaternaire. L'orogénèse unique n'est donc pas nécessairement associée à un passé lointain, proche de l'origine du globe. Même s'il s'agit de réminiscences de l'orogénèse alpine, le lapsus qui en retarde la date révèle le désir de situer de grands bouleversements dans le présent ou le passé immédiat. Et oblige à nuancer ce qui précède.

un grand choix
de solutions...

- Pour ce qui est des mécanismes, on peut dire que presque tous les élèves invoquent des poussées latérales ou verticales (vers le haut), tant en première qu'en quatrième. Là encore on peut voir les effets directs de l'enseignement antérieur. Plusieurs, pourtant, en première, parlent d'effondrements. Et quelques élèves de quatrième attribuent les montagnes au creusement par la pluie, le gel ou les glaciers, comme si elles naissaient du ravinement d'un plateau élevé. Ou bien parlent de cassures avec sortie de laves.

Il y a de l'archaïsme dans ces solutions qui rappellent des thèses anciennes : les effondrements qu'on trouve tant chez Descartes que chez Sténon (cf. illustrations de ces deux auteurs dans Gohau, 1991, p.53 et p.77 ou Gohau 1990, p.95 et 130) ou l'érosion différentielle, vieux thème qu'on trouve au Moyen Âge (par exemple Avicenne au XI^{ème} siècle) mais que Lamarck reprendra dans son *Hydrogéologie*. Mais cette rencontre traduit peut-être seulement le fait que le nombre de solutions possibles est limité.

Sans doute est-il plus intéressant de noter que ceux qui ont vu le sens des poussées (latérales ou vers le haut) ont souvent attribué les mouvements à des explosions, des pressions du magma (ou du centre de la Terre !) ou le cheminement de gaz. Autrement dit : à des éléments de nature catastrophique, voire à des phénomènes de la physique aristotélicienne. Le globe reste encore pour les élèves de première très voisin de celui des anciens avec ses vents, ses fermentations, ses incendies...

... dont
beaucoup
nous semblent
archaïques

- Mais le questionnaire est révélateur sur un autre point encore. Dans la mesure où presque tous les élèves ont songé aux mouvements de plissement ou de soulèvement, il était logique de prévoir que la troisième question leur permettrait d'attribuer l'inclinaison des couches à ces mouvements. Elle offrait donc le moyen de vérifier si la réponse précédente traduisait ou non une compréhension en profondeur. Or en première comme en quatrième, un quart des élèves expliquent les couches fossilifères inclinées par le retrait de la mer.

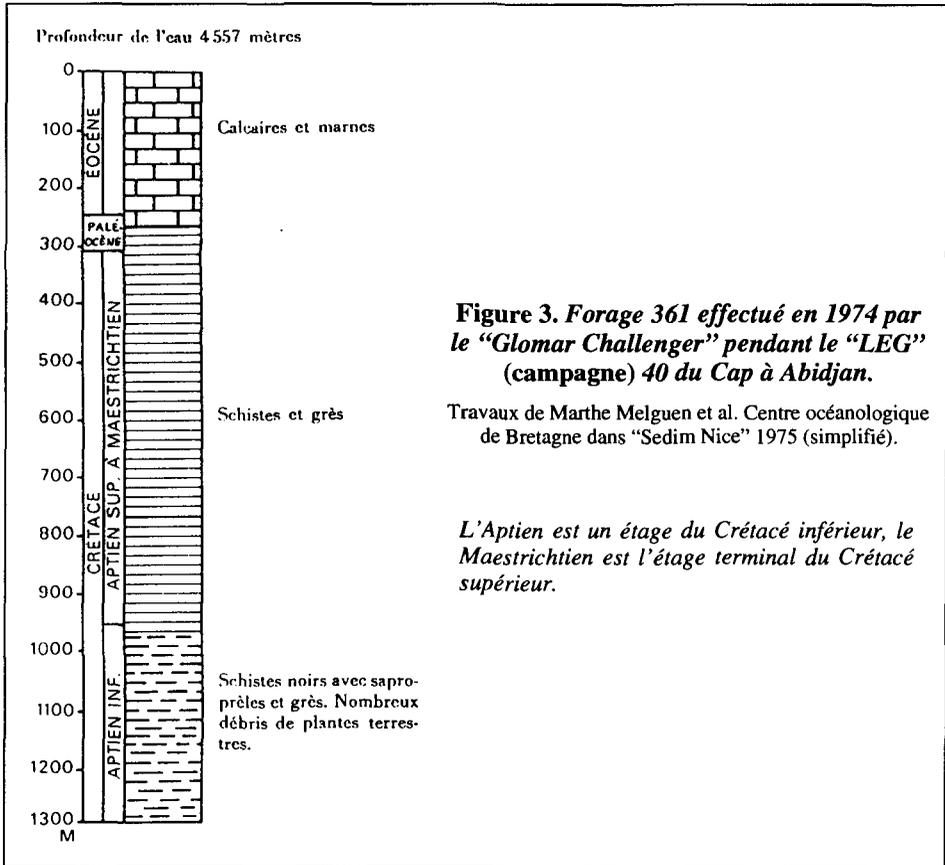
Certes, cette proposition ne contredit pas nécessairement la réponse à la deuxième question. Le retrait des eaux peut être imaginé comme une cause supplémentaire, ajoutée au plissement ou au soulèvement. Pourtant, puisqu'on leur demandait de confronter cette réponse à la précédente, les élèves auraient pu voir que l'inclinaison des strates confirmait l'hypothèse qu'ils venaient de poser.

des étudiants
tentés par
l'eustatisme

En fait, il semble bien que lorsqu'on parle, devant des jeunes gens d'aujourd'hui, plus ou moins instruits de tectonique, de couches fossilifères trouvées à 4 000 ou 6 000 m d'altitude, l'idée première consiste à penser à des mouvements eustatiques de grande ampleur.

On en trouve la confirmation chez des étudiants plus avancés (deux années d'études supérieures), ayant des connaissances de géologie approfondies. Des candidats à un

concours (7), qui savaient que l'Océan Atlantique résultait du fonctionnement d'un "rift" à partir de l'époque jurassique, étaient démontés par une coupe du fond de cet océan montrant que, au Crétacé inférieur, les dépôts passaient d'un faciès continental à un faciès marin franc (document 1).



Document 1. Coupe stratigraphique présentée lors d'une épreuve de concours à des étudiants de 19-20 ans

des transgressions et régressions invraisemblables

Il fallait voir que ce point de l'océan s'était abaissé progressivement, à mesure de l'écartement de l'Afrique et de l'Amérique du Sud. Or certains étudiants ont raisonné à l'envers et invoqué une montée de la mer de plus de 4 000 mètres. Concédonsons que les conditions d'une épreuve de concours ne sont pas toujours favorables au raisonne-

(7) École nationale des Ingénieurs des Travaux Ruraux et Techniques Sanitaires, concours ouvert aux étudiants des classes de Spéciale C, encore surnommées "Agro".

ment le plus rationnel. Mais, précisément, il s'agit d'examiner les défaillances de l'esprit des candidats. Car ceux-ci ne font pas n'importe quelle erreur. L'invraisemblance de la solution proposée par ces étudiants (des transgressions de 4 km de hauteur) souligne l'importance de l'obstacle épistémologique qui se dressait devant eux (voir document 2).

Sans pouvoir nous étendre sur le cas de ces étudiants, soulignons que les quelque quatre mille candidats que nous avons pu examiner depuis plus de dix ans nous permettent de retrouver une pensée très proche de celle d'élèves plus jeunes et moins cultivés en géologie.

Prenons deux exemples :

1° Certains étudiants réduisent les déformations tectoniques à des phénomènes morphologiques. Ayant à observer un anticlinal, présenté sous un aspect un peu inhabituel (carte des isobathes) où ils ne pouvaient reconnaître une figure apprise par cœur, ils parlèrent de "butte" ou d'"accumulation de sédiments", comme s'il s'était agi d'une dune sous-marine, ou encore de "butte-témoin" ménagée par l'érosion. Un candidat réussit même à parler en même temps de butte et d'anticlinal : comme on lui indique qu'on y trouve du pétrole, il écrit par réflexe : anticlinal. Mais il comprend si peu ce que signifie le mot qu'il parle, à côté, de "topographie de butte". Les candidats se comportent donc un peu comme les neptunistes du XVIIIème siècle. Preuve que les déformations du sol ne viennent pas facilement à l'esprit.

2° Souvent, aussi, ils raisonnent en catastrophistes. Dans l'exemple précédent du forage au fond de l'Atlantique, plusieurs candidats ayant à expliquer la présence d'un dépôt sapropélique (c'est-à-dire riche en matières organiques) dirent : "les végétaux ont été transportés dans ce domaine de sédimentation après un cataclysme". Les étudiants préférèrent donc les catastrophes aux phénomènes actuels.

Quelques-uns précisent que les plantes devaient dater de l'époque houillère. Sans doute mésestimaient-ils grandement l'intervalle de temps entre le Permien et le Crétacé pour croire que la forêt houillère avait pu se conserver (sous quelle forme ?) pendant une bonne partie de l'ère secondaire ! Mais c'est peut-être aussi que, pour eux, le temps qui sépare les catastrophes ne laisse pas de traces. Le monde est comme figé, la durée n'a pas de prise sur lui. Le temps est discontinu.

Ce catastrophisme montre un double refus de l'actualisme. Par l'appel à des causes extraordinaires, bien sûr. Mais aussi, parce que le cours naturel des choses est sans empreinte. La catastrophe crétacée ne dérange pas le monde crétacé, mais un monde antérieur (permien), celui, sans doute, d'un précédent cataclysme. Le monde qui la précède immédiatement est totalement transparent.

**Document 2. Analyse des réponses d'étudiants de 19-20 ans
à une épreuve de concours**

L'ensemble de ces résultats appuie donc l'idée qu'il est plus facile de penser aux mouvements de l'eau sur une topographie plus ou moins permanente qu'à des variations du niveau du sol. Et si les élèves de première songent aux plissements et aux soulèvements des montagnes parce qu'on leur a dit que l'orogénèse se faisait ainsi, ils se réfugient vers les thèses eustatiques dès que la question les désarçonne un peu (la question 3 du questionnaire était moins susceptible de réponses de type scolaire que les précédentes, d'où sa valeur de test).

- La quatrième question permettait de prolonger le test, en mettant en parallèle trois théories de "la fin du XVIIIème siècle" qui pouvaient, en gros, correspondre à celles de Buffon, Deluc et Hutton. La dernière étant la plus proche de nos conceptions modernes, les archaïsmes auraient dû se traduire par l'adhésion à l'une des deux autres. Or la majorité des élèves a préféré la troisième.

C'est ici qu'on mesure les limites d'un questionnaire. Le refus ou l'acceptation des adolescents peut venir de formulations maladroites qui dévalorisent ou valorisent une théorie sur un aspect secondaire pour nous. Le simple fait de situer les théories à une époque ancienne, vieille de deux siècles, a incité certains élèves à les trouver toutes trois ridicules.

la représentation
des montagnes
évolue de la
quatrième à la
première

Si l'on essaie de ne retenir que l'essentiel, on voit que les objections à la solution de Buffon concernent l'âge des montagnes : elles seraient toutes de même époque ; elles seraient anciennes et l'érosion les aurait détruites. Ces remarques sont importantes, car elles tempèrent certaines des conclusions précédentes. Les élèves savent que les montagnes se sont formées en plusieurs temps et ils savent en tenir compte pour réfuter un système. Ils ne se réfugient donc pas si facilement vers la solution d'une orogénèse unique. Par ailleurs, ils savent que les montagnes anciennes s'usent et ne peuvent perdurer indéfiniment. Ils n'adoptent donc pas aisément l'idée que les montagnes existent de toute éternité. Mais ces objections n'existent que chez les élèves de première, ceux, précisément, qui maîtrisaient en majorité l'idée des orogénèses multiples.

Les objections à la deuxième hypothèse sont moins décisives. Les plaines n'ont pu s'effondrer, disent certains élèves, sans préciser d'où ils tiennent cette certitude. Les dimensions des cavernes postulées leur semblent invraisemblables. Sans doute parce qu'ils sont habitués à ce qu'on leur représente le globe comme plein. Sûrement, aussi, parce qu'ils imaginent qu'un magma repose sous l'écorce terrestre, ne laissant aucun vide. Plusieurs ont noté, en effet, que les cavernes de la terre sont remplies de magma.

Finalement, c'est peut-être cette idée du magma souterrain qui explique le choix de la troisième hypothèse. Le savoir commun véhiculé depuis un bon siècle et demi (Cordier *Essai sur la température de la terre*, 1827) le schéma, qu'on retrouve dans tous les ouvrages de vulgarisation, et qui

représente la Terre comme une masse incandescente recouverte d'une mince croûte, moins épaisse (relativement) que la coquille d'un oeuf.

Mais il ne faut pas oublier que ce thème du feu souterrain et de son rôle tectonique est contemporain des débuts de la machine à vapeur (on en trouve l'ébauche chez Hutton, 1795, ami de Watt). La force motrice du feu n'était pas concevable avant cette invention.

mais nos élèves
bénéficient des
techniques
contemporaines
pour construire
leurs modèles

En d'autres termes, quand nous recherchons une analogie entre la pensée commune actuelle et la pensée préscientifique, nous devons nous dire que ces pensées ne peuvent être identiques, à cause du milieu différent où elles se développent. Ceci élimine donc toute idée de récapitulation : les contextes techniques et sociaux sont trop différents pour que l'esprit du jeune refasse le cheminement de la pensée de ses ancêtres. Il se heurte à certaines résistances semblables, parce qu'il existe tout de même des éléments permanents de son environnement, mais ces résistances sont souvent dissimulées derrière les multiples innovations techniques (8).

3. ... OU CHEZ DES ÉCRIVAINS ET CINÉASTES

Il faut être follement audacieux pour entreprendre une étude des pensées pré-géologiques chez les écrivains contemporains. Nous n'avons évidemment pas cette témérité. Nous tenterons seulement une approche du sujet, en prenant quelques exemples au hasard.

Cette investigation paraîtra désordonnée. De fait, elle l'est. Les quelques notations que nous retiendrons proviennent de lectures récentes, faites en quelque sorte sans préméditation. Mais précisément, leur intérêt tient peut-être à leur caractère fortuit. Si on peut trouver des exemples de telles pensées sans préparation et sans plan, c'est sans doute que le champ d'investigation est étendu.

le mythe d'un
temps des
phénomènes
géologiques

Une idée commune est qu'il existe un "temps" des phénomènes géologiques antérieur au temps actuel, et totalement séparé de lui. Il est facile d'y voir un relent de la conception que je nomme "génétique" : les forces qui ont formé le globe sont aujourd'hui au repos. Proust traduit bien cette pensée quand il écrit :

"Et ces lieux qui jusque-là m'avaient semblé n'être que de la nature immémoriale, restée contemporaine des grands phéno-

(8) En physique, par exemple, le principe d'inertie est plus facile à concevoir qu'au temps de G. Bruno. Le voyageur qui laisse tomber son stylo dans un avion supersonique voit mieux qu'il retombe à son pied que le marin qui lâche une pierre le long du mât d'un voilier sur un pont. En revanche, nous continuons à voir, comme Aristote, que le véhicule qu'on pousse ou qu'on tire s'arrête dès que nous cessons notre effort. L'idée qu'il puisse conserver sa vitesse indéfiniment n'appartient pas à l'expérience commune.

mènes géologiques - et tout aussi en dehors de l'histoire humaine que l'Océan ou la Grande Ourse [...] - c'avait été un grand charme pour moi de les voir tout d'un coup entrés dans la série des siècles [...].” (9)

Le même thème doit pouvoir se retrouver ailleurs. F. Ellenberger en a trouvé plusieurs exemples chez Jules Verne, tout aussi fortuitement. Par exemple, à propos d'une grotte “qui devait remonter à l'époque des formations géologiques” (10) ou quand Verne évoque “les époques géologiques, lorsque le sphéroïde terrestre était encore en voie de formation” (11).

La contrepartie du rejet des phénomènes géologiques dans un passé quelque peu mystérieux, c'est qu'on n'hésitera pas à rendre l'époque un peu mythique et les phénomènes largement catastrophiques. On retrouve l'association des thèses génétiques avec les causes imaginées.

L'auteur d'un guide sur la Sicile écrit :

“Il est probable, disent les géologues, que jadis la Sicile et ses îles satellites ont formé un seul continent avec la péninsule italienne tout entière, mais ayant été arraché à celle-ci par des convulsions sismiques très anciennes, l'univers sicilien a fini peu à peu par accentuer ses caractéristiques propres.” (12)

Ce n'est pas que l'auteur ait tort de croire à la liaison ancienne entre la Sicile et l'Italie péninsulaire. Mais son vocabulaire traduit une manière catastrophiste de présenter les choses qui n'aurait pas forcément la caution “des géologues”. Et la remarque vaut aussi pour cet extrait d'article paru dans un quotidien :

“Surgissant de l'entaille creusée au tertiaire, entre deux montagnes, par l'ébranlement du globe, elle (la cascade) apparut à son heure [...] bien avant que les hommes n'occupent les cavernes.

Du plissement avait surgi un vertigineux chaos, tout fumant des entrailles de la terre déchirée, crachant des laves pâteuses par toutes ses plaies, dans le tonnerre des roches qui éclataient en formant un fleuve d'étincelles, de flammes et de soufre incandescent.” (13)

On pourrait prolonger la citation : l'auteur parle ensuite des “tremblements de terre, les inondations, les raz de marée, les tornades” qui façonnèrent la Terre avant l'apparition de l'homme. Mais il serait un peu facile de s'étendre complai-

la vision
catastrophique
du passé nous
habite tous

(9) PROUST, M., *Du côté de chez Swann*, 3^e partie, “Nom de pays : le nom”.

(10) VERNE, J., *Deux ans de vacances*, 1888.

(11) VERNE, J., *Les Indes noires*, 1877.

(12) BRANDON-ALBINI, M., *La Sicile et son univers*, “la Bibliothèque des Guides Bleus”, Paris, Hachette, 1972.

(13) GUINIER DU VIGNAUD, R., “La cascade sauvée”, in *Le Monde*, 11-12 avril 1976, p. 9.

samment sur une description purement littéraire qui, après tout, ne prétend pas parler sous la dictée des géologues.

En réalité, il ne s'agit pas de prendre à défaut le défenseur de la cascade. Cependant, si pour situer sa chute, il prend la peine d'en retracer la formation c'est quand même qu'il estime que son récit n'est pas du pur rêve. Et puis, quand ce serait. Nous voulons seulement remarquer qu'on **imagine** en 1976 le passé de la Terre un peu comme M. de Buffon croyait pouvoir le **reconstituer** deux cents ans plus tôt. L'information géologique que nous avons reçue à l'école laisse intactes nos idées communes antérieures sur le passé de la Terre. Notre vue des phénomènes géologiques reste emplie d'ébranlements et de convulsions conduisant au chaos, de déchirements laissant sortir des laves, des flammes et du soufre !

Sans doute d'autres écrivains aussi célèbres, et aussi attentifs à leurs propos que ceux que nous venons de citer fourniraient-ils des exemples analogues. Ainsi quand l'admirable Anatole France dit que "*tant de millions d'années se sont écoulées*" depuis la découverte du feu par l'homme (14), on peut voir là un lapsus étrange. Dans un premier temps, on songerait volontiers que l'auteur de *La Rôtisserie de la Reine Pédauque* a conscience de l'immensité des temps géologiques. Mais comme il écrit à une époque où l'ancienneté de l'homme se compte, au mieux, en milliers de siècles, et où même l'âge de la Terre est très sous-évalué, il faut plutôt penser qu'A. France identifie plus ou moins la naissance de l'humanité à celle du globe. Ce qui renvoie à l'idée d'une genèse simultanée et primordiale des structures et des habitants de la Terre.

On sait, d'ailleurs, que ce télescopage de l'histoire de notre globe est un thème commun à bien des auteurs de moindre envergure. Et naturellement, les lapsus que nous avons trouvés chez Proust, Verne ou France, se rencontreraient tellement plus aisément dans des œuvres d'écrivains plus populaires ou dans le cinéma.

Contentons-nous d'amorcer le sujet en rappelant tel film médiocre, au nom naïvement évocateur (15), qui étale pesamment tous les poncifs issus du télescopage de l'histoire de la Terre. On y voit, en effet, des hommes anciens (au reste identiques à l'homme moderne) aux prises avec des Reptiles géants et des cataclysmes : éruptions volcaniques, effondrements, etc.

Puisque nous sommes à la frontière du monde biologique et du monde géologique, et quoique ce soit le second qui nous préoccupe, nous pouvons emprunter un exemple au pre-

la représentation
cinématographique
ne serait que
l'expression de
nos conceptions
les plus intimes

(14) FRANCE, A., *La Rôtisserie de la Reine Pédauque*, Paris Livre de Poche, 1959, p. 52 (éd. originale : 1893).

(15) *One Million years Before Christ*, film anglais, réalisation : DON CHAFFEY, 1966.

nous calquons le
monde ancien
sur le nôtre

mier. Il s'agit d'un film (16) qui met en scène des monstres marins. Or le réalisateur a cru bon, pour reconstituer ceux-ci, de photographier en gros plan des animaux réels. Sans doute est-il plus simple de procéder ainsi que de fabriquer et d'animer des êtres monstrueux en carton-pâte ou en matière plastique. Il n'empêche que le réalisateur ne s'autorise de tels trucages que parce qu'il a une vision buffonienne des monstres (17). L'imagination qui crée des animaux "anormaux" (c'est-à-dire hors des normes), les décalque sur les vivants actuels, aux dimensions près, sans parvenir à leur donner d'autres formes. Et si le réalisateur de *Un Million d'années...* a été plus imaginatif en reconstituant des animaux "préhistoriques" moins banals, il n'a pu se résoudre à bâtir nos ancêtres sur le modèle pithécantropien.

On ne pourrait faire le même reproche au film de J.-J. Annaud (18) qui, tout au contraire, met l'accent sur la bestialité de notre aïeul. Il n'y a, d'ailleurs, sur le plan qui nous occupe, rien à dire de ce film qui se contente de montrer comment l'homme primitif découvre le rire, la tendresse conjugale... et la position du missionnaire ! Le réalisateur n'a pas repris les thèmes buffoniens qui perçaient dans le roman de Rosny aîné dont il s'est inspiré (19).

Nous n'irons pas jusqu'à prétendre que si *La Guerre du feu* a laissé son empreinte chez tant de ceux qui l'ont lue pendant leur enfance, c'est à cause de ce fonds de thèmes pré-scientifiques. mais après tout, nous ne cherchons ces idées communes chez des élèves et chez des écrivains que pour montrer que nul n'y échappe, du lecteur de J.H. Rosny aîné... au professeur de géologie.

Et si nous poursuivions notre enquête en direction de la science moderne ? Si nous soumettions la géologie contemporaine à une psychanalyse de l'esprit objectif ?

(16) *Neptune factor* ou *An undersea odyssey*, film canadien réalisé par D. PÉTRIE (1973). Titre français : *L'Odysée sous la mer*

(17) Les monstres du film ne sont pas "préhistoriques" : ce sont les émanations d'un volcan sous-marin qui "expliquent" leur taille. Mais on peut quand même faire référence à Buffon pour qui les animaux primitifs, géants, vivaient au temps où les volcans étaient plus actifs.

(18) *La Guerre du feu*, film français réalisé par J.-J. ANNAUD, 1981.

(19) ROSNY, J.-H., Aîné, *La Guerre du feu*, 1911. On y lit notamment à propos des hommes anciens : "Quoique leur type les rapprochât de nos races inférieures, toute comparaison serait illusoire. Les tribus paléolithiques vivaient dans une atmosphère profonde, leur chair recelait une jeunesse qui ne reviendra plus, fleur d'une vie dont nous imaginons imparfaitement l'énergie et la véhémence". Édition G.P. Rouge et Or, Paris, 1977, p.14. De même, au sujet des aurochs : "Les taureaux atteignaient une taille, une force, une agilité que leurs descendants ne devaient plus connaître ; leurs poumons s'emplissaient d'un oxygène plus riche ; leurs facultés étaient, sinon plus subtiles, du moins plus vives et plus lucides". Ibid., p. 31. La valorisation de l'oxygène s'associe à un certain télescopage de l'histoire, car l'atmosphère décrite était manifestement primitive.

4. "PSYCHANALYSE" DE LA SCIENCE CONTEMPORAINE

Il peut sembler absurde de rechercher les défaillances de la science moderne quand cette science sert elle-même de point de référence de rationalité. Mais "la" science moderne est une entité globale très vaste. Depuis 150 ans, la géologie a pris des aspects variés, a développé des visages multiples.

Par exemple, au début du siècle une conception a prévalu qui attribuait la localisation des plages quaternaires fossiles au seul mouvement de l'eau. Issue des théories de Suess, cette conception eustatique fut notamment défendue par Ch. Depéret (20). Elle a été, depuis, abandonnée.

Or, il nous a semblé que l'eustatisme était le refuge des élèves qui répugnent à l'idée que le sol s'est déformé. Loin de nous l'idée d'assimiler les théories de Charles Depéret à des naïvetés d'élèves. Il n'empêche qu'en bâtissant une conception qui suppose une rigoureuse stabilité du sol pendant un million d'années, les partisans de l'eustatisme ont cédé à une certaine facilité.

On pourrait peut-être fournir un autre exemple avec la conception du métamorphisme géosynclinal d'Emile Haug et Pierre Termier. F. Ellenberger a critiqué cette théorie et montré qu'elle représentait un certain recul par rapport aux idées huttoniennes (21). Cette théorie dissociait métamorphisme et orogénèse, situant la première pendant la phase de dépôt dans des fosses profondes (métamorphisme anté-tectonique). D'une certaine manière, elle réduisait le rôle de l'orogénèse et montrait une régression par rapport aux idées des fondateurs de la tectonique.

Là encore, le développement de la science allait balayer la théorie "régressive" (?). Les travaux sur le métamorphisme "de position", que la thèse de F. Ellenberger sur la Vanoise inaugurait, associaient de nouveau métamorphisme et orogénèse.

Et d'ailleurs, dans les deux exemples, c'est l'échec de la théorie envisagée qui nous autorise à la présenter comme "régressive" - avec des guillemets de prudence, tout de même.

Si théoriquement le caractère régressif ou non d'une hypothèse scientifique est indépendant de son succès, en pratique il n'en va pas exactement ainsi. Si F. Ellenberger qui, dans cette affaire, joue le double rôle du scientifique qui

existe-t-il des théories régressives en science ?

(20) BOURDIER, F., "Origines et succès d'une théorie géologique illusoire : l'eustatisme appliqué aux terrasses alluviales", in *Revue de Géomorphologie dynamique*, X^e année, 1959, pp. 16-29. Sur Depéret, pp. 22-25.

(21) ELLENBERGER F., "La Vanoise, un géanticlinal métamorphique" in DURAND DELGA, M. (mise au point de), *Livre à la mémoire du Professeur Paul Fallot*, 2 vol., Paris, 1960-1963, t. II, pp. 383-393.

réfute la théorie et de l'historien qui justifie son échec, a pu comprendre ce que la conception de Haug et Termier avait d'outré, c'est qu'il disposait d'une *nouvelle* théorie, où le métamorphisme se trouvait associé à une situation de ride (et non plus de fosse, comme dans le dogme du métamorphisme d'enfoncement). Pour voir qu'une idée est "régressive", il est bon de disposer, en vis-à-vis, de l'idée progressive qui la contredit. Le caractère régressif éventuel des théories est trop relatif pour pouvoir être décelé autrement que par rapport à des théories opposées. C'est ce qui oblige l'historien à rester en deçà de la science contemporaine.

la permanence
des continents...

Et pourtant, on peut se risquer, sinon à donner des conseils aux scientifiques : ce serait déplacé. Ni même à faire des pronostics : ce serait imprudent. Du moins, à mettre en relief dans la science d'aujourd'hui des aspects qui sont particulièrement sensibles à qui s'est longtemps frotté aux pré-décesseurs de la science moderne. Ainsi, la théorie de la dérive des continents de Wegener est d'abord une théorie de la permanence des continents. L'auteur, pour la justifier, dit qu'elle répond à la loi "de la permanence" : "*Permanence ? oui, pas de chaque continent ou océan pris individuellement, mais permanence de la surface océanique totale et de la surface continentale prise en bloc* (22). Il lui oppose deux conceptions : celle des "ponts continentaux" qui suppose que les océans actuels sont en partie d'anciens continents effondrés et celle de la permanence des océans pour qui : "*les grands bassins océaniques sont un trait permanent de la surface de la terre et ont conservé, à quelques petits changements de contour près, l'emplacement qu'ils occupaient lors de l'apparition de l'eau.*" (23)

Or quand on évoque aussi explicitement le thème de la permanence, l'historien songe aux schémas uniformitaristes et à leur caractère antiévolutif. Il se dit que ces théories rejettent les idées qui supposent une certaine altérité (pour user d'un terme un peu pédant mais bien commode) des paléogéographies. Il se demande si les géologues ne choisissent (?) pas les solutions les plus "économiques" du point de vue de la variation du visage de la Terre.

associée au
renouvellement
des fonds
océaniques

Naturellement, la théorie actuelle de l'expansion du fond océanique s'éloigne en partie de l'ambition de Wegener. Si elle admet une certaine permanence des continents, elle postule la néoformation des océans. Celle-ci est même le moteur de la dérive continentale. À la différence, donc, de ce qu'imaginait Wegener, le plancher océanique qui sépare, par exemple, l'Amérique du Nord et l'Eurasie n'existe pas depuis

(22) WEGENER, A., *La genèse des continents et des océans. Théorie des translations continentales*, Paris 1937, rééd. C. Bourgeois, Paris, 1990, p. 21.

(23) WILLIS, B., "Principles of palaeogeography", *Science*, 1910, cité par WEGENER, *Ibid.*, p. 16.

l'origine du globe. Si, dans la mesure où les continents sont stables, la surface océanique totale est plus ou moins constante (pour des raisons de géométrie élémentaire), la matière du fond océanique est constamment renouvelée. C'est la nouveauté essentielle de la version actuelle de la théorie.

Mais on conserve le thème de la permanence des continents. Les auteurs contemporains qui désirent figurer des paléogéographies très anciennes (précambriennes) dessinent souvent nos continents, en les plaçant simplement d'une manière différente (24).

Une "manière différente" qui, d'ailleurs, est celle qu'ils retrouveront à la fin de l'ère primaire, au Permien. Car, et c'est un autre aspect de la permanence, la géologie la plus actuelle paraît estimer que les continents reprennent plus ou moins périodiquement des positions assez voisines. Ainsi la "Pangée" permienne, née du rassemblement des continents a sans doute un équivalent au début de l'ère primaire : après l'orogénèse cadomienne. Sans être exactement disposés de la même façon qu'au Permien, les continents sont déjà plus ou moins groupés (25).

Et ceci correspond au "cycle" qu'on peut tirer de la théorie de la dérive des continents. Si l'histoire de la Terre se réduit (!) à des translations continentales, et si la géographie actuelle résulte de la dispersion des fragments d'un supercontinent unique, il n'est d'autre solution, quand on veut remonter au-delà de cette Pangée permienne, que de rechercher une réunion antérieure des morceaux, et, plus loin encore, d'autres alternances de divergence et de convergence.

Notons que Wegener s'arrêtait dans son essai de reconstitution du passé, à partir de l'état présent, au Carbonifère supérieur, quand les continents étaient soudés (26). Et, de fait, la Pangée carbonifère constitue un admirable **point de départ**. La marche rétrograde qui permet d'y aboutir, à partir de la disposition actuelle, peut alors s'inverser, et la nar-

divergence et
convergence
des fragments
continentaux...

suffiraient-elles à
organiser un
cycle ?

(24) Cf. par exemple les cartes de "répartition des formations glaciaires (tillites) et des mixites aux protérozoïques moyen et supérieur", d'après SCHERMERHORN (1974) et celle de "répartition mondiale des quartzites zonées ferrifères du Protérozoïque inférieur", d'après GOODWIN, in POMEROL, Ch., et BABIN, C., *Statigraphie et Paléogéographie, Précambrien - ère Paléozoïque*, Paris, 1977, pp. 43-45.

(25) COGNÉ, J., et WRIGHT, A.E., "L'orogène cadomien. Vers un essai d'interprétation paléogéodynamique unitaire des phénomènes orogéniques fini-précambriens d'Europe moyenne et occidentale et leur signification à l'origine de la croûte et du mobilisme varisque puis alpin", in *Colloque Géologie de l'Europe du Précambrien aux bassins sédimentaires post-hercyniens* (direct. J. COGNÉ et M. SLANSKY, 26^e Congrès Géol. Intern., B.R.G.M., Soc. Géol. du Nord, Villeneuve d'Ascq, 1980, fig 1, p.30.

(26) WEGENER, A., *loc.cit.*, fig. 4 et 5, pp. 18-19.

ration devenir directe. Pour écrire l'histoire d'un ensemble il faut disposer d'une origine indiscutable.

Mais l'origine peut désigner un simple repère. Ainsi en va-t-il en mathématique où l'on fixe une "origine" arbitraire sur un axe défini. Elle peut être, au contraire, un commencement absolu. Le *big bang* de la cosmologie contemporaine marque le début de l'expansion de notre Univers. Or, comme le note Evry Schatzman, "*l'expansion de l'Univers est si étroitement associée à l'idée de commencement qu'elle évoque irrésistiblement dans les esprits l'idée de création*" (27).

mais à partir de
quand ?

Bien sûr, la Pangée carbonifère n'a pas des traits originels aussi décisifs. D'autant qu'elle n'est pas au début d'une phase d'expansion, mais d'un processus de fragmentation. Pourtant elle représente quand même, d'une certaine façon un commencement. Mais commencement de quoi ? Car ce processus (encore en cours) ne couvre que le quinzième de l'histoire de la Terre. Le début d'éclatement du supercontinent wegenerien ne peut être une origine absolue comme le *big bang* ou l'apparition de la vie. C'est seulement un commencement relatif, précédé donc de phases antérieures. L'histoire est contrainte de faire alterner les mouvements centrifuges et centripètes des fragments continentaux.

l'univers s'est-il
condensé ?

Mais ce que nous enseigne l'astronomie, c'est qu'il n'est pas commode de bâtir un cycle qui repasse périodiquement par un événement aussi dramatique que le *big bang*. Personne ne peut aujourd'hui répondre à la question : "qu'y a-t-il eu **avant** la phase ultra-dense ?" (28). Ceux qui refusent de faire du *big bang* une origine absolue, ou une création, n'ont guère d'autre ressource que d'imaginer une phase inverse de concentration infinie (29).

Il n'est pas besoin de trop forcer la note pour sentir que le cycle qui se construit par la répétition de tels phénomènes se rapproche de celui de la Grande Année, de l'éternel retour. Le cycle géologique, qui se voulait une synthèse entre le cycle antique et le déroulement linéaire continu, qui se voulait un processus à la fois répétitif et irréversible, est-il en train de dévier ?

Dès qu'on veut reconstituer le passé, on est pris entre deux pièges. Ou bien on prend pour fil directeur un élément qui semble permanent (ou, au moins, réapparaît périodiquement) et l'on est enclin à ne pas voir ce qui se modifie. Ou bien, au contraire, on a mis la main sur un paramètre

(27) SCHATZMAN, E., "L'Astronomie et les mythes", in *Cahiers rationalistes*, n° 375 (fév. 1982), p. 149. Également, id., "À propos de la cosmogonie", in *Raison Présente*, n° 46 (avril-juin 1978), pp. 61-68.

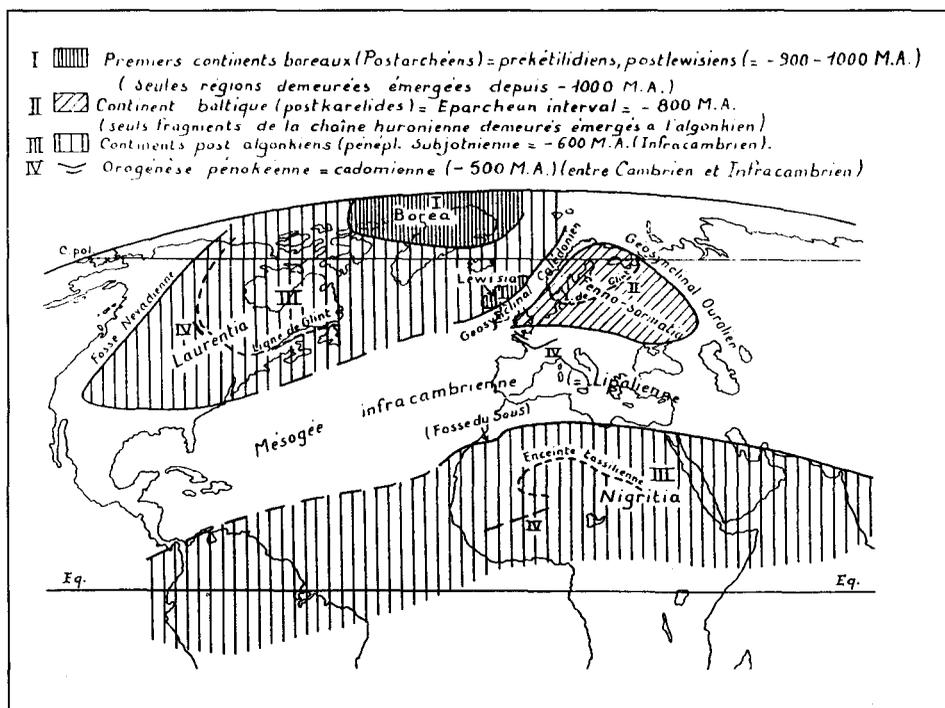
(28) *Ibid.*, p. 149.

(29) Notons que l'autre façon de refuser les conséquences de la théorie du *big bang* est d'admettre, comme F. HOYLÉ, la "création continue" de matière. On rejoint, d'une certaine manière, l'uniformitarisme lyellien.

variable, mais on a choisi, alors, un objet qui changeait régulièrement dans un sens défini, et l'histoire est purement linéaire.

On pourrait penser que depuis que les fondateurs de la géologie moderne y ont introduit la répétition des orogénèses, l'histoire de la Terre est définitivement bâtie sur un modèle cyclique. Ce n'est peut-être pas aussi automatique. La théorie de Wegener s'accorde, comme on vient de voir, avec l'idée d'une situation originelle (le surcontinent) et d'un mouvement irréversible des continents. Mais la façon dont on voyait l'histoire de la Terre vers 1950 était tout aussi linéaire, semble-t-il. Si l'on prend le cours que professait Pierre Pruvost dans la première chaire française de géologie (Sorbonne), on découvre que le monde précambrien est fait de noyaux continentaux qui s'accroissent progressivement et se réunissent. Ainsi les petits continents de la Borea et de la Lewisia sont-ils devenus, à la fin de cette longue ère, des éléments de la Laurentia, grand continent Nord-Atlantique (30) (document 3).

le modèle
linéaire des
années 50



Document 3. Les plus anciens traits paléogéographiques discernables
D'après Pruvost, 1953-1954.

(30) PRUVOST, P., *Cours de stratigraphie - Précambrien et Infracambrien*, Cours polycopié, année 1953-1954, rédigé par J. GUFFROY, public. A.C.E.S., Paris, figures 12 et 14, notamment.

Les orogénèses ne marquent pas des changements de sens du processus, mais simplement les étapes d'un accroissement rigoureusement orienté. L'histoire est une croissance, un développement. Nous sommes bien loin du cycle huttorien si répétitif.

Finalement, la façon peut-être la plus riche de voir le cycle des géologues, parce qu'elle ferait la synthèse entre la répétition et le changement irréversible, et qu'elle éviterait alors le piège de chacune des deux solutions extrêmes, serait celle qu'exprimait Léon Lutaud, quand il écrivait :

"Un cycle d'érosion s'arrête, et il y a mise en œuvre d'un nouveau cycle d'érosion, chaque fois qu'un événement tectonique et orogénique a été suffisamment marqué et rapide pour interrompre la marche normale et l'achèvement de l'érosion précédemment en cours et pour imposer dorénavant aux eaux, dans la région considérée, un nouveau mode de travail, générateur de formes neuves, qui ne sont pas la suite et l'aboutissement normal de celles que l'érosion précédente avait déjà amorcées ou accomplies." (31)

La définition se rapporte au seul cycle d'érosion, mais, en fait, elle peut s'étendre à tout cycle. En substance, les cycles successifs sont des périodes ayant chacune son style.

vers un modèle
d'irréversibilité
non linéaire

S'il y a du nouveau, dans la répétition et la continuité, et si le cycle ne marque ni le retour du même ordre, ni les phases de la même édification, c'est peut-être qu'il correspond au changement de direction d'un déroulement, irréversible sans être linéaire, assez brutal et inattendu pour rompre le cours prévisible des choses.

La théorie de la dérive des continents met l'accent sur la permanence ? Mais la théorie actuelle des plaques lithosphériques n'est pas celle de Wegener.

La géologie était avant tout la science de la formation des continents. Elle est peut-être en train de devenir celle de la formation des océans. On divisait le temps en phases orogéniques parce qu'elles étaient les étapes de cette édification des masses continentales. Les stades que nous devons désormais considérer sont ceux qui modifient le visage des mers.

J. Dercourt, notait, en 1970 que l'on devrait porter son attention à la distribution des zones d'expansion océanique (Z.E.O.). Et il ajoutait :

"Le globe est enserré dans un filet non pérennant de Z.E.O. À des temps bien déterminés de l'histoire du globe, un réseau est remplacé par un autre." (32)

(31) LUTAUD, L., "L'action géologique des eaux courantes", in GOGUEL, J., (direction de), *La Terre*, Paris, 1959, p. 1230.

(32) DERCOURT, J., "L'expansion océanique actuelle et fossile : ses implications géotectoniques", in *Bull. Soc. Géol. France*, 7^e série, t. XII, année 1970, Paris, 1971, p. 261.

Le passage d'un réseau à l'autre peut-il être considéré comme un événement venant "interrompre la marche normale" des processus antérieurs ? Il est plus sage de s'arrêter sur cette interrogation (33).

Gabriel GOHAU
Lycée Janson de Sailly, Paris

(33) Pour compléter son information, le lecteur pourra lire : DALZIEL, I., "La Terre avant la Pangée", *Pour la science*, n° 209, mars 1995, p. 68-73.

SÉISMES, ÉRUPTIONS VOLCANIQUES ET INTÉRIEUR DE LA TERRE : CONCEPTIONS D'ÉLÈVES DE HUIT À DIX ANS

Jean-Charles Allain

Aborder à l'école élémentaire, avec des jeunes élèves de huit à dix ans, les notions de "séismes et d'éruptions volcaniques" pose des problèmes de transposition didactique. Comment rendre accessibles les données modernes de la science, comment simplifier sans trahir et sans renforcer des obstacles déjà existants ? Pour mettre en évidence les difficultés, les confusions et les protoconcepts en construction, les conceptions initiales des élèves sont recueillies et analysées.

séismes et
éruptions
volcaniques

Le présent article envisage de situer le cadre notionnel de référence, "séismes et éruptions volcaniques", et évoque les problèmes de transposition didactique pour l'adapter au cycle 3 de l'école élémentaire (élèves de huit à dix ans). L'analyse des conceptions initiales des élèves, extraordinairement variées sur le sujet, sera envisagée dans le but de repérer leurs sources et surtout les difficultés et obstacles qu'elles mettent à jour.

1. LE CHAMP NOTIONNEL

1.1. Un cadre de référence

dans les
programmes et
instructions
officielles

Depuis 1985, le sujet d'étude "Volcans, tremblements de terre" figure pour le Cours Moyen (cycle 3) dans les Instructions officielles concernant l'enseignement de la biologie et de la géologie à l'école élémentaire. En 1986, des compléments des Instructions officielles, plus explicites, sont donnés aux maîtres : *"La Terre est une planète active, les volcans et les tremblements de terre sont les principales manifestations de cette activité. [...] La répartition des volcans et celle des tremblements de terre s'expliquent par une structure discontinue de la croûte terrestre. [...] Faire une approche simple du modèle proposé par les géologues pour expliquer cette répartition."*

En 1994, dans le projet de nouvelles instructions, bien que "noyé" dans le domaine "Le ciel et la Terre", le sujet doit toujours être abordé au cycle 3 sous une nouvelle appellation : "Séismes et éruptions volcaniques".

Depuis 1985, le sujet figure aussi au programme de la classe de quatrième de collège à un niveau d'approche plus complexe :

"- Une manifestation de l'activité du globe : le volcanisme. Mise en place, structure de la roche, origine d'une lave. Formation de la croûte océanique.

- Les autres manifestations de l'activité du globe : séismes, déformations des roches. Continents, océans, structure du globe.

- Tectonique globale."

1.2. Des problèmes de transposition didactique

Le passage du "savoir savant au savoir à enseigner" se pose de manière cruciale pour le sujet abordé car notre étude porte sur des élèves de 8 à 10 ans. Avec ces jeunes élèves, il ne s'agit évidemment pas de donner de manière magistrale les arguments anciens et modernes qui ont conduit à la naissance de la théorie de la tectonique des plaques, mais d'en faire apparaître quelques-uns à partir de documents divers pour qu'ils se construisent un modèle mental simple et efficace des principaux types de mouvements de l'écorce terrestre, et commencent à entrevoir la différence entre un continent et une plaque. La difficulté pour l'enseignant, plus particulièrement l'enseignant polyvalent du primaire, est de ne pas donner une image trop caricaturale de la théorie. Elle ne devrait pas être présentée comme un dogme car de nombreuses interrogations subsistent.

ne pas donner
une image trop
caricaturale de
la théorie

Quels arguments sélectionner pour atteindre ce but ? L'argument géographique de la dérive des continents est bien sûr le plus pertinent pour cette tranche d'âge et l'argument majeur du paléomagnétisme ne peut être abordé (il ne le sera vraiment que dans la classe de première de lycée).

L'approche peut être tout à fait classique quant à la progression notionnelle suivie.

- Les volcans : manifestations d'éruptions volcaniques et conséquences, descriptions d'édifices volcaniques, deux grands types d'éruptions volcaniques, localisation géographique mondiale. Il me semble que les volcans de "points chauds" n'ont pas à être abordés à ce niveau de formulation.

- Les tremblements de terre : manifestations et conséquences, intensité et mesure, prévention, localisation géographique mondiale.

- Cette double approche des phénomènes volcaniques et sismiques doit conduire à développer un questionnement à propos de leur localisation et à rechercher les causes, les liens éventuels et donc à déboucher sur une formulation simplifiée de la théorie explicative.

L'approche peut être plus originale quant à l'utilisation d'images de toutes sortes (un article ultérieur abordera cet aspect). Se pose alors le problème de la pertinence de ces

images, de leur intelligibilité pour faire comprendre les mouvements de l'écorce terrestre.

comment traduire sans trahir

Quels mots utiliser ? L'enseignement de cette notion renvoie à des problèmes semblables à ceux de la vulgarisation scientifique. Comment traduire le savoir savant sans en donner une image caricaturale et simpliste ? Des efforts doivent être fournis pour choisir des mots simples, les plus pertinents possible et pour les illustrer au mieux. Par exemple :

deux familles d'éruptions

- pour les volcans, *"lave, gaz, coulées, cendres, roche, cheminée, cratère, volcans en activité permanente ou intermittente, magma, écorce terrestre"* et éventuellement les deux familles d'éruptions volcaniques : à coulées de lave (*"volcan effusif"*) et explosives,
- pour les tremblements de terre, *"sismogramme, ondes, intensité, échelle de Richter"*,
- pour la théorie explicative, *"plaque"*, sans citer l'expression de *"tectonique des plaques"* mais en insistant sur la mise en image des différents types de mouvements : *"montée de magma dans les rifts et écartement des plaques, affrontement entre deux plaques, enfoncement d'une plaque sous une autre* (sans utiliser forcément le terme de subduction et en évitant de considérer l'expansion océanique comme le seul moteur du mouvement des plaques), *ce qui provoque la formation de volcans dangereux à éruptions explosives, de séismes violents et très nombreux et la formation de chaînes de montagnes"*.

2. LES CONCEPTIONS INITIALES D'ÉLÈVES DE HUIT-DIX ANS

2.1. Méthodologie

recueil des conceptions initiales

Le recueil des conceptions initiales des élèves s'est fait avant toute activité scientifique sur le sujet. La technique utilisée a été, dans la majorité des cas, le dessin individuel, parfois un questionnaire écrit. Des entretiens ont été réalisés, des confrontations orales quelquefois effectuées après la réalisation des dessins ; cela a permis à certains élèves de préciser leurs idées. Il est évident qu'une combinaison de ces techniques doit être réalisée pour gagner en pertinence lors de l'analyse et de l'interprétation.

repérer les stratégies mentales

Le recueil de ces conceptions n'a pas pour seul but d'en dresser un catalogue ; leur analyse doit permettre de **repérer les stratégies mentales** utilisées par les élèves face à un problème posé de manière conjoncturelle (à l'occasion de cette expérimentation par exemple) et donc d'avoir une **idée du modèle mental** qui fonctionne à cet instant.

Cette méthode permet de rendre visibles les **différents points de vue** des élèves. Ainsi apparaissent des écarts très

importants, soit d'un élève à un autre, soit entre le savoir des élèves et le savoir admis par la communauté scientifique. Mais malgré cette extraordinaire diversité, des **constantes** apparaissent avec une certaine stabilité d'une classe à une autre, même après plusieurs années de recueil de ces conceptions. Leur analyse révèle donc bien les façons de penser des élèves et traduit leurs différentes tentatives d'explication, ici de phénomènes naturels. D'autre part leur analyse permet encore de repérer l'influence de l'actualité et l'impact des apports médiatiques et donc d'avoir quelques idées sur les processus d'élaboration de ces conceptions.

Enfin, connaître les conceptions initiales permet de suivre leur évolution au cours d'activités didactiques, leur déstabilisation, leur transformation, les **processus de changement de ces conceptions** conduisant à leur **restructuration**.

2.2. Conceptions à propos des volcans

description
stéréotypée

Quand on demande aux élèves de cycle 3 : "Explique, à l'aide d'un dessin, ce qu'est pour toi un volcan", ils représentent le plus souvent les volcans en éruption émettant des laves depuis un cratère ou "*crachant le feu souterrain*". Les volcans sont plutôt décrits de façon stéréotypée comme "*une montagne pointue*", "*une montagne volcanique*" ou "*une montagne qui s'est creusée elle-même*" par où sort "*de la fumée, de la lave, du feu, des explosions*".

Pratiquement tous les élèves associent volcan à montagne et relief. Les mots les plus souvent placés en légende sont, par ordre décroissant : **lave, cratère, fumée, magma, éruption, pierre volcanique**. Parfois la cheminée est représentée avec un réservoir de lave interne au volcan (fig. 1.1.), sans que cette cheminée s'enfonce à l'intérieur de la Terre. Au contraire, d'autres élèves (fig. 1.2.) enracinent cette cheminée plus profondément : "*la lave vient du centre de la terre*".

prégnance des
aspects
spectaculaires et
catastrophiques

Quand on demande à ces élèves de s'exprimer oralement, c'est souvent **les aspects spectaculaires et grandioses** qui apparaissent le plus spontanément. L'accent est mis dans ces cas sur la beauté des phénomènes éruptifs : couleur de la lave, projections solides. Les dégâts matériels et les drames humains font l'objet de longs commentaires de la part des enfants. **L'approche catastrophique ou catastrophiste** des phénomènes l'emporte souvent, à l'oral plus qu'à l'écrit, sur d'autres types de réflexion. **L'aspect dévastateur** de même que **l'aspect terrifiant** sont parfois évoqués. Pour certains enfants, le volcan fait preuve d'une force incommensurable : "*Le volcan a beaucoup de force, ça détruit tout sur son passage*". D'autres évoquent les **manifestations des éruptions** : "*c'est du feu et de la lave, - des fumées épaisses et noires, - des pierres recouvertes de lave brûlante envoyées dans les airs*".

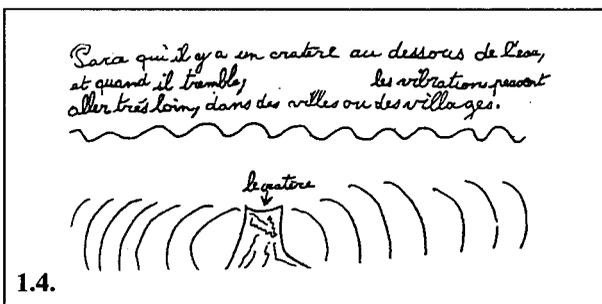
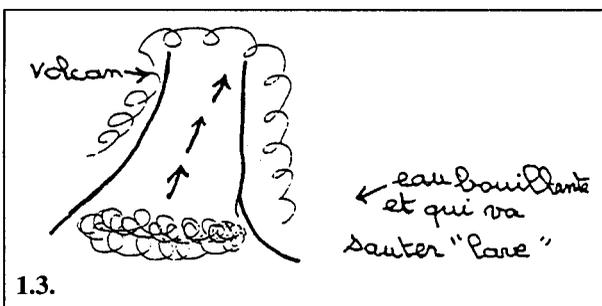
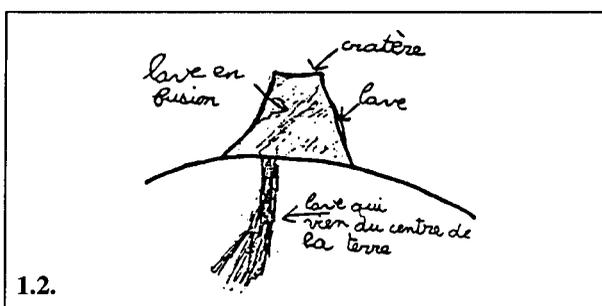
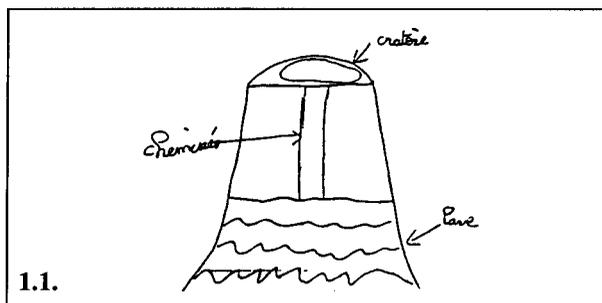


Figure 1. Quelques exemples de conceptions initiales sur les volcans et les causes des tremblements de terre (Cours Moyen)

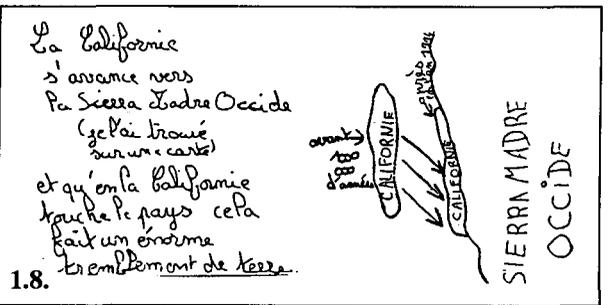
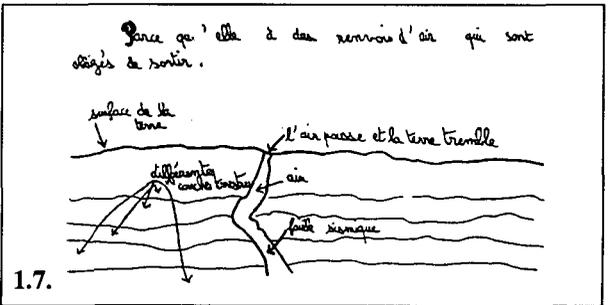
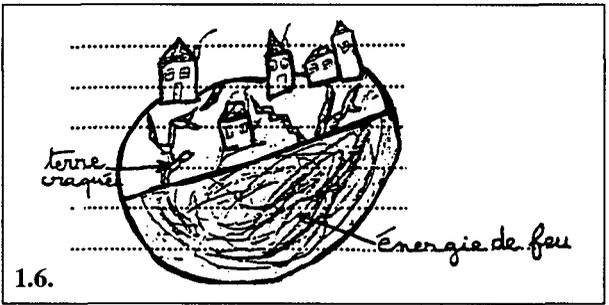
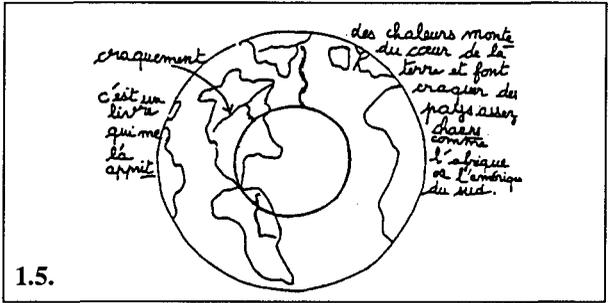


Figure 1 (suite). Quelques exemples de conceptions initiales sur les volcans et les causes des tremblements de terre (Cours Moyen)

des tentatives
d'explication de
nature physique

Certains élèves de Cours Moyen 2^{ème} année émettent cependant **quelques tentatives d'explication du phénomène éruptif** en évoquant une cause de nature physique par un **raisonnement analogique**. Ils rapprochent par exemple la chaleur dégagée par la lave au cours d'une éruption avec la combustion du charbon : *"La lave c'est de la terre et du charbon mélangés et fondus"* (cf. l'hypothèse de Werner à la fin du XVIII^e siècle !) ou avec le phénomène d'ébullition de l'eau : *"La lave monte de plus en plus, un moment, la lave déborde car la terre devient de plus en plus chaude (fig. 1.3.). - Si la chaleur dépasse une certaine température, le volcan se met à cracher du feu et cela produit l'éruption."* (voir aussi les travaux de J. Deunff et ses collaborateurs, 1990)

Enfin, des élèves notent parfois que *"des volcans sont endormis et ne sont plus dangereux"*. La diversité des formes volcaniques n'est jamais mentionnée, pas plus que celle des éruptions. Le terme *"magma"* apparaît parfois mais ses relations avec la lave sont encore ambiguës.

Ce diagnostic initial révèle donc des connaissances le plus souvent ponctuelles et de nature descriptive, sans véritable relation entre les différents éléments. Les aspects spectaculaires l'emportent au moins à l'oral, sur les descriptions objectives et les interrogations spontanées.

2.3. Conceptions à propos des séismes

des conceptions
variées...

Si les conceptions des élèves sur les volcans et les éruptions sont stéréotypées et peu variées, il en est autrement lorsqu'on propose à ces mêmes élèves d'évoquer les séismes et leurs causes. Quand on leur demande de définir un tremblement de terre, la plupart évoque **les manifestations destructrices et catastrophiques** : *"Les chiens aboient, les maisons s'écroulent. Les enfants ou les adultes peuvent mourir. - Les familles étaient terrifiées (Los Angeles, 1994) et n'avaient plus de maison."* D'autres envisagent déjà une **tentative d'explication naturelle** : *"Des failles se font dans le sol, les maisons s'écroulent. - Ça forme des craquelures et des fois, ça fait écrouler les maisons. - C'est une vibration du sol. - La terre se déchire, fait un grand creux. - C'est une tempête, une tornade."* Plus rarement, ils vont jusqu'à citer les plaques : *"Ce sont les plaques terrestres qui se rentrent dedans."*

mais des
catégories
constantes

À la question "Pourquoi la terre tremble-t-elle ?", les réponses obtenues à l'intérieur d'une même classe sont extraordinairement diverses. Mais, malgré de nombreuses variations individuelles, des **catégories constantes** apparaissent cependant dans toutes les classes testées (même si les proportions ont pu varier entre 1989 et 1994 : en 1994, moins d'élèves citent les volcans comme cause essentielle des séismes qu'en 1989. C'est là, sans doute la marque des médias qui donnent une place de plus en plus grande à ces

phénomènes et l'influence d'une actualité plus ou moins riche).

- **Les tremblements de terre sont provoqués par l'éruption des volcans**

les volcans

De nombreux élèves citent les volcans comme **déclencheurs des séismes** : *"Ça tremble quand les volcans sont allumés. - Parce que les cratères ont des colères. - La lave est tellement chaude qu'elle fait trembler la terre. - C'est à cause des volcans qui explosent."* En majorité, ils font appel aux différentes manifestations éruptives, aux émissions de lave à forte température et aux explosions. Un seul enfant a recours à l'influence des volcans sous-marins (fig. 1.4.) : *"Parce qu'il y a un cratère au dessous de l'eau et quand il tremble, les vibrations peuvent aller très loin, dans des villes ou des villages."* Peut-être a-t-il vu à la télévision des images de l'exploration des rifts au fond des océans ?

- **Les élèves évoquent des causes naturelles internes au globe terrestre**

chaleur, feu,
vibrations
internes, air

L'un d'entre eux, en Cours Élémentaire 2^{ème} année, fait un dessin remarquable (fig. 1.5.) : *"Des chaleurs montent du cœur de la terre et font craquer des pays assez chauds comme l'Afrique et l'Amérique du Sud."* Un autre, en Cours Moyen évoque un mécanisme voisin : *"Parce que la terre se met à chauffer très fort, donc à l'intérieur, ça se met à bouillir et ça explose."* On trouve aussi : *"La terre est comme une boîte qui renferme une énergie de feu. Quand l'énergie est trop puissante, elle fait craquer la terre"* (CM2, fig. 1.6.).

Un autre va jusqu'à faire appel à des vibrations profondes : *"Le noyau au centre de la terre bouge et c'est ça qui fait les tremblements de terre"* et un autre à la circulation d'air dans la terre : *"La terre a des renvois d'air, l'air pousse et la terre tremble"* (fig. 1.7.). On ne peut que penser aux célèbres "vents souterrains" d'Aristote.

Un élève de dix ans, face à l'extraordinaire puissance de ces phénomènes tectoniques, imagine un dispositif de propulsion du magma depuis l'intérieur de la Terre. *"La terre tremble parce que le magma qui est au centre de la terre a une sorte de propulseur qui peu à peu détruit la terre avec la lave."*

- **Des causes atmosphériques**

vent, climat
chaud ou froid...

"La terre tremble parce que le vent soulève la terre. - La terre vibre à cause des tempêtes violentes. - La terre tremble quand l'eau monte ; elle casse tout." Quelques élèves établissent nettement une relation entre le climat chaud et les séismes (fig. 1.5.) : confusion à propos des concepts de chaleur-pays chaud et chaleur de la lave. Étonnamment, deux autres élèves d'une autre classe établissent la relation inverse : *"Quand la terre est froide, il y a des tremblements*

de terre. - *Il fait tellement froid que ça fait trembler la terre.*" Dans un registre très voisin les élèves envisagent parfois le rapprochement de la Terre avec le Soleil.

... pollution
atmosphérique

D'autres fois la confusion porte sur un autre phénomène planétaire : les conséquences écologiques d'une destruction éventuelle de la couche d'ozone : *"parce qu'il y a des produits qui enlèvent la couche d'ozone et la couche d'ozone protège la terre"*.

• **Des causes tectoniques**

causes
tectoniques
locales...

Elles peuvent être locales : *"craquelure, fissure, faille, ravin"*. *"La terre se craque. - Parce que les pays se partagent. - Ce sont des fissures qui provoquent les tremblements de terre. - Il y a dans quelques pays, comme des tout petits ravins, ça se rapproche et ça se frotte."* Une "faille sismique" est indiquée en légende d'un dessin (fig. 1.7.).

ou à grande
échelle

Les causes tectoniques sont envisagées aussi à l'échelle des continents. Des élèves évoquent carrément, avant tout apport scolaire, des déplacements des continents, voire même des plaques donc des mouvements latéraux. *"Les morceaux de terre se rapprochent et quand ils se touchent, ça fait des tremblements de terre. - C'est une terre qui se sépare en deux morceaux. - Parce que l'Espagne et l'Afrique se sont rentrées dedans. - Parce que deux plaques se rencontrent. - La terre tremble car il y a des grandes plaques et lorsqu'elles bougent, cela fait un tremblement de terre."* Une élève va jusqu'à dessiner (fig. 1.8.) le déplacement de la Californie par rapport au reste du continent américain. Un autre, l'affrontement de l'Inde et de l'Asie.

Deux exemples à propos de la formation des chaînes de montagnes sont apparus : *"La terre tremble pour faire de la place pour d'autres montagnes. - C'est les plissements de l'écorce terrestre, en bougeant, qui forment les tremblements de terre."* Dans ces deux cas, les élèves évoquent une relation séisme/formation de chaînes de montagnes mais la première de ces propositions est très entachée de finalisme.

Pour un élève, la Terre est, semble-t-il, en expansion : *"La terre tremble parce qu'elle est en train de s'agrandir."* Théorie réfutée par de nombreux scientifiques mais qui a encore des adeptes. Antoine, dans un autre CM2, propose une formulation voisine : *"Parce que la terre remonte pendant des millions ou des milliards d'années."* Même idée, à moins que nous retrouvions là le principe de la théorie de l'isostasie (un des premiers mouvements connus de l'écorce terrestre fut le relèvement de un mètre par siècle de la Scandinavie).

• **La rotation de la Terre**

"Je pense qu'un léger décalage de temps sur les rotations de la terre peut créer un tremblement de terre." Ou encore : *"La terre tremble parce si elle ne tremblait pas, il n'y aurait pas*

de jours et de nuits." Il est difficile de voir autre chose, chez ces élèves de CM, qu'une confusion trembler/tourner !?

- **Des causes humaines**

plus rarement
des causes
humaines

"La terre tremble parce qu'il y a des gens qui font la guerre et qui jettent des bombes qui explosent dans les villes et les pays. - La terre tremble quand les mirages (avions d'une base militaire voisine) décollent." Forte influence de l'actualité, du milieu environnant mais confusion des genres. En fait, pour cette tranche d'âge envisagée (huit à dix ans), seulement deux élèves (sur 200) ont proposé l'activité de l'homme. Sans doute avec des élèves plus jeunes, cette proportion aurait-elle été plus forte. J. Deunff et son équipe (1990) précisent qu'à la question : "Comment les montagnes se sont-elles formées ?", les élèves de Cours Préparatoire (six ans) font d'abord intervenir une puissance surnaturelle ou magique, ou encore humaine ou biologique.

- **Des causes extra-terrestres**

les météorites

"Une autre planète croise la terre. La terre tremble parce que des boules de feu foncent sur la terre. La terre tremble parce que les météorites s'écrasent sur la terre." Confusion peut-être due à l'actualité ; en effet depuis plusieurs années l'hypothèse catastrophiste météoritique de la disparition des dinosaures à la fin de l'ère secondaire est souvent reprise par les médias.

2.4. Conceptions à propos de l'intérieur de la Terre

Pour la plupart des élèves de cycle 3, la représentation de la Terre est sphérique avec des couches superposées (fig. 2.1. et fig. 2.2.). Les mots qui reviennent les plus fréquemment sont *magma*, *noyau*, *croûte* ou *terre* et parfois *manteau* (sans définition aucune).

La Terre contient du magma (ou de la lave) parfois localisé dans un réservoir : "Le noyau est du magma. - Une boule de magma entourée de plusieurs couches. - Le magma s'appelle la lave." Quelques rares fois (fig. 2.3.) des communications sont envisagées entre un réservoir central de lave et les volcans à la surface : "Dessous la terre, il y a de la lave et plus la lave remonte, plus la terre tremble".

La Terre est une boule de feu : l'existence d'un feu souterrain est parfois avancée (fig. 2.4.), sans doute en relation avec les phénomènes éruptifs visibles en surface. Chez d'autres élèves c'est l'idée de chaleur qui est mise en avant : "Le centre de la Terre est très chaud. - La chaleur tourne (ou le vent) dans la Terre".

De l'eau dans la Terre (fig. 2.4.) : "Quand il pleut, ça s'évapore et ça rentre dans la terre. - Si la terre tremble, l'eau monte, déborde et noie les personnes" (allusion aux raz de marée mais confusion cause/conséquence).

La Terre est solide : "grosse boule de terre dure et solide".

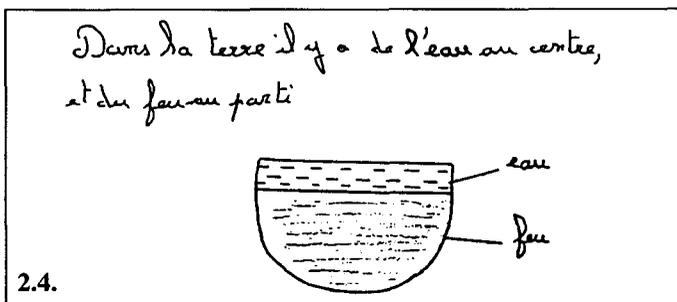
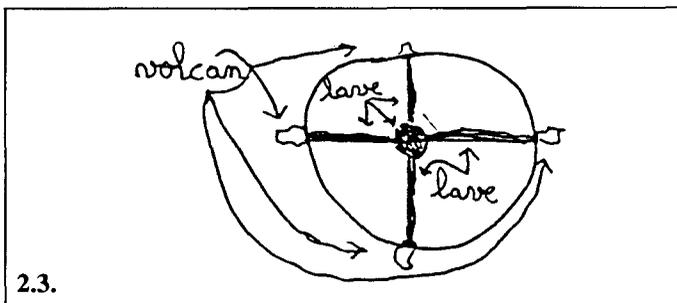
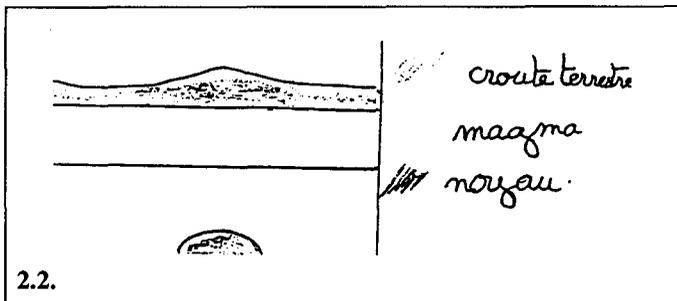
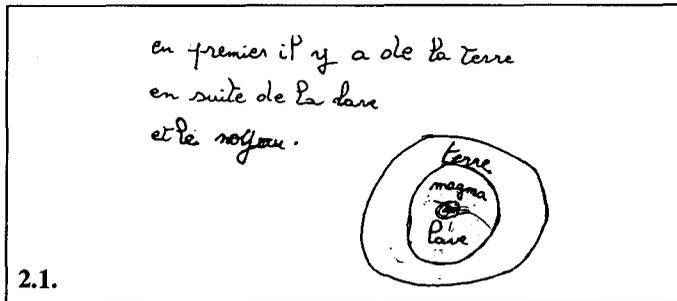


Figure 2. Quelques exemples de conceptions initiales à propos de l'intérieur de la Terre (Cours Moyen)

une couche
uniforme de
magma

Quelques-unes des conceptions exprimées par les élèves à propos de l'intérieur de la Terre ont manifestement pour origine un savoir scolaire antérieur et témoignent de sources livresques (noyau, manteau, croûte). D'autres conceptions naissent du "*primat de la perception immédiate*" (Bachelard), par exemple l'enfant voit de la lave sortir en fusion des volcans et imagine que la Terre est formée d'une couche uniforme de magma ou d'un "*noyau de magma*". Inversement, d'autres enfants ne ressentant pas la terre bouger l'imaginent "*dure et solide*".

des difficultés

Quelques relations sont envisagées entre la surface et l'intérieur de la Terre (eau/tremblement de terre, lave/volcans/magma) mais en fait, à cet âge, peu d'élèves explicitent clairement des liens entre des phénomènes internes et des manifestations externes. Difficulté, certainement à imaginer ce qui est invisible : "*l'intérieur est tout noir*" !

2.5. Analyse

des conceptions
variées et
hétérogènes

Comme nous avons pu le constater avec l'inventaire précédent, les conceptions des élèves à propos de ces phénomènes volcaniques et sismiques sont **multiples et hétérogènes**. Ce constat est beaucoup plus net pour les causes des tremblements de terre que pour les phénomènes volcaniques. On ne peut repérer, pour les concepts abordés, une progression des conceptions qui rappellerait l'évolution historique des idées, mais on retrouve là une situation analogue à celle du XVIII^e ou du XIX^e siècle pendant lesquels de multiples hypothèses virent le jour. Certaines étaient sérieuses et étayées par des études longues et des mesures (cf. la corrélation entre les séismes et les saisons), d'autres plus fantaisistes (feu électrique, cyclone...) furent oubliées rapidement par l'histoire.

recours à des
causes naturelles

Les élèves de huit à dix ans ont recours quasi systématiquement à des **causes naturelles** (volcans, chaleur, feu, air...) pour expliquer ces phénomènes. Parfois, ils les empruntent à d'autres domaines (vent, pluie, ozone...), voire ils évoquent des causes extraterrestres (météorite, étoile, planète).

un stade
précurseur ?

Il est difficile de relever une progression de la pensée de l'enfant pour la tranche d'âge considérée et on ne peut pas nettement repérer un type de conception précédant un autre. Néanmoins, on peut prétendre que le stade "**volcans = cause des tremblements de terre**", chez une majorité d'élèves, précède celui de "causes tectoniques avec déplacement de continents" puis "déplacement de plaques".

• *Des systèmes explicatifs efficaces provisoirement*

Parmi les conceptions exprimées par ces élèves, nombre d'entre elles sont inexactes, au moins partiellement. C'est le cas par exemple de l'affirmation selon laquelle les tremblements de terre sont provoqués par les éruptions volca-

niques. Mais certains des modèles mentaux analysés, même faux, doivent constituer pour les enfants de cet âge **un système explicatif provisoire efficace momentanément**. Dans l'affirmation, par les enfants, de l'existence d'une causalité linéaire simple : "éruption volcanique → séisme", il y a l'idée positive d'un lien entre ces deux phénomènes (mal exprimé, bien sûr) et l'idée de magma sous-jacent. Deux idées encore confuses dans leur esprit mais qui pourront être exploitées plus tard en classe (en quatrième de collège). Peut-être ces conceptions sur les tremblements de terre, même inexactes pour beaucoup d'entre elles, ne représentent-elles pas des obstacles forts qui s'opposent à la construction du savoir, mais plutôt des **passages obligés non bloquants** pour l'élève ?

passages
obligés ?

• Des sources de difficultés

L'analyse de ces conceptions révèle quelques obstacles de nature épistémologique et d'autres simplement de nature didactique. Dans une perspective constructiviste, après analyse de la matière à enseigner, cette étude des conceptions des élèves devra être suivie d'une prise en compte des difficultés repérées. Un dispositif didactique pourra mettre l'accent, par une confrontation des différents points de vue, sur les obstacles à dépasser.

Parmi les obstacles épistémologiques définis selon Bachelard (1938), dans le domaine notionnel qui nous concerne, on peut évoquer le **fixisme**, c'est-à-dire une vision statique de la Terre, obstacle au développement du concept de temps géologique. Pour les élèves que nous avons observés, cet obstacle ne semble vraiment pas être très fort. En effet, beaucoup d'entre eux, dès huit ans, envisagent facilement des mouvements de continents à la surface de la Terre.

L'analyse des travaux des élèves montre quelques exemples de deux autres obstacles de même nature : l'anthropomorphisme et l'artificialisme.

L'anthropomorphisme : dans ce cas, il y a correspondance abusive entre le fonctionnement de la nature et celui de l'homme. L'élève, à propos de ces phénomènes naturels, utilise des expressions qui traduisent des sentiments, des comportements humains. J. Deunff et al. (1990) précisent que des élèves de CM2 définissent le volcan comme "*une montagne en colère*" et que d'autres voient une éruption volcanique "*comme une poussée de boutons*" ou "*un volcan en colère qui s'énerve*". Nous-mêmes, dans ce registre, avons relevé les expressions suivantes : "*Un volcan crache sa lave*". - "*Des fissures qui souffrent*". - "*La terre a des renvois d'air*." En réalité, au cycle 3, ces adhérences anthropomorphiques sont très peu fréquentes. Elles le sont davantage chez des élèves plus jeunes.

des adhérences
anthropo-
morphiques peu
fréquentes

L'artificialisme : l'élève évoque l'homme et ses techniques pour donner une explication à ces phénomènes. Nous avons

influence de
l'actualité

relevé quelques rares cas dans ce domaine : une jeune élève de huit ans cite "la guerre" et "les bombes" comme étant à l'origine des tremblements de terre. Un autre imagine "un propulseur de magma". Il y a là, certainement une conception liée au savoir factuel avec une référence au modèle des machines.

En géologie, **la lenteur des processus géologiques les rendant quasi imperceptibles par rapport à l'échelle humaine** est souvent évoquée comme difficulté. C'est peut-être ici le cas quand il s'agit de se représenter la vitesse de déplacement des plaques, de chaque côté d'un rift, mais la soudaineté des phénomènes sismiques a tendance à masquer ce problème.

La profondeur et l'inaccessibilité : la plupart des phénomènes tectoniques se passent en effet sous la mer et ont d'ailleurs été ignorés pendant des siècles, jusqu'à une date récente. Cela peut constituer une gêne à la compréhension des mécanismes : en témoigne l'étonnement des élèves quand ils découvrent, par des images, les phénomènes éruptifs sous-marins !

difficulté pour
dépasser
l'échelle humaine

Des problèmes d'échelle : comment un élève peut-il associer un phénomène local à une cause plus générale et à une théorie globale pour la Terre ? Certains élèves, dans les mots qu'ils utilisent, traduisent ces problèmes. L'un d'eux emploie le mot de "plate-forme" au lieu de celui de "plaque", un autre confond les plaques du Bay Bridge avec celles de l'écorce terrestre.

Des confusions existent dans le vocabulaire :

- plate-forme / plaque, - granite / lave,
- feuille / plaque, - pierre volcanique / lave,
- larve / lave, - plasma / magma,
- coulis / coulées, - bassin / réservoir de magma...

Le sens donné à beaucoup de ces concepts, compte tenu du jeune âge des élèves, ne revêt certainement pas la signification donnée par les scientifiques. Beaucoup utilisent le mot de "plaque", mais sans le définir. Néanmoins, les plaques semblent correspondre déjà pour eux à des entités mobiles, des morceaux de l'écorce terrestre. Certains hésitent cependant à placer ces plaques à la surface du globe terrestre et les localisent plutôt en profondeur : "La terre tremble car les plaques sous les mers et les continents bougent". Parfois, différentes conceptions sont mêlées confusément en une seule réponse : "La terre tremble à cause des tremblements de terre, des volcans et des plaques."

des
protoconcepts
remodelables...
plutôt que des
obstacles forts

En définitive, les conceptions de ces jeunes élèves doivent plutôt être considérées comme des **protoconcepts** susceptibles d'être enrichis ou remodelés et non comme des obstacles forts qu'il faudrait détruire pour les dépasser.

2.6. Où ces conceptions initiales s'enracinent-elles ?

un monde
fascinant

Quel enfant n'a pas été un jour attiré par ces phénomènes spectaculaires et par la relation qu'on en faisait dans les journaux, dans les livres documentaires, à la radio ou, plus encore maintenant, à la télévision ? Il s'agit effectivement là d'un monde fascinant, attirant, où se côtoient la beauté et la destruction, l'attirance et l'impuissance, l'émotivité, l'irrationnel et la recherche d'explications scientifiques.

L'origine des conceptions est sans aucun doute multiple et complexe. Elles peuvent appartenir à différents registres : les règles du langage, la pensée dite primitive, la pensée dite commune ou bien encore les représentations sociales, etc. Dans le domaine qui nous concerne, en plus de l'**influence de l'environnement**, trois sources sont nettement apparues.

des sources
multiples

- **Le savoir scolaire** : les termes scientifiques de "*noyau*, *magma*, *lave*" semblent s'enraciner dans des activités scolaires menées les années précédentes en sciences ou en géographie.

- **Des sources documentaires livresques** : des élèves précisent avoir consulté des livres ou des cartes.

- **Des sources audiovisuelles** : beaucoup d'élèves reconnaissent avoir vu à la télévision des images sur le sujet. Nous n'avons pas cherché à repérer avec certitude l'origine précise de telle ou telle conception mais plutôt tenté de mesurer l'impact de la source télévisuelle. Dans une expérimentation menée à Dijon, en 1989 après le tremblement de terre de San Francisco (et renouvelée en 1990 et 1995), à la question "Qu'est-ce qu'un tremblement de terre ?" posée dans un pré-test, 65 % des enfants qui ont eu des informations par la télévision sur ce sujet obtiennent un bon score à cette question qui ne demande qu'une définition (Allain, 1994). Seulement 20 % des enfants qui n'ont pas eu d'informations par la TV avant la passation de ce test, réalisent le même score. De même, l'analyse des réponses des élèves (environ 150) à la question "Pourquoi la terre tremble-t-elle ?" fait apparaître que les élèves ayant bénéficié d'images TV se retrouvent plus nombreux avec un bon score que ceux qui n'ont pas eu cet apport. Un grand nombre d'élèves des classes testées obtient donc un meilleur score au pré-test après avoir vu des images télévisuelles sur le sujet, ce qui atteste, on peut le supposer, un meilleur niveau de conceptualisation.

impact des
apports
télévisuels

Une relation nette apparaît donc entre la télévision et la formation ou la transformation des conceptions des élèves pour le problème abordé. Il convient évidemment de nuancer ces propos par l'existence probable d'artefacts divers :

- actualité plus ou moins riche,
- attirance pour le spectaculaire,
- fascination pour les catastrophes...

des erreurs,
des confusions

Ces apports extérieurs de la sphère médiatique peuvent provoquer des erreurs et faire naître parfois une image mentale incorrecte ou confuse. Par exemple, au cours d'un test réalisé en 1990, un élève confond les images des plaques du tablier du pont de San Francisco vues à la télévision avec les plaques de l'écorce terrestre. Certains élèves évoquent des mouvements de plaques mais se trompent dans la formulation, "*plate-forme qui bouge*" ou situent ces plaques "*sous l'écorce terrestre*" ou "*sous les mers et les continents*". Un autre évoque le déplacement de la Californie par rapport au reste du continent américain mais la fait dériver vers le sud au lieu du nord. Erreur pas très grave au regard de l'idée déjà présente de déplacement de fragments de l'écorce terrestre. Certaines de ces erreurs pourraient irriter un spécialiste de la question mais nous devons relativiser leur importance par rapport à l'âge de ces élèves – neuf-dix ans en moyenne – et par rapport au fait que ces conceptions sont relevées avant toute activité sur le sujet.

Et l'école n'est-elle pas là pour organiser les connaissances de l'élève ?

2.7. Résistance au changement conceptuel

quelques
conceptions
résistent...

Certaines conceptions développées par les enfants peuvent se révéler persistantes et difficiles à faire évoluer : Terre = boule de feu, volcan = cause principale des tremblements de terre, couche de magma fluide uniforme sous la croûte solide. Dans le déroulement de l'histoire des sciences, on peut faire cette même remarque. Gabriel Gohau (1987) montre que "*la géologie fournit aussi des exemples démonstratifs de résistance de l'esprit à concevoir les notions modernes*". N'oublions pas, par exemple, les querelles entre fixistes et mobilistes après l'exposé de l'hypothèse de Wegener et les difficultés, à l'époque, à imaginer des mouvements latéraux.

mais la plupart
évoquent...

Néanmoins, cette persistance des conceptions est plutôt rare (d'un point de vue statistique) chez les élèves observés. Dans la majorité des cas, les résultats obtenus à des post-tests sont bons. On peut se demander si ces bons résultats sont seulement scolaires ou traduisent la création de nouveaux modèles solidement ancrés. La réalisation de post-tests avec réinvestissement, trois mois après les activités, nous laisse croire à la persistance des nouveaux modèles mentaux créés et à leur efficacité pour résoudre une situation-problème nouvelle, bien plus qu'à la persistance de modèles anciens.

Par ailleurs, le fait de penser à 8-10 ans qu'il existe un feu à l'intérieur de la Terre ou une couche de magma uniforme est bien sûr erroné mais, à ce niveau de formulation des concepts, cela ne semble pas vraiment un obstacle car c'est une idée qui permet aux enfants d'imaginer des mouvements de plaques de l'écorce terrestre solide sur une couche au comportement différent.

... avec
une approche
didactique
utilisant
des images

L'approche didactique, progressive, avec des images de toutes sortes que nous proposons dans notre recherche (1) n'est destinée qu'à provoquer une première évolution de ces conceptions sans que les conceptions initiales soient rejetées brutalement. À notre sens, il n'y a pas besoin d'une éradication brutale mais d'une déstabilisation des premiers modèles pour en provoquer la **fissuration** (Allain, 1990) et la restructuration progressive.

Là, les images peuvent être efficaces...

CONCLUSION

faire évoluer les
conceptions

Le tableau des conceptions présentés ci-dessus montre que les systèmes explicatifs proposés par ces jeunes élèves sont inexistantes pour certains, fantaisistes ou déjà pertinents pour d'autres. L'analyse de ces représentations révèle des obstacles à l'apprentissage, mais nous pensons que les conceptions, à cet âge restent très malléables d'autant plus que l'intérêt profond pour ce sujet peut être un puissant support d'apprentissage. L'enjeu didactique qui se pose aux enseignants est de ne pas renforcer ces difficultés existantes par une approche trop simpliste et d'imaginer des dispositifs pour faire évoluer ces conceptions (c'est ce que nous avons tenté de réaliser avec des images de toutes sortes et des activités sur ces images au sein de nos recherches à l'Institut National de Recherche Pédagogique).

Les élèves pourront alors changer de conceptions. Plusieurs façons pourront être repérées traduisant l'utilisation de diverses stratégies mentales :

plusieurs façons
de changer de
conceptions

- soit les élèves **ne tiennent pas compte** d'un nouvel apport (surtout s'il est extrascolaire, trop fugace ou difficilement compréhensible à leur niveau),
- soit ils **accolent** leurs conceptions anciennes à une nouvelle en changeant parfois simplement de termes, par exemple plaque à la place de continent,
- soit ils **intègrent des données nouvelles** à leurs conceptions initiales,
- soit ils **abandonnent** radicalement leur ancienne conception, **changent brutalement** et **adhèrent à une nouvelle conception** : failles, fissures, déplacement de continents, voire même idées correctes de déplacement de plaques de l'écorce terrestre.

Jean-Charles ALLAIN
IUFM de Bourgogne, Dijon
Équipe "Apprendre des sciences
avec des images", INRP

(1) De nombreux travaux de recherche ont été menés au niveau de l'école élémentaire par l'équipe INRP dirigée par Gérard Mottet (Allain, Boutot, Chaix, Dinard, Grosjean, Mahieu, Minguez) : "Représentations imagées et traitement des connaissances" de 1988 à 1992 puis "Des images pour apprendre des sciences" de 1992 à 1995.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALLAIN, J.-Ch., CHAIX, J.-P., DINARD, G., GROSJEAN, P., MAHIEU, B. (1990). *"J'ai vu à la télé... pourquoi la terre tremble"*. Paris : INRP, document interne.

ALLAIN, J.-Ch. (à paraître). "On T.V., I saw... why there are earthquakes" or Pictures for learning science. In *Actes du colloque "Les nouveaux modèles pour apprendre"*. Genève-Chamonix : IUBS-CBE/Association européenne de didactique de la biologie.

ALLAIN, J.-Ch. (1994). *L'évolution des conceptions d'élèves de huit-dix ans à propos des causes des tremblements de terre grâce à l'utilisation d'images*. Mémoire de DEA. Paris VII.

ALLAIN, J.-Ch. & DINARD, G. (1994). Volcans, tremblements de terre - Figures, schémas et modèles - Des images pour schématiser et modéliser. In *Actes du colloque Audiovisuel, formation initiale et formation continue des enseignants, 23-25 novembre 1992*. Paris : INRP.

ASTOLFI, J.-P. & DEVELAY, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris : PUF, coll. Que sais-je ?

BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.

DEUNFF, J. & al. (1990). *Contribution à la définition de modèles didactiques pour une approche de la géologie à l'école élémentaire et dans la formation des maîtres*. Paris : Ministère de l'Education Nationale/Direction des Ecoles. Réédité (1995) au CRDP de Poitou-Charentes.

GOHAU, G. (1987). *Histoire de la géologie*. Paris : La Découverte.

MOTTET, G. & al. (1994). Des images pour apprendre les sciences. In *Actes du colloque Audiovisuel, formation initiale et formation continue des enseignants, 23-25 novembre 1992*. Paris : INRP.

MOTTET, G., ALLAIN, J.-Ch., BOUTOT, B., MINGUEZ, R. (1993). *Volcans, tremblements de terre- Images descriptives, images explicatives*. Paris : INRP, document interne.

LE VOLCANISME, DU COURS MOYEN À L'IUFM

Michèle Laperrière-Tacussel

En géologie comme en biologie, les enseignants rencontrent à tous les niveaux des réponses d'élèves ou d'étudiants que l'on trouve dès le cours moyen. Ces réponses correspondent-elles à des conceptions repérables dont l'enseignant doit tenir compte ? Sur quels obstacles éventuels renseignent-elles ? Cet article qui présente les résultats d'une recherche conduite pour un DEA de didactique des disciplines scientifiques, tente d'apporter une réponse à cette question en ce qui concerne le volcanisme.

la didactique de
la géologie : un
champ encore
peu exploré

Quelles sont les conceptions des apprenants en géologie ? Peut-on les répertorier en repérant, comme en biologie, certains types qui se retrouveraient régulièrement ? Peut-on mettre en évidence, à travers ces persistances, des difficultés ou des obstacles qui permettraient de les expliquer ?

Il existe peu de travaux sur la question en géologie. Quelques recherches ont porté sur le concept de temps en géologie, ou sur la tectonique des plaques (Triquet, 1988 ; Har, 1991 ; Bichaud-Maréchal, 1992). On peut citer aussi l'importante publication (Deunff, Lameyre et al., 1990) d'un groupe de recherche, actuellement association Quartz (1), qui, parmi les résultats obtenus, présente une analyse des représentations des enfants sur des objets et phénomènes géologiques étudiés du CP (cours préparatoire, 7-9 ans) au CM (cours moyen, 9-11 ans), avec une interprétation en termes d'obstacles.

Ces travaux se situent tous à l'école élémentaire or, pour repérer types de conceptions et obstacles, il semble intéressant de rechercher des invariants en comparant les conceptions d'apprenants d'âges différents, à des moments différents du cursus scolaire.

Les travaux que je présente ici tentent de mettre en évidence et de comparer les conceptions sur le volcanisme chez des élèves de cours moyen et de quatrième des collèges (13-14 ans) et chez de futurs professeurs des écoles, étudiants ou stagiaires à l'IUFM (Institut Universitaire de Formation des Maîtres). Ainsi nous verrons tout au long du cursus que certaines conceptions persistent, que d'autres apparaissent ou évoluent. Parallèlement, nous nous interrogerons sur le rôle que les apports scolaires peuvent jouer dans cette évolution. Ce travail de recherche n'est pas centré sur la mise en évidence d'obstacles, mais il peut constituer une étude préalable à leur identification, comme nous l'évoquerons à la fin de cet article.

(1) Association QUARTZ, Faculté des Sciences, 123 avenue A. Thomas, 87060 Limoges Cedex.

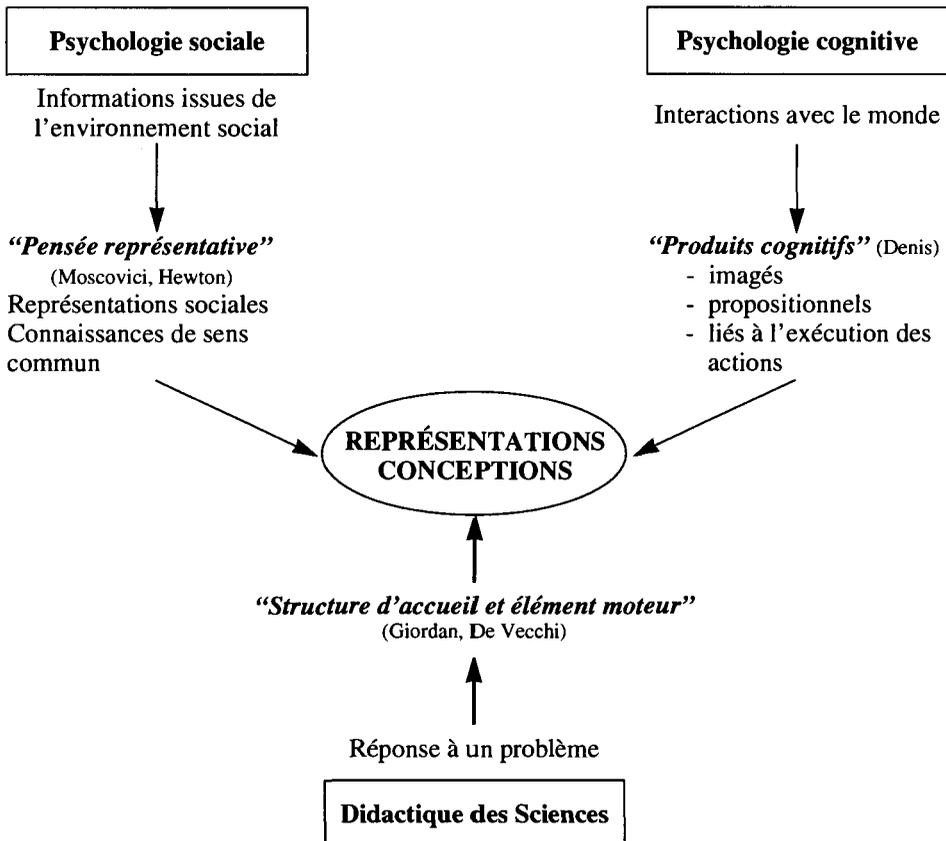
1. QU'APPELONS-NOUS CONCEPTIONS ?

une "conception
des conceptions"

En didactique des sciences, l'utilisation de deux termes différents : représentations et conceptions, pour désigner un même objet d'étude avec des connotations différentes, traduit bien la complexité du phénomène d'apprentissage correspondant. Quand l'apprenant construit les connaissances qui se traduiront éventuellement dans les conceptions, il utilise des informations issues du monde extérieur ainsi que des éléments déjà stockés mentalement, l'ensemble étant traité, codé et activé en réponse à un problème. L'étude de ce phénomène participe donc en fait de plusieurs domaines, comme l'illustre le document 1, et des choix doivent être faits selon qu'on s'intéresse plutôt à tel ou tel aspect.

Nous considérerons ici les conceptions comme les hypothèses faites par le chercheur sur le fonctionnement cognitif de l'apprenant, à partir de productions ou de procédures observables de celui-ci.

Document 1. Les conceptions, point de rencontre de plusieurs champs



2. LES SAVOIRS EN JEU

L'étude menée sur les savoirs a fourni le cadre épistémologique de la recherche ; elle a aussi permis d'effectuer une analyse *a priori* et de préciser la méthodologie tant au niveau du recueil des données qu'à celui de l'interprétation.

En effet, il apparaît évident que l'enseignement dispensé joue un rôle dans la construction des connaissances des apprenants, mais lequel ? Comment les informations reçues sont-elles (ou non) intégrées ? La logique du savoir devient-elle celle qui organise les modèles mentaux de l'élève ?

l'importance de
la structure des
savoirs...

Dans un premier temps j'ai cherché à établir cette logique en analysant la structure des savoirs à différents niveaux : du savoir "savant" au savoir enseigné. Ainsi m'a-t-il été possible de faire des hypothèses *a priori* sur la façon dont les élèves sont susceptibles d'aborder le volcanisme et sur les domaines notionnels en jeu, deux aspects qui ont servi de points d'appui à la méthode mise en place.

Par ailleurs, l'histoire des sciences nous informe sur les diverses façons dont a été abordé le problème des volcans au cours du temps ; ces autres approches correspondent à des contextes différents et à des moments où les techniques et théories actuelles n'existaient pas : elles m'ont aidée dans l'interprétation de réponses d'élèves qui, eux non plus, n'ont parfois pas encore ces outils à leur disposition.

Ainsi avons-nous cherché à répondre aux deux questions suivantes : comment se présente le savoir en jeu dans le cas du volcanisme ? Comment le phénomène géologique a-t-il été interprété depuis l'antiquité ?

Pour conduire l'analyse des savoirs, nous nous sommes appuyée :

- en ce qui concerne les savoirs de référence, sur des sources possibles de documentation des enseignants en géologie de l'enseignement secondaire, donc sur des ouvrages illustrant un premier domaine de transposition du domaine de la recherche à celui de l'enseignement universitaire (Caron, Gauthier et al. 1989 ; Bardintzeff 1991) ou à celui d'une vulgarisation considérée comme satisfaisante au plan scientifique (Bernard, Lubin 1976 ; Bardintzeff 1986) ;
- en ce qui concerne le savoir à enseigner, sur les programmes et instructions officielles (2) des niveaux considérés et les compléments de programmes qui les accompagnent ainsi que sur les manuels. Comme l'indiquent M. Tournier et M. Navarro (1985), le manuel "*propose un ordre pour l'apprentissage, tant en ce qui concerne l'organisation générale des contenus que l'organisation de l'enseignement*". Il témoigne donc du savoir à enseigner. Cependant, il est aussi "*une aide pour l'élève*". Il "*accom-*

...et comment
s'en faire une
idée

(2) Textes officiels de 1978-79 et 1985.

pagne l'action du professeur en classe et la prolonge hors de la classe" (note de service 86-133 du 14 mars 1986). Il représente une interprétation des textes officiels. Il appartient donc déjà au savoir enseigné.

Ces analyses utilisent surtout la structure d'ensemble des documents (en particulier le découpage en chapitres), les index ou lexiques, les mots-clés. Elles permettent de mettre en évidence les points suivants.

- Au niveau des savoirs de référence comme dans les programmes et manuels qui en sont la transposition, on peut utiliser une définition générale de l'objet "volcan" qui reprendrait par exemple celle de J.-M. Bardintzeff : *"un volcan est un point de sortie par où du magma peut arriver en surface de façon intermittente ou continue"*. Cependant le volcan "type" n'existe pas. Il existe par contre différentes formes d'édifice volcanique en fonction des types d'activité volcanique. Ceux-ci s'expliquent dans le cadre de la théorie de la tectonique globale qui permet de modéliser la dynamique interne du globe.

- Le volcanisme peut s'étudier selon différentes approches ; à partir de notre étude, nous avons défini trois "pôles d'approche" correspondant chacun à des domaines notionnels particuliers ; ce sont :

- . le pôle humain où l'on trouve tout ce qui correspond aux rapports entre l'homme et les volcans : conséquences positives ou négatives, avec leurs aspects catastrophistes, affectifs ou sensoriels ; méthodes d'étude du phénomène et travail des volcanologues ; géologie appliquée ;
- . le pôle descriptif dans lequel sont étudiés tous les objets géologiques liés au volcanisme, par exemple les produits de l'éruption ;
- . le pôle explicatif où sont étudiés la liaison du phénomène avec la structure du globe, les mécanismes en jeu, les transformations de matière.

Dans les manuels, ces pôles se retrouvent avec plus ou moins d'importance selon les niveaux du cursus et suivant les éditions : par exemple le manuel de quatrième des éditions Magnard semble donner plus d'importance aux aspects descriptifs que celui des éditions Nathan.

L'étude de l'évolution des contenus des programmes a été faite aux niveaux quatrième et troisième du collège (textes de 1978-79 et 1985). En effet, la géologie, en tant que discipline enseignée, n'a été introduite à l'école élémentaire qu'avec les Instructions officielles de 1985 et les programmes n'ont pas encore subi de modification à ce niveau.

Cette étude met en évidence une évolution de la structure du savoir à enseigner.

Avant 1985, les points de départ des sujets d'étude de quatrième sont régionaux, avec des études de roches qui s'appuient sur des analyses du paysage : *"[...] le professeur fondera son activité initiale sur l'observation et l'analyse d'un paysage aussi local que possible"*. L'ensemble du programme

où l'on voit
évoluer les savoirs
sur le volcanisme

est basé sur l'étude d'objets ou de phénomènes externes (ou de la traduction en surface de phénomènes internes dont l'interprétation demeure hypothétique). Ce n'est qu'en troisième que les études arrivent à une échelle planétaire, que l'on propose "un modèle de structure du globe". La tectonique globale n'est abordée qu'avec prudence et surtout pour "préciser et coordonner des informations issues de l'école parallèle" : on confirme simplement "l'existence de mouvements lents des continents" et que l'on peut "voir dans ces mouvements la cause hypothétique des manifestations de la dynamique interne".

Après 1985 par contre, l'étude des paysages, les observations locales ne sont plus que les supports "qui permettront d'édifier la tectonique globale" dont on "met en jeu la valeur explicative" et qui doit être "investie dans l'explication" des phénomènes géologiques étudiés. La théorie n'est pas discutée : "la discussion de la tectonique globale [...] ne relève pas de la classe de quatrième" et un certain dogmatisme transparaît : utilisation de formes affirmatives sans restrictions : elle "**montre** que les accumulations sédimentaires **sont entraînées ...**", "le fonctionnement de la lithosphère **doit apparaître comme un système cohérent capable d'expliquer la genèse et la mise en place des roches**". La théorie de la tectonique globale est devenue centrale ; elle structure l'ensemble du savoir à enseigner. L'aspect explicatif, l'interprétation, ont pris le pas sur les aspects plus descriptifs d'avant 1985.

Pour ce qui concerne la façon dont le volcanisme a été présenté au cours des siècles, c'est vers des ouvrages d'histoire des sciences (Gohau 1990 ; Ellenberger 1988 ; Krafft 1991) qu'il faut se tourner. À leur lecture, on peut constater que les descriptions sont généralement précises et exactes ; c'est au niveau des explications données aux phénomènes que se traduisent les conceptions que l'on peut supposer présentes aux différentes époques et que se révèlent les influences sociales et religieuses contemporaines ainsi que les références aux techniques en cours (volcanisme comparé aux effets de la poudre à canon jusqu'au XVII^{ème} siècle, modèle de la machine à vapeur au XVIII^{ème}...). Parmi les interprétations les plus marquées, et que nous retrouverons dans les réponses des élèves, citons :

- l'existence d'un feu central alimentant les bouches volcaniques (de Platon, IV^{ème} siècle avant J.C., à Hutton, XVIII^{ème}, en passant par les *Principes de Philosophie* de Descartes, XVII^{ème} : "notre globe est pourvu d'un feu central") ;
- la formation des volcans par soulèvement puis éclatement de la surface de la terre (d'Albert le Grand au Moyen-Âge à la théorie de Léopold von Buch au XIX^{ème} siècle) ;
- l'assimilation de l'édifice volcanique à une "montagne creuse" (de Lucrèce : "l'*Etna* est une montagne entièrement creuse où circule un vent d'une extrême violence", à Needham, XVIII^{ème} siècle) ;

importance de
l'analyse
épistémologique
pour une analyse
a priori

- l'émission, par les volcans, de feu qui trouve son origine dans des combustions, plus ou moins profondes, alimentées par des matières minérales ou organiques et provoquées selon les cas par les vents, les rayons du soleil, des interactions avec l'eau... (de l'Antiquité au XVIIIème : *"Quant aux volcans, ils sont dus à des feux de charbons qui fondent les roches avoisinantes en coulées de laves"* Werner).

L'analyse des savoirs a rendu possible une analyse *a priori* permettant de voir sur quels domaines notionnels et quels pôles d'approche faire porter le questionnement, ainsi que d'avancer un certain nombre d'hypothèses de recherche : on peut en effet penser que l'influence du savoir enseigné pourra se traduire dans les conceptions, au fur et à mesure du cursus, par :

- l'acquisition progressive de connaissances scientifiques,
 - l'importance prise par l'explicatif par rapport au descriptif,
 - la progression de l'objectivité par rapport à la subjectivité,
- mais avec une possible persistance de conceptions éloignées des savoirs de référence.

Cela se traduit au plan méthodologique par la nécessité d'étudier la façon dont les apprenants entrent dans le sujet (par exemple pensent-ils d'abord aux conséquences humaines du volcanisme), quel vocabulaire ils utilisent, à quoi ils font référence lorsqu'ils expliquent la formation ou l'activité d'un volcan.

C'est le but visé par les dispositifs mis en place.

3. MÉTHODE ET RÉSULTATS

3.1. Conditions de l'expérimentation

L'expérimentation a été conduite dans deux classes de cours moyen de Grenoble (22 et 23 élèves), deux groupes de quatrième de la périphérie grenobloise (collège de Voreppe : 32 élèves), deux sections d'étudiants ou stagiaires de l'IUFM (29 étudiants de première année - PE1- ayant choisi l'option biologie-géologie au concours donc plutôt scientifiques, 24 stagiaires de deuxième année - PE2 - dont seuls deux ont un baccalauréat scientifique). Soit un total de 130 sujets.

Chaque élève ou étudiant a fait l'objet de trois recueils de données, quatre pour la quatrième 1, sous forme de questionnaires passés avant que le volcanisme ait été abordé dans la classe. Nous considérons qu'ainsi les conceptions mises en évidence en CM témoignent plutôt d'apports extérieurs à l'école ; en quatrième elles devraient porter la trace des enseignements de cours moyen ; au niveau des PE, elles constitueraient un "état des lieux" des connaissances sur le volcanisme chez l'adulte.

3.2. Techniques utilisées

Les outils utilisés sont de trois types : recueil d'information par association d'idées, QSort et questionnaire à questions ouvertes.

La méthode d'association d'idées a permis de déterminer les pôles d'approche du volcanisme par les apprenants et de les comparer aux pôles définis lors de l'analyse des savoirs. Elle a aussi révélé une première conception, globale et quasi constamment représentée, du volcanisme.

La technique, basée en partie sur la "*méthode de construction autonome des savoirs*" de Gabrielle Di Lorenzo (1991) consiste à faire établir par le sujet une liste de mots en liaison de sens avec le mot "volcan", donné comme terme inducteur. Signalons que cet outil a été utilisé deux fois en quatrième : la première fois dans le cadre du cours de géologie, la seconde, environ six semaines plus tard, en cours de français dans le cadre d'une activité d'écriture poétique. Ceci a montré l'influence du contexte de passation.

des techniques
pour recueillir les
productions

Le questionnaire à questions ouvertes et le QSort (voir en annexe) ont permis de repérer les conceptions en liaison avec les notions géologiques en jeu. Les items en ont été rédigés à partir, d'une part, des hypothèses *a priori* sur les domaines notionnels concernés, d'autre part des indications fournies par l'histoire des sciences, enfin, des résultats du recueil précédent. Les domaines notionnels correspondent à ce qui concerne :

- les produits de l'éruption volcanique,
- les lieu et mode de formation et le devenir de la lave,
- la nature des matériaux constituant l'édifice volcanique,
- la structure de cet édifice et sa liaison avec la structure du globe,
- sa formation.

Un dessin ou un schéma était demandé dans certains items correspondant aux deux derniers points.

Le croisement des données obtenues à l'aide de ces deux types de questionnaires a permis d'affiner les interprétations faites. En effet, il s'agit de deux sortes d'outils, l'un où les sujets sont en situation de production, l'autre plus directif, le QSort, où ils auront à procéder à des opérations de sélection. Pour reprendre Jean Marie De Ketele (1987), dans un questionnaire de sélection, type QSort, "**il s'agit d'opérer un choix de la (ou des) solution(s) correcte(s) ou la (les) meilleure(s) parmi un éventail de solutions imposées** : il se pourrait donc - notamment - que la solution correcte apparaisse ainsi dans le champ cognitif du répondant alors qu'elle ne s'y trouvait pas au départ ; d'autre part aucun travail de formulation de la réponse n'est exigé de la part du répondant [...] Dans les items de production, le processus est différent : il s'agit pour le répondant **de reconnaître ou de déterminer la réponse correcte à partir des éléments de son propre champ cognitif... et de la formuler correctement.**"

Nous avons donc fait passer d'abord le questionnaire à questions ouvertes puis le questionnaire de type QSort. Ce dernier outil a été construit à partir des réponses au questionnaire "ouvert" afin de nous aider à attribuer un sens aux premières réponses données tout en vérifiant leur cohérence, et par là même de vérifier la validité de nos interprétations. Il a donc permis de préciser les conceptions en jeu.

3.3. Traitement des réponses et résultats

• Association d'idées (listes de mots)

Les éléments pris en compte sont premièrement le nombre moyen de mots proposés par élève à chaque niveau, deuxièmement le vocabulaire utilisé. Celui-ci a été classé en cinq catégories :

- les "objets" géologiques, c'est-à-dire les éléments caractérisant par exemple la forme des édifices volcaniques, les produits de l'éruption... (ex. : lave, feu, montagne...) et correspondant au pôle descriptif ;
- les "adjectifs" souvent cités en même temps qu'un des "objets" précédents ou en rapport direct avec cette catégorie (ex. : montagne *creuse*, feu *liquide*...) ;
- les "phénomènes" (ex. : éruption, fusion) correspondant au pôle explicatif ;
- ce qui se rattache aux domaines "affectif et esthétique", comportant aussi quelques adjectifs mais isolés, évoquant des sentiments ou impressions (ex. : danger, détruire, fantastique) et correspondant au pôle humain ;
- quelques "divers" (ex. : dinosaure).

Le pourcentage de réponses de chaque catégorie a été chiffré et traduit graphiquement pour faciliter les comparaisons. Remarquons que les adjectifs qualificatifs qui n'étaient pas directement associés à un "objet" ont été classés dans la catégorie "affectif-esthétique" .

On se rend compte (analyse des listes de mots, voir document 2) que certains termes se retrouvent à tous les niveaux du cursus et peuvent être interprétés, en terme de conception du volcanisme, comme une *éruption destructrice de lave rouge et chaude* ; "feu" et "montagne" (*la montagne qui crache du feu*) se retrouvent quant à eux avec constance en CM, quatrième et PE2.

Document 2. Éléments d'analyse des listes de mots

	CM	4ème	PE2	PE1
affectif esthétique	mort tuer dévastateur destructeur rouge enfer peur bruit	dévastateur destruction peur mort rouge incontrôlable paillettes	destruction catastrophe rouge puissance force magique	(très peu de réponses) destruction rouge
objets	lave feu montagne cornets de glace	lave montagne feu roches coulées cheminée	lave feu roches pierres cratères eau étincelles flamme nuages	lave roches cratères coulées magma lapillis phénocristaux caldeira rift hotspot
adjectifs	chaud brûlant liquide	chaud brûlant visqueux	(peu nombreux) chaud	(rares) chaud
phénomènes	éruption tremblement de terre	éruption tremblement de terre fusion fissuration	éruption fusion	éruption fusion mouvements terrestres montée

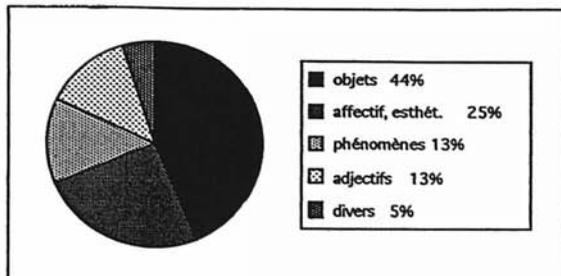
Les mots les plus souvent cités sont en caractères gras.

l'influence de
l'enseignement
scientifique

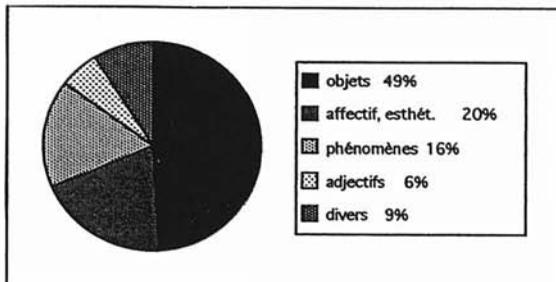
On voit cependant transparaître, parallèlement au cursus scolaire, d'une part une augmentation des connaissances scientifiques des CM vers les PE1, d'autre part une diminution corrélative de l'expressivité, de la subjectivité. Le pôle d'approche scientifique (objets, phénomènes) est de mieux en mieux représenté, surtout pour les aspects descriptifs (objets), le pôle explicatif n'étant vraiment bien représenté que chez les PE1 (voir document 3). L'enseignement scientifique semble avoir joué son rôle dans l'acquisition de connaissances et d'une plus grande objectivité. Les résultats suivants vont permettre de préciser cela.

Document 3. Les “pôles d’approche” aux différents niveaux
(Réponses au premier questionnaire)

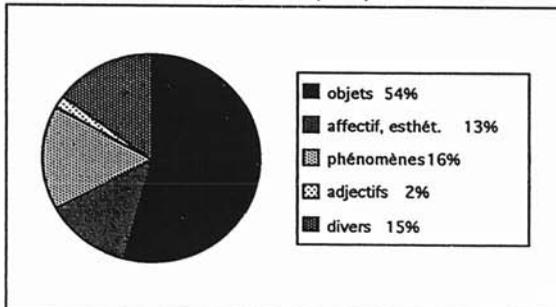
Élèves de C.M.



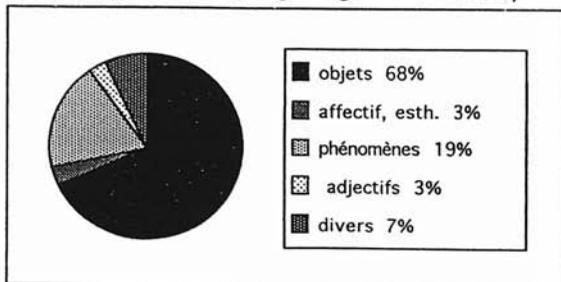
Élèves de quatrième



Professeurs des Écoles stagiaires (PE2)



Étudiants PE1 (option biologie-géologie au concours)



• **Questionnaire à questions ouvertes et QSort**

Nous n'exposerons ici que le résultat global des réponses aux deux types de questionnaires, sachant que les données correspondantes ont été traitées successivement, le QSort ayant été conçu après étude des réponses au premier questionnaire. Pour le traitement des données, les domaines notionnels préalablement définis constituaient la grille de lecture. L'analyse des réponses rédigées s'est appuyée sur la mise en évidence et le comptage de "mots-clés" se retrouvant dans les formulations des apprenants.

Les résultats obtenus ont souligné la persistance de certains modèles mentaux : volcan perçu comme un relief généralement conique, souvent creux ; origine double de l'édifice volcanique : les mécanismes de soulèvement se voyant attribuer un rôle aussi (et même plus) important que l'accumulation des produits d'éruption ; origine de la lave au centre de la terre.

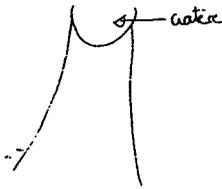
On note cependant, au cours du cursus, une évolution des conceptions dans le sens d'une moins grande distance avec les savoirs scientifiques. Nous avons en effet défini sept catégories (ou "types") de conceptions à partir des productions obtenues (dessins et réponses rédigées). Ces catégories ont été numérotées de 1 à 7. Les types 1 à 3 correspondent aux niveaux de formulation les plus élémentaires, avec en 3 un "saut" dans les connaissances puisque c'est à partir de ce niveau que les apprenants attribuent une origine profonde à la lave ; les types 4 à 7 font intervenir des connaissances progressivement plus élaborées ou utilisent une terminologie plus scientifique. Des exemples de dessins d'élèves se rattachant aux différents types sont donnés dans le document 4.

Les catégories définies sont les suivantes.

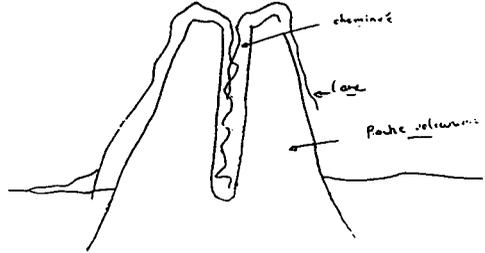
- Type 1 : cône volcanique sans détail de structure, en relation avec des réponses diverses et floues quant à l'origine de la lave, voire l'absence de réponse.
- Type 2 : cône bien délimité, avec une structure interne ; les élèves produisant ce type de dessin donnent à la lave une origine superficielle liée au volcan ("intérieur du volcan", "en haut du volcan").
- Type 3 : cône rempli de lave, associé à une origine profonde (mais imprécise) de celle-ci "la lave est sous la terre et monte remplir le volcan".
- Type 4 : présence d'un conduit faisant communiquer l'édifice volcanique avec un réservoir, fermé ou non ; origine profonde de la lave.
- Type 5 : édifice présentant un conduit non terminé ; origine profonde de la lave.
- Type 6 : conduit faisant communiquer le volcan avec une couche ou nappe de lave ; origine profonde mais évoquant souvent l'"écorce terrestre", le "sous-sol", les "couches terrestres internes".

pour les
conceptions du
volcanisme une
typologie...

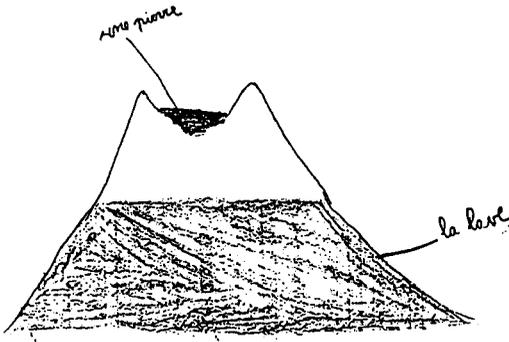
Document 4. Quelques exemples de dessins



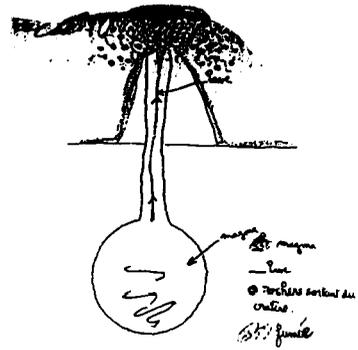
Type 1 (PE2)



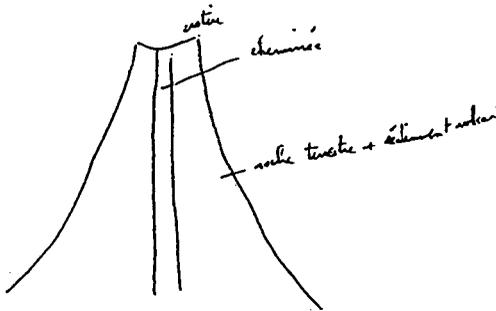
Type 2 (PE1)



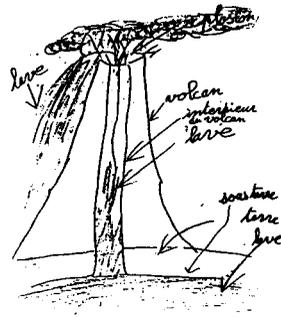
Type 3 (CM)



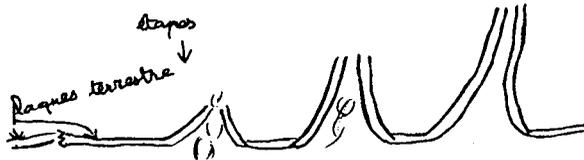
Type 4 (CM2)



Type 5 (PE2)



Type 6 (CM)



Type 7 (CM)

... et une répartition qui varie selon les niveaux du cursus

-Type 7 : édifice volcanique constitué par deux "plaques terrestres" qui s'affrontent ; origine profonde de la lave.

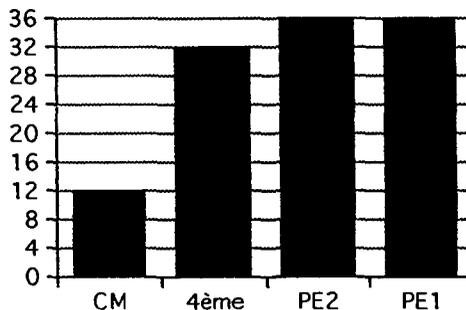
Ces conceptions se répartissent comme suit selon les niveaux du cursus :

	CM	Quatrième	PE2	PE1
Type 1	7	1	2	0
Type 2	7	3	1	1
Type 3	11	4	0	0
Type 4	8	10	7	9
Type 5	5	9	6	2
Type 6	3	6	4	16
Type 7	1	0	0	2
(Total)	(42)	(33)	(20)	(30)

On constate que les types les plus simples sont plus nombreux chez les élèves de cours moyen et régressent, voire disparaissent au cours du cursus, cependant que les types les plus élaborés caractérisent les apprenants du niveau le plus scientifique.

Il nous a donc été possible de dégager des catégories de conceptions sur le volcanisme, en particulier pour ce qui concerne la structure et la formation de l'édifice volcanique et la formation de la lave, et de mesurer l'influence du cursus à travers l'évolution de ces conceptions ; nous avons constaté en effet que, parallèlement aux informations qu'ils reçoivent dans le cadre de leurs études, les apprenants acquièrent un vocabulaire spécialisé (roche, magma par exemple) et qu'ils construisent tous un certain nombre de connaissances, comme nous le confirment les réponses au QSort : ainsi le volcanisme est mis en relation avec l'activité interne du globe ; c'est de la lave et non du "feu" qui sort d'un volcan en éruption et cette lave "se transforme en roche" (voir diagramme, document 5)... Les aspects descriptifs sont cependant mieux représentés que les aspects explicatifs et apparaissent plus tôt dans le cursus, comme nous l'avions prévu.

Document 5. Exemple de répartition des réponses au QSort :
item 10 "Quand de la lave sort d'un volcan elle refroidit et donne une roche"



Les chiffres expriment le "poids" des réponses données à chaque niveau pour un même nombre d'individus, c'est-à-dire le score obtenu par addition des points attribués à l'item par l'ensemble des réponses ; les choix possibles allaient de -2 (pas du tout d'accord) à +2 (tout à fait d'accord), voir questionnaire en annexe.

4. LES CONCEPTIONS RÉPERTORIÉES NOUS RENSEIGNENT-ELLES SUR LES OBSTACLES ?

Nous avons constaté que si les conceptions les plus éloignées des savoirs de référence diminuent en fonction de l'enseignement scientifique reçu, elles ne disparaissent pas complètement.

des
interprétations
erronées
persistantes

Ainsi, pour ne prendre que quelques exemples, la plupart des apprenants, y compris les étudiants futurs professeurs des écoles, considèrent que la lave vient du centre de la Terre, lieu d'une activité mystérieuse, fantasmatique, ce qui rappelle les idées de l'Antiquité. Pour eux, comme au temps de Von Busch, géologue du XIX^{ème} siècle, l'édifice volcanique se forme essentiellement par soulèvement, sous l'influence d'une poussée interne, "comme un bouton" disent-ils.

Si chez le jeune enfant on peut penser que les informations correspondantes n'ont pas été apportées, chez certains adultes, quelles qu'aient été les informations reçues, on constate qu'il y a donc parfois retour à l'imaginaire, au perceptif ou à une pensée de type analogique.

Ceci est peut-être à mettre en relation avec certaines difficultés propres à la géologie, en particulier la difficulté à reproduire les phénomènes géologiques pour expérimenter ou même, tout simplement, à réaliser une observation directe ; ou encore le problème de l'appréhension du temps et de l'espace.

spécificités de la
géologie et
obstacles
épistémologiques

Pour le premier point, on sait que les témoignages disponibles sont généralement fragmentaires et dispersés à travers le temps et la planète : il faut être capable de reconstituer le "puzzle". Par ailleurs, surtout en classe, la mise en place d'expériences significatives et la modélisation sous forme de maquette par exemple, qui pourraient être utilisées comme substitut du réel et/ou comme support de la réflexion, sont difficiles et généralement très approximatives.

Pour le second point, la durée des phénomènes géologiques s'évalue le plus souvent en millions d'années et la notion de temps géologiques est d'un accès difficile, même pour l'adolescent et l'adulte. S. Demontis, F. Torixi et A. Flaviani ont montré (1991) que chez des élèves de 13 à 15 ans, "les obstacles les plus souvent rencontrés concernent l'incapacité d'évaluer la succession chronologique, la durée des évène-

ments et le concept de dynamique terrestre". Les travaux de F. Har et M.-F. Bichaud-Maréchal, déjà cités, développent également le concept de temps géologiques et les difficultés de transposition et d'apprentissage correspondantes.

En outre, les objets du savoir géologique s'établissent à des échelles diversifiées dans l'espace, de la molécule (réseau cristallin par exemple) à l'univers (planétologie, astronomie), mais c'est souvent à l'échelle d'un continent ou même à celle de la planète qu'on doit tenter de se les représenter. (On peut se faire une idée de cela avec l'orogénèse, c'est-à-dire la naissance d'une chaîne de montagnes, dans le cadre de la théorie de la tectonique des plaques.)

En ce qui concerne notre sujet d'étude, nous avons choisi le volcanisme en partie parce que nous pensions atténuer ces difficultés ; le phénomène comme l'objet qui en résulte (volcan) sont en effet au moins partiellement accessibles à l'observation, directement ou grâce aux médias, et leurs manifestations les plus visibles peuvent s'étudier à l'échelle humaine dans le temps et l'espace. En fait, comme le dit Claude Allègre, "[...] il n'existe pas une terre à deux vitesses ! Les manifestations de courte durée ne sont que des signes éphémères de phénomènes de longue, de très longue durée. [...] Voilà où va résider la difficulté de l'étude des séismes et des volcans. [...] Il faut trouver des méthodes pour raccorder des échelles de temps totalement disproportionnées." (C. Allègre 1987).

Il semble donc qu'il existe en géologie des obstacles épistémologiques spécifiques de la discipline.

Mais notre analyse des conceptions nous a montré que ce type d'obstacles n'était pas le seul qu'il fallait prendre en compte. En effet certaines conceptions éloignées du savoir scientifique semblent se développer parallèlement à l'enseignement reçu : ainsi ce sont les élèves de quatrième, qui ont étudié le volcanisme au cours moyen (se reporter aux programmes) et les PE1, étudiants considérés comme "scientifiques" et ayant choisi l'option Sciences de la Vie et de la Terre au concours, qui sont les plus nombreux à considérer que "la lave passe entre les plaques de l'écorce terrestre" comme le confirment les réponses au QSort. Ces apprenants ont connaissance de l'existence des plaques lithosphériques, mais le modèle mental qu'ils s'en sont construit donne lieu à de fausses interprétations des phénomènes observés.

Les obstacles épistémologiques se doublent donc d'obstacles didactiques.

de possibles
obstacles
didactiques...

Ces obstacles nous semblent liés au processus de transposition didactique, concept que l'on doit à Yves Chevallard (1991). Nous envisageons ainsi plusieurs pistes de réflexion à propos des éléments susceptibles d'intervenir dans la persistance ou l'apparition de conceptions éloignées des savoirs de référence.

liés à la
présentation des
savoirs...

Le fonctionnement du système éducatif peut être le premier de ces éléments. En effet, le temps consacré à chacun des points du programme est limité ; cela débouche sur une démarche pédagogique qui ne prend pas toujours en compte les conceptions des élèves, et encore moins le temps nécessaire aux apprentissages. Et même, comme le dit Gilbert Arsac (1989) *“le système d'enseignement a tendance [...] à vouloir identifier temps de l'enseignement et temps de l'apprentissage, et à traiter en terme d'échec ou de retard scolaire toute différence entre ces deux rythmes”*. Par ailleurs, les choix qui sont faits dans la nature des concepts à enseigner et les relations qui les organisent conduisent fréquemment à un important degré d'abstraction, privilégiant les mécanismes et les interprétations alors que les élèves ne conçoivent pas même encore l'objet d'observation correspondant. On peut rattacher à cela les conceptions qui montrent un télescopage entre la dimension des plaques et celle des points de remontée du magma (voir dessin de type 7 du document 4).

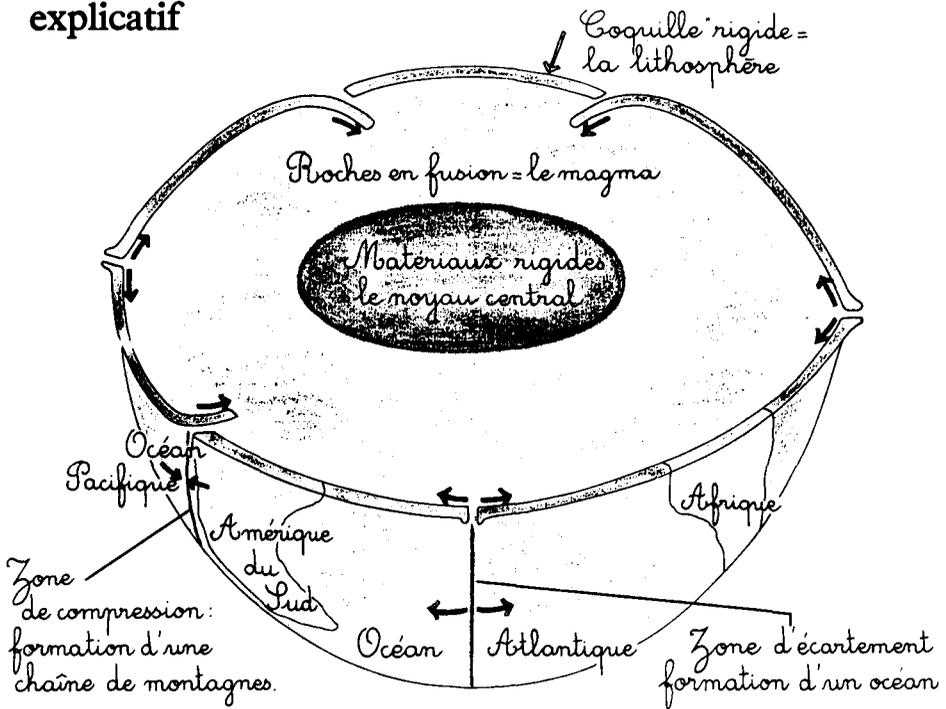
... ou aux
supports
didactiques

Un deuxième élément est la nature des documents iconographiques présents dans les manuels et utilisés par l'enseignant, et l'usage qui en est fait. Pour illustrer rapidement ce point, reprenons deux exemples de conceptions persistantes bien représentées et mettons en parallèle avec elles certains documents extraits de manuels scolaires utilisés actuellement dans les classes.

Le premier exemple est celui de l'existence d'une couche continue de magma sous l'écorce terrestre alors qu'en fait le manteau est à l'état solide. Au cours moyen, le manuel Sciences et Technologie des éditions Bordas (collection Tavernier) confirme explicitement cette interprétation en la proposant comme “modèle explicatif” de la structure du globe (voir document 6). Dans le manuel de Biologie-Géologie de quatrième, pour aider les élèves à comprendre les courants de convection dans le manteau, les éditions Nathan font appel, sous forme de schémas commentés, au modèle de l'eau (donc un liquide) chauffée par une résistance électrique (document 7) ; l'état solide du manteau n'est en fait signalé que par deux mots, tout en bas d'une page entière d'illustrations.

Document 6. À propos de ce qu'il y a sous la lithosphère :
extrait d'un manuel de CM (Tavernier, Bordas, 1987)

Un modèle
explicatif

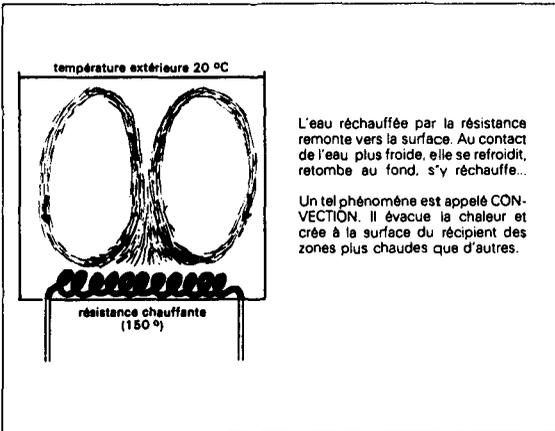


**Document 7. À propos de ce qu'il y a sous la lithosphère :
extrait d'un manuel de 4ème (Périlleux, Thomas, Nathan, 1988)**

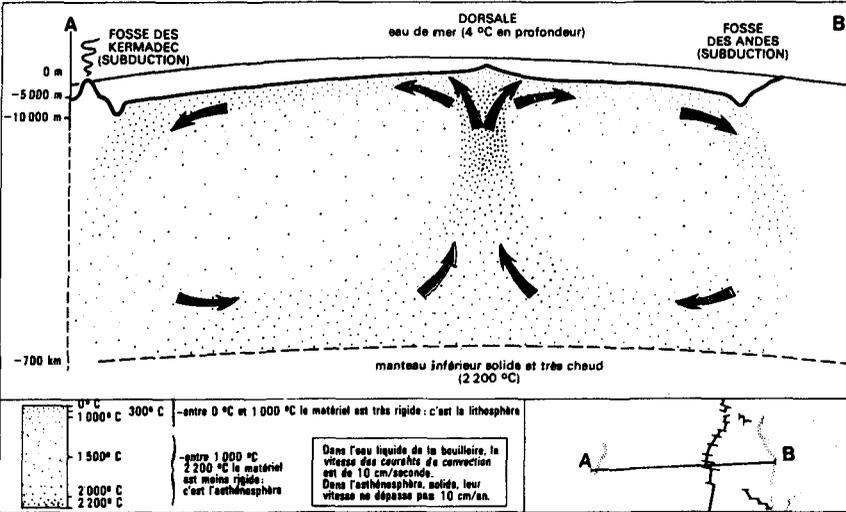
Document 2

**La Terre
évacue
sa chaleur**

Quand on produit de la chaleur, elle s'évacue.
L'évacuation de la chaleur par la Terre n'est pas uniforme. Des observations réalisées en laboratoire peuvent-elles expliquer les modalités d'évacuation et l'inégale répartition du flux de chaleur à la surface du globe ?



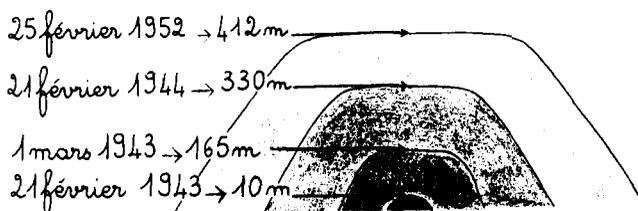
10 Comportement de l'eau dans une bouilloire.



11 Convection à l'échelle du globe. Les différences de température entre l'intérieur et la surface créent des mouvements, à l'état solide, des roches du manteau. Ces mouvements permettent l'évacuation de la chaleur interne du globe.

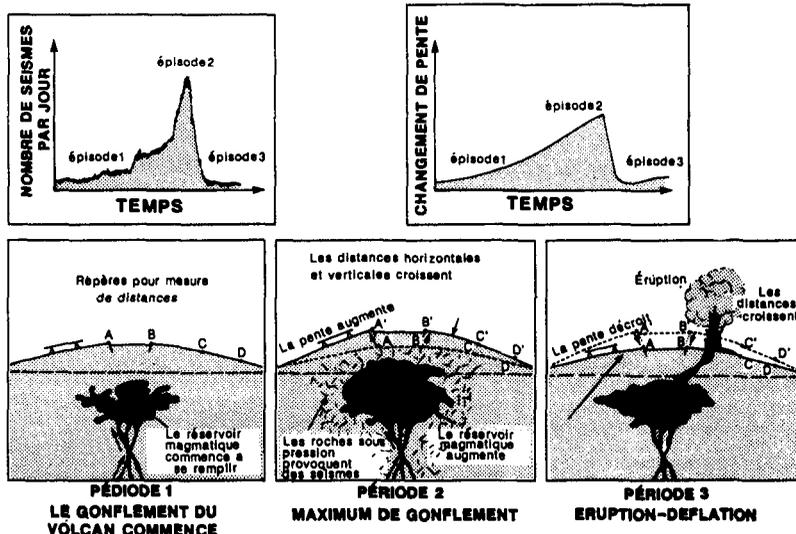
Le deuxième exemple est celui de la formation d'un cône volcanique par soulèvement, sans que les produits de l'éruption volcanique jouent aucun rôle. Nous retrouvons au cours moyen, dans le manuel des éditions Bordas, une illustration susceptible d'entretenir la confusion dans l'esprit des enfants (document 8). De la même façon, si nous examinons les légendes du schéma "Prévision des éruptions volcaniques" du manuel de Biologie-Géologie (quatrième) des éditions Magnard, nous trouvons : "Période 1 le gonflement du volcan commence", "Période 2 maximum de gonflement - les distances horizontales et verticales croissent - la pente augmente". Cependant aucune échelle n'est donnée pour apprécier la valeur relative de ce gonflement et situer le phénomène par rapport aux bouches d'émission (document 9).

**Document 8. À propos de la formation d'un cône volcanique :
extrait d'un manuel de CM (Tavernier, Bordas, 1987)**



Le volcan Parícutin se trouve au Mexique. Il a fait son apparition en 1943. Sa croissance fut très rapide. Il est resté actif pendant 9 ans et a éjecté 3,6 milliards de tonnes de matériaux.

**Document 9. À propos de la formation d'un cône volcanique :
extrait d'un manuel de 4ème (Magnard, 1988)**



Ces illustrations visent à faciliter la compréhension de phénomènes peu accessibles grâce à des simplifications ou des analogies ; mais dans les deux cas, si le professeur n'y prend pas garde, les conceptions peuvent se trouver ainsi confortées ou générées par l'enseignement. Il se crée des obstacles d'origine didactique.

CONCLUSION

Les concepts didactiques définis en biologie, et plus généralement en didactique des sciences, se retrouvent donc en géologie. Ainsi peut-on établir des catégories de conceptions, identifier des obstacles, voir le rôle joué par la transposition didactique... Bien que certains aspects soient plus spécifiques de la discipline, comme la place prise par les problèmes liés au temps et à l'espace et les problèmes de modélisation, les résultats des recherches en didactique, et tout particulièrement ce qui concerne les obstacles et leur origine, doivent donc pouvoir nous guider dans la compréhension des phénomènes d'apprentissage dans ce domaine et dans une réflexion sur la façon de situer l'enseignement de la géologie dans une transposition du savoir qui rende les concepts géologiques accessibles, sans les trahir, aux différents niveaux du cursus.

Michèle LAPERRIERE-TACUSSEL
IUFM Grenoble

BIBLIOGRAPHIE

- ALLÈGRE, C. (1987), *Les fureurs de la Terre*, Paris, Odile Jacob.
- ARSAC, G. (1988), "La transposition didactique en mathématiques" in *La transposition didactique en Mathématiques, en Physique, en Biologie*, Villeurbanne, IREM et LIRDIS, Université Claude Bernard.
- BARDINTZEFF, J.-M. (1986), *Volcans et magmas*, Paris, Le Rocher, coll. Sciences et Découvertes.
- BARDINTZEFF, J.-M. (1991), *Volcanologie*, Paris, Masson, Enseigner les Sciences de la Terre.
- BERNARD, A., LUMBIN, J.-C. (1976), *Encyclopædia Universalis*, Paris, 6ème édition.
- BICHAUD-MARÉCHAL, F. (1992), *Des représentations "savantes" des temps géologiques à l'élaboration d'une échelle de temps à l'école*, Mémoire de DEA, Paris 7.

- CARON, J.-M., GAUTHIER, A. et al. (1989), *Comprendre et enseigner la planète Terre*, Paris, Ophrys.
- CHEVALLARD, Y. (1991), *La transposition didactique*, Grenoble, La Pensée Sauvage.
- DE KETELE, J.-M. (1987), *Observer pour éduquer*, Berne, Peter Lang.
- DEMONTIS, S., TORIXI, F., FLAVIANI, A. (1991), «Les “milieux” anciens». in *Actes des XIIIèmes journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et techniques*, Chamonix, Giordan, Martinand, Raichvarg éditeurs.
- DEUNFF, J., LAMEYRE, J. et al. (1990), *Contribution à la définition de modèles didactiques pour une approche de la Géologie à l'école élémentaire et dans la formation des maîtres*, Paris, Direction des écoles, réédité (1995) au CRDP Poitou-Charentes.
- DEUNFF, J., SABOURDY, G. et al. (1995), *La Géologie à l'école*, CRDP Poitou-Charentes.
- DI LORENZO, G. (1991), *Questions de savoir*, Paris, ESF, coll. Pédagogies.
- ELLENBERGER, F. (1988), *Histoire de la Géologie*, Paris, Lavoisier, Coll. Tec&Doc.
- GOHAU, G. (1990), *Les Sciences de la Terre au XVIIème et au XVIIIème siècle. Naissance de la Géologie*, Paris, Albin-Michel.
- HAR, F. (1991), *Analyses des difficultés liées au concept de temps en géologie. Proposition d'aides didactiques*, Mémoire de DEA, Paris 7.
- KRAFFT, M. (1991), *Les feux de la terre. Histoires de volcans*, Evreux, Découvertes Gallimard.
- PÉRILLEUX, E., THOMAS, P. (1988), *Biologie Géologie 4^e*, Paris, Nathan.
- SALVIAT, N., DESBEAUX, B. (1988), *Sciences et techniques biologiques et géologiques*, 4e, Paris, Magnard.
- TAVERNIER, R. (1987), *Sciences et Technologies, CM*, Paris, Bordas.
- TOURNIER, M., NAVARRO, N. (1985), *Les professeurs et le manuel scolaire*, Paris, INRP, coll. Rapports de recherches - 1985 N° 5.
- TRIQUET, E. (1988), *Problèmes liés à la définition du concept de tectonique des plaques par les élèves du cours moyen*, Mémoire de DEA, Grenoble, Université Joseph Fourier.

ANNEXE

Questionnaire sur les volcans

1) Qu'est-ce qui sort d'un volcan en éruption ?

2) A ton avis, de quel endroit provient la lave ?

3) De quelle façon se forme la lave ?

4) Que devient la lave après une éruption volcanique ?

5) D'après toi, les volcans sont-ils toujours actifs ? Pourquoi ?

6) Avec quels matériaux est fait l'édifice volcanique (c'est-à-dire le "relief" visible qu'on appelle volcan) ?

7) Fais au dos de cette feuille le schéma annoté d'un volcan en coupe longitudinale.

8) Existe-t-il plusieurs sortes de volcans ?

9) Explique comment tu imagines les étapes de la formation d'un volcan (tu peux les dessiner).

VOLCANISME ET FONCTIONNEMENT INTERNE DE LA TERRE : REPÈRES DIDACTIQUES POUR UN ENSEIGNEMENT DE L'ÉCOLE ÉLÉMENTAIRE AU LYCÉE

Christian Orange

Nous nous proposons, à partir de références historiques et épistémologiques, d'identifier de grandes ruptures dans les apprentissages sur le volcanisme et le fonctionnement interne de la Terre. Cela nous conduit à distinguer, à côté d'apprentissages de rupture pouvant se traduire en objectifs-obstacles, des apprentissages normaux qui s'opèrent à l'intérieur d'un paradigme scolaire choisi.

l'importance
théorique et
phénoménologique
des volcans

Le volcanisme présente deux caractéristiques scientifiques remarquables : il correspond à l'un des phénomènes les plus spectaculaires sur Terre et il est, d'après les modèles actuels, d'une importance considérable pour comprendre le fonctionnement de notre planète. Ceci explique certainement la place de ce domaine dans l'enseignement de la géologie en France : c'est pratiquement le seul, avec l'étude des séismes, à être au programme de l'école, du collège et du lycée.

Mais l'importance théorique des volcans n'est pas une évidence. Elle peut en particulier être masquée par leur richesse phénoménologique qui fonctionne comme un obstacle épistémologique.

C'est à la recherche des ruptures dans les conceptions, historiques et didactiques, du lien entre phénomènes volcaniques et fonctionnement de la planète Terre que nous voulons nous attacher ici, de façon à placer des repères pour l'enseignement de la volcanologie.

1. QUELQUES MODÈLES EXPLICATIFS DU FONCTIONNEMENT VOLCANIQUE DANS L'HISTOIRE DES SCIENCES

Sans prétendre retracer une histoire complète de la volcanologie dans tous ses aspects, nous voulons donner quelques indications sur différentes façons qu'ont eues les scientifiques de relier les phénomènes volcaniques, tels qu'ils pouvaient être observés et subis, au fonctionnement de la planète Terre.

Cette étude historique vise à se détacher des conceptions actuelles pour comprendre la cohérence d'autres modèles développés dans le passé. Par rapport à notre projet didactique, il s'agit donc de peupler le champ des possibles dans l'explication des volcans, de façon à se donner des repères pour l'analyse des conceptions des élèves.

Nous retiendrons ici trois types de modèles qui permettent de caractériser les grandes ruptures historiques, tant en ce qui concerne la signification du volcanisme que son fonctionnement.

1.1. Le modèle local

Dans son *Histoire naturelle*, Buffon explique les volcans par la présence, dans le sous-sol des régions volcaniques, de matières inflammables.

"Les montagnes ardentes qu'on appelle Volcans, renferment dans leur sein le soufre, le bitume et les matières qui servent d'aliment à un feu souterrain..." (1).

Il précise ensuite que, même si les effets impressionnants des volcans provoquent des superstitions,

"Tout cela n'est cependant que du bruit, du feu et de la fumée ; il se trouve dans une montagne des veines de soufre, de bitume et autres matières inflammables ; il s'y trouve en même temps des minéraux, des pyrites qui peuvent fermenter... Le feu s'y met et cause une explosion proportionnée à la quantité de matières enflammées, et dont les effets sont aussi plus ou moins grands dans les mêmes proportions : voilà ce que c'est qu'un volcan pour un Physicien..."

les feux
souterrains de
Buffon

Les phénomènes volcaniques, si impressionnants à l'échelle humaine, sont ici dévalorisés à l'échelle de la Terre. En aucun cas ils ne sont des signes de l'économie générale de la planète : il s'agit seulement de **phénomènes locaux**.

un modèle
cohérent

Il faut souligner la remarquable cohérence d'un tel modèle, dans le cadre des connaissances de l'époque. Il rend compte pratiquement de toute la panoplie des problèmes empiriques simples que posent les volcans : la production de matière, la chaleur, le mécanisme de l'éruption, la localisation (2). C'est certainement pour cette raison que cette explication des volcans est très généralement admise jusqu'à la fin du XVIII^{ème} siècle (3).

Avant cette date, seuls quelques scientifiques, comme Descartes, voient dans les volcans les traces d'un "feu central".

-
- (1) BUFFON ; *Histoire naturelle*, tome 2, Preuves de la théorie de la Terre (article XVI) ; Paris, 1769 (1^{ère} éd. 1749).
 - (2) Il explique facilement qu'il n'y a pas de volcans partout, mais uniquement là où des matières combustibles souterraines sont présentes.
 - (3) ELLENBEGER F. ; *Histoire de la géologie*, tome 1 ; Paris, Lavoisier, 1988, (voir pp. 13, 51-52, 268).

1.2. Le modèle central du XIX^{ème} siècle

La figure 1, extraite d'un livre de vulgarisation du siècle dernier (4), illustre simplement le modèle de la Terre qui est le plus répandu alors.

On peut la compléter par les commentaires d'un autre vulgarisateur, Alexandre Bertrand, qui présente les volcans

"comme des vastes soupiraux par le moyen desquels quelques parties des matières en fusion qui forment la masse interne s'échappent avec violence pour venir se répandre sur la surface du globe. Cette manière d'envisager les éruptions volcaniques est, je crois, plus satisfaisante qu'aucune de celles qui ont été proposées jusqu'ici pour les expliquer. Toutes les autres hypothèses, en effet, rapportant les éruptions à des causes purement locales, ne peuvent rendre raison de la singulière ressemblance qui existe entre les produits volcaniques rejetés aux extrémités les plus éloignées du globe" (5).

au XIX^e siècle,
les volcans
"soupiraux de
la Terre"

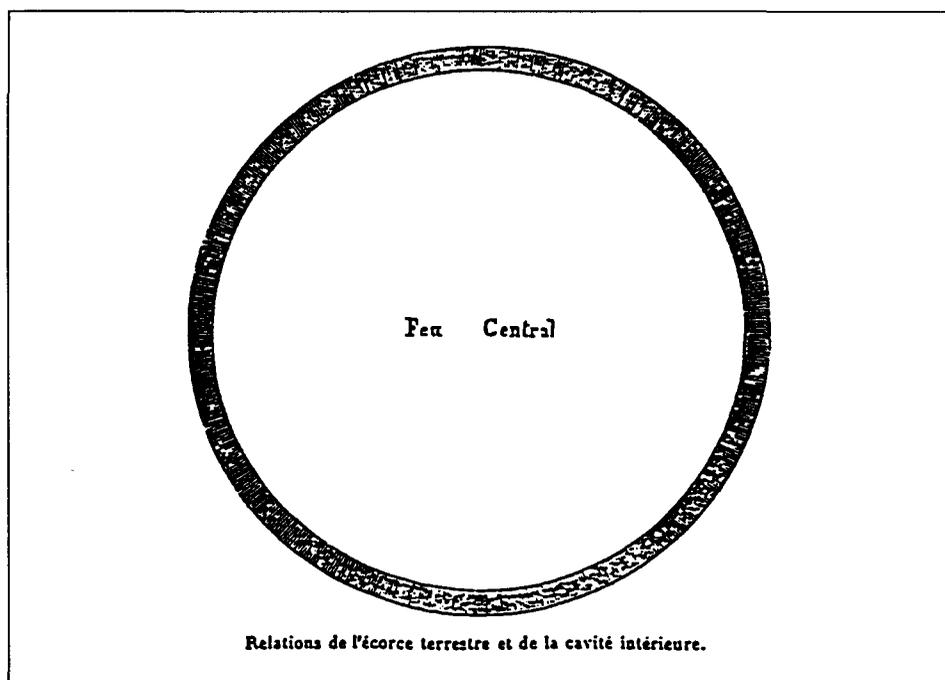


Figure 1. La structure de la Terre au XIX^{ème} siècle
(d'après CHEVALIER C. ; *Géologie contemporaine* ; Tours, Mame, 1875)

(4) CHEVALIER C. ; *Géologie contemporaine* ; Tours, Mame, 1875.

(5) BERTRAND A. ; *Lettres sur les révolutions du globe* ; Paris, J. Tessier, 1845. (p54)

La position paradigmatique de cette approche "centrale" des volcans au XIX^{ème} siècle tient, si l'on s'attarde aux arguments de Bertrand, aux progrès de la pétrographie mais surtout à la rupture que constitue la naissance de la chimie moderne et de la nouvelle connaissance des combustions qui en résulte :

"On a cru expliquer suffisamment la formation des volcans en supposant que les matières inflammables renfermées dans le sein de la terre prenaient feu spontanément ; mais on n'a pas réfléchi que, pour que la combustion eut lieu, il faudrait nécessairement le contact de l'air, et que le foyer des volcans est situé à des profondeurs trop considérables pour qu'on puisse supposer que l'air y pénètre." (6)

Les modèles locaux étaient peu compatibles avec les nouvelles conceptions des combustions.

Ces modèles centraux sont, contrairement aux modèles locaux, dans une problématique planétaire des phénomènes volcaniques.

Ils ont moins de cohérence que la conception "locale" puisqu'ils sont obligés de mobiliser un certain nombre de causes, en partie indépendantes : si le réservoir de magma explique laves et matières volcaniques, la localisation est renvoyée à des particularités de surface (faiblesse localisée de la croûte, par exemple) ; quant à l'origine de la chaleur, considérée au début comme une chaleur résiduelle, elle devient de plus en plus problématique au cours du XIX^{ème} siècle, au fur et à mesure que la Terre paraît, aux yeux des géologues, de plus en plus vieille.

C'est l'invention de la radioactivité, à l'aube du XX^{ème} siècle (7), qui apporte une réponse satisfaisante.

Des modèles de ce type, avec "réserve" planétaire de magma (8), ont perduré au XX^{ème} siècle, mais avec quelques modifications : au fur et à mesure que la structure de la Terre se complique, en particulier à partir des analyses des données sismiques, le "réservoir" magmatique se limite à tout ou partie du manteau.

1.3. Les modèles globaux

On peut considérer qu'un nouveau changement de problématique est apparu lorsque l'on a abandonné l'idée d'un réservoir planétaire de magma. Sans faire l'analyse des conditions de ce changement, on peut dire qu'on admet

et le problème
de la chaleur

(6) Ibidem.

(7) Becquerel, en 1896 (décrit l'émission spontanée et continue par des sels d'uranium d'un rayonnement qui traverse les solides opaques...) ; Pierre et Marie Curie en 1898 (radium et polonium). ROSMORDUC J. (dir.) ; *Histoire de la physique*, tome 1 ; Paris, Lavoisier, 1987.

(8) C'est l'existence de ces réserves qui, selon nous, caractérise les conceptions "centrales" (au sens large), même si ces réserves n'occupent pas toujours, à proprement parler, le centre de la Terre.

l'écorce ne
repose pas sur
une couche de
magma

actuellement, à partir en particulier des données sismiques, que le manteau est très généralement solide sur toute son épaisseur.

"Il faut dissiper tout de suite une croyance répandue et hélas propagée par une ignorance entretenue : le magma n'est pas un constituant banal des entrailles de la Terre". (9)

Ce n'est que régionalement, sous les dorsales, les zones de subduction et au niveau des points chauds, qu'une fusion partielle localisée du manteau existe.

Dans ce nouveau cadre problématique, il ne s'agit pas simplement d'expliquer pourquoi le magma sort ici et pas ailleurs, comme dans les conceptions "centrales", mais il est avant tout nécessaire de rendre compte de la formation de magma à certains endroits et pas à d'autres.

Ces problèmes sont construits et résolus en lien étroit avec la tectonique globale et les mouvements de la lithosphère. Cela nécessite de prendre en compte une fusion (partielle) qui ne dépend pas seulement des conditions de température mais fait également intervenir la pression lithostatique totale ainsi que la pression partielle de certains constituants du manteau, l'eau en particulier (10).

Mais il faut noter que si la tectonique des plaques est une condition nécessaire pour accéder à ces modèles globaux, elle ne les caractérise pas spécifiquement : elle est parfaitement compatible avec un manteau liquide, comme le montrent de nombreuses simplifications didactiques ou vulgarisantes.

1.4. Conclusions

Ces trois types de modèles explicatifs des phénomènes volcaniques, étudiés dans leurs relations avec le fonctionnement de la Terre, relèvent de problématiques bien différentes. Malgré cela, il leur faut tous rendre compte des problèmes empiriques suivants :

les problèmes
empiriques
auxquels doit
répondre
chaque
explication des
volcans

- quelle est l'origine de la chaleur (pourquoi c'est chaud) ?
- qu'est-ce qui provoque les éruptions ?
- d'où vient la lave et qu'est-ce que c'est ?
- pourquoi n'y a-t-il pas des volcans partout ?

Mais, dans les différents modèles, ces problèmes empiriques communs n'ont pas la même importance. La chaleur, par exemple, dont l'explication est quasi immédiate dans le modèle de Buffon, est devenue une vraie énigme, voire une anomalie (11), au XIX^{ème} siècle. La répartition des volcans,

(9) ALLÈGRE Cl. ; *Les fureurs de la Terre* ; Paris, Odile Jacob, 1987, (p. 103).

(10) Ibidem.

(11) Pour Kuhn, une anomalie correspond à *l'impression que la nature, d'une manière ou d'une autre, contredit les résultats attendus dans le cadre du paradigme.*
KUHN Th. ; *La structure des révolutions scientifiques* ; Paris, Flammarion, 1983 (1962), (p. 83).

vue comme un simple détail dans certains modèles et expliquée par le hasard des éléments combustibles ou des zones fragiles de la croûte, devient fondamentale dans le modèle que nous avons appelé "global".

Les différents problèmes empiriques que soulèvent les phénomènes volcaniques, quoique faciles à délimiter, peuvent donc conduire à des explications fort différentes. Cette diversité se retrouve dans les conceptions des élèves.

2. ANALYSE DES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES SUR LA SIGNIFICATION GÉOLOGIQUE DES VOLCANS ET LEUR FONCTIONNEMENT

Dans l'histoire de la volcanologie, nous nous sommes intéressés à la signification géologique des phénomènes volcaniques au cours des siècles : sont-ils des phénomènes anecdotiques ou ont-ils une signification planétaire ? C'est sous ce même angle que nous voulons maintenant analyser les conceptions des élèves sur les volcans, de l'école élémentaire au lycée.

Nous nous permettons d'insister sur l'importance méthodologique de cette précision. Il n'existe pas en effet, selon nous, d'analyse générale de conceptions dans un domaine. Une conception est un système trop complexe pour pouvoir être décrit dans sa totalité (12) : le projet de celui qui décrit est donc fondamental et doit être explicité. Il conditionne les questions posées aux élèves et les grilles d'analyse.

Pour cette étude, nous nous appuierons dans un premier temps sur deux niveaux : le cours moyen d'une part (élèves de 10/11 ans) et la classe de première scientifique (16/17 ans).

2.1. Modèles spontanés d'élèves de cours moyen sur le fonctionnement d'un volcan (13)

Les productions d'élèves que nous analysons ici proviennent d'un travail effectué dans la classe de CM de Jean Rouxel (14). Il a donné lieu à un enregistrement vidéo ce qui a permis de retranscrire des éléments de discussion au sein de groupes et entre groupes et maître. Les données provenant

notre projet
d'analyse des
conceptions des
élèves sur les
volcans

-
- (12) ORANGE C. ; Les obstacles en didactique des sciences : nécessité d'une approche plurielle in FABRE M., ORANGE C., RIDAO C., *Le problème et l'obstacle en didactique des sciences*, Documents du Cerse, 1993, n°60.
- (13) "Séismes et éruptions volcaniques" sont au programme du cycle 3 (CE2, CM1, CM2) de l'école primaire. B.O. de l'éducation nationale, n° 5, mars 1995.
- (14) Équipe de Didactique des Sciences, École normale de la Manche. Recueil de données effectué en avril 1991, avant enseignement, à l'école Calmette et Guérin de St Lô.

de plusieurs autres classes dans lesquels un travail analogue a été mené, mais avec un recueil de données moins complet, confirment les analyses que nous allons faire.

• **Description de la situation**

Les enfants travaillent par groupes de trois sur les questions suivantes :

- Qu'est-ce qu'un volcan ?
- Comment se forme-t-il ?
- Que produit-il et comment ?
- Où trouve-t-on des volcans ?

Pour ces questions, les groupes doivent noter sur une affiche (sous forme de schémas et de texte) :

- ce qu'ils savent déjà ;
- ce qu'ils croient savoir ;
- les questions qu'ils se posent.

Le maître passe d'un groupe à l'autre pour demander des explications et stimuler les discussions.

• **Productions des groupes**

Nous reproduisons à la figure 2 les affiches de trois groupes. Elles correspondent à des conceptions différentes.

Si l'on se sert des références historiques, il apparaît que, pour le dernier groupe (groupe 3), les volcans sont expliqués par la structure générale de la Terre et par son fonctionnement en tant que planète.

Mais ce n'est pas le cas des groupes 1 et 2 qui font appel à des phénomènes essentiellement locaux. Ceci est confirmé par les discussions relevées dans ces groupes.

Ainsi une élève du groupe 1 (Béatrice) indique-t-elle, en réponse à une demande d'explication du maître :

"Le magma c'est peut-être des pierres qui se forment... et puis ça devient de plus en plus des plus grosses pierres... Avec la température du Soleil, ça commence à fondre et plus ça chauffe, plus ça monte."

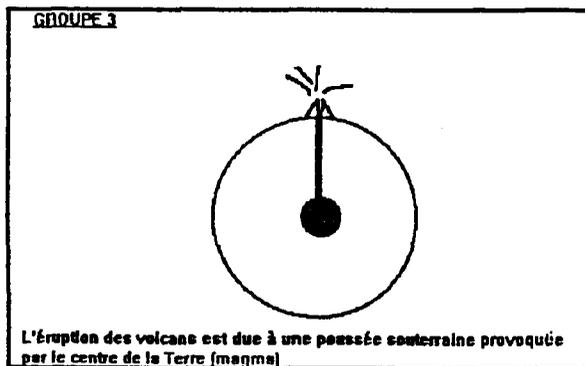
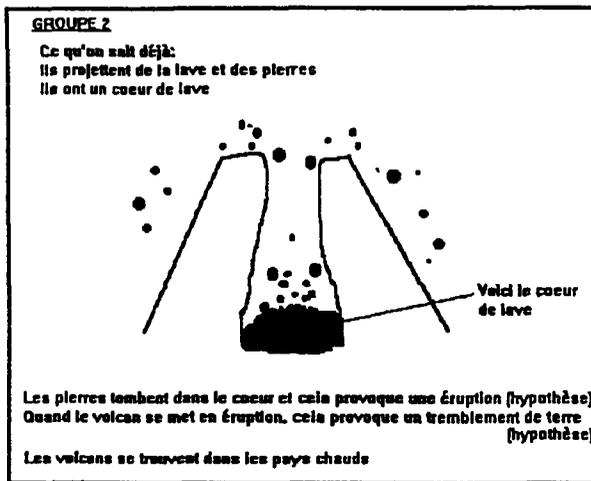
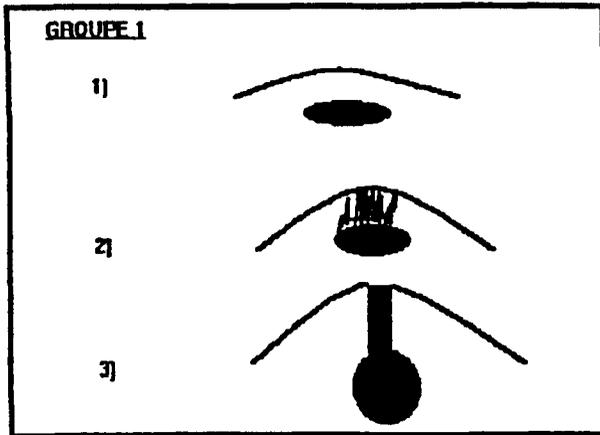
Cette référence au Soleil, comme cause externe de la chaleur, est relativement fréquente à cet âge.

Les discussions enregistrées du groupe 2 précisent leur affiche (voir figure 2) : la terre brûle dans le coeur du volcan et est ainsi responsable de la chaleur et de l'éruption.

On peut ainsi classer les productions des élèves sur le fonctionnement des volcans en explications "**locales**" et en explications "**centrales**". Il faut cependant noter que quelques élèves qui s'inscrivent dans une conception "locale" peuvent avoir un début de référence à la Terre. Cela se traduit, par exemple, par l'invocation de l'histoire de la planète. Voici ce qu'explique un élève du groupe 1 au maître : *"Quand la Terre s'est formée, sous la terre il s'est passé des transformations. Quand il y a eu des hommes pré-historiques, le magma existait. Il s'est formé avec des pierres... La lave, c'est grâce au soleil... C'est comme une boîte qui recouvre la lave ; après ça débouche..."*.

à l'école
élémentaire : des
conceptions
"locales" ou
"centrales"

Figure 2. Affiches de trois groupes, CM1-CM2 (avant enseignement)



2.2. Classe de première S (15)

Nous étudierons ici les productions d'élèves de première S dans deux situations d'explication de phénomènes volcaniques.

• *Explication générale du volcanisme*

Les productions que nous analysons ici proviennent d'un questionnaire passé avant tout enseignement de géologie dans la classe (prétest) (16).

Voici ce questionnaire.

- 1) Par un ou plusieurs schémas légendés et des commentaires, expliquez comment fonctionne un volcan et d'où vient la lave.
- 2) Qu'est-ce qu'un tremblement de terre ? Comment l'expliquez-vous ?
- 3) Comment expliquez-vous l'existence des montagnes ?
- 4) Y a-t-il un rapport entre ces trois phénomènes ? Justifiez votre réponse.

Nous ne prendrons en compte que les réponses à la première question, à laquelle les élèves ont, très généralement, répondu en premier et sans retour. Les résultats de cette analyse sont donnés à la figure 3.

La figure 4 reproduit deux réponses caractéristiques.

au lycée : des
conceptions
"centrales"

Il apparaît que la quasi totalité des élèves a recours à un modèle de magma préexistant, que ce magma occupe tout l'intérieur de la Terre ou qu'il soit cantonné au manteau ou au centre proprement dit (noyau).

Derrière ce mode d'explication fortement majoritaire se cache une idée que l'on peut illustrer par la réponse suivante :

"La lave est une masse rocheuse en fusion. Cette fusion est provoquée par la température... Plus on se rapproche du centre de la Terre, plus la température est importante."

• *Explication particulière d'un type de volcanisme*

Analysons maintenant les modèles produits par des élèves sur des problèmes plus précis, avec des contraintes plus fortes.

(15) Les programmes de première S envisagent les phénomènes volcaniques dans le cadre des relations entre "Mouvements de la lithosphère et énergie interne" donc, en particulier, en relation avec la tectonique des plaques. B.O. de l'Éducation nationale, numéro hors-série du 24/9/92.

(16) Ce test a été passé dans plusieurs classes de première S. Les résultats étudiés ici sont ceux d'une classe du lycée Le Verrier de St Lô (Classe de Paulette Ducrocq, le 12/9/91).

Figure 3. Analyse des conceptions (avant enseignement) des élèves d'une classe de première S sur le fonctionnement des volcans (Comment fonctionne un volcan ? D'où vient la lave ?)

a) Sur les 36 productions:

- 1 ne donne aucune réponse ("Je ne sais pas").
- Aucune ne peut être interprétée comme une explication locale du volcanisme;
- mais 6 se limitent à une description centrée sur le volcan et son voisinage profond immédiat (chambre magmatique), ce qui ne permet pas d'évaluer le lien fait avec la structure et le fonctionnement de la planète.
- 29 relie le fonctionnement du volcan à la structure et au fonctionnement de la planète Terre (signification planétaire explicite du volcanisme).

b) L'analyse des 29 productions donnant une signification planétaire au volcanisme peut se faire selon deux axes: d'une part la mention ou non de plaques lithosphériques dans les explications; d'autre part, la référence soit à un réservoir de magma soit à une production régionale (par fusion ou frottements, par exemple). Cela se traduit par le tableau suivant.

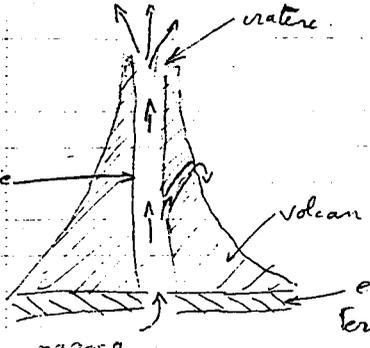
Origine de la lave		Plaques mentionnées	Plaques non mentionnées	
Réservoir planétaire de lave	Sous l'écorce ¹	5	10	15
	Manteau	2	5	7
	Noyau	2	2	4
Production régionale de lave (fusion, frottement).		2 (NB ²)	1	3
		11	18	29

1 Nous regroupons là les productions qui semblent faire référence à une masse magmatique occupant tout l'intérieur de la Terre ("au centre de la Terre", sans autre précision ; "sous la croûte"...).

2 Nous avons placé dans cette catégorie une production qui mentionnait pour certains volcans une production régionale et, pour d'autres, un réservoir mantellique de magma.

Figure 4. Production de deux élèves de première S (avant enseignement)

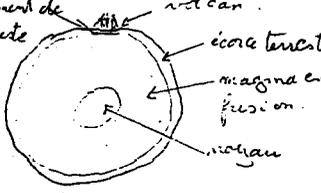
①



cratère
cheminée
volcan
écorce terrestre
magma

Le magma en fusion sous l'écorce terrestre applique une pression. À certains endroits, l'écorce terrestre étant plus fragile fend. Le magma monte alors dans la cheminée du volcan et sort par le cratère.

coupe d'un volcan



renforcement de l'écorce terrestre
volcan
écorce terrestre
magma en fusion
noyau

La Terre est composée d'un noyau central, de magma d'une écorce terrestre. Celle-ci n'étant pas toujours de la même épaisseur, parfois elle fend sous la pression du magma qui s'échappe alors et forme un volcan.

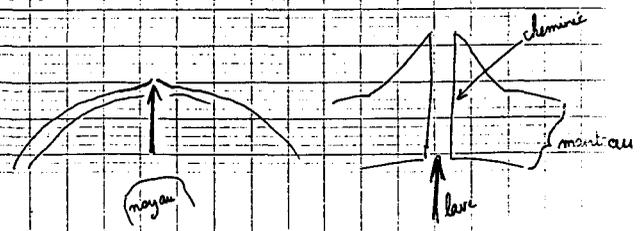
coupe de la terre

②

La lave vient de la couche "liquide" de magma située sous l'écorce terrestre mais à l'extérieur du noyau (celui-ci est solide).

Collision: Quand deux plaques s'affrontent l'une de l'autre, la lave peut s'échapper par ce trou. Ensuite la lave "construit" les côtés du volcan et la cheminée.

Ce phénomène se produit également à l'échelle inférieure sous l'eau entre deux plaques.



cheminée
monticule
lave
magma

Contrairement aux productions précédentes, celles-ci ont été réalisées dans la progression du cours de géologie, après avoir travaillé d'une part sur les grands principes de la tectonique des plaques et d'autre part sur la structure de la Terre. En particulier, l'état solide du manteau a été repéré à partir des données sismiques (17).

On demande aux élèves, par groupes de deux, d'expliquer le volcanisme des zones de subduction. La question est la suivante :

"A partir de quoi et comment se forme le magma qui alimente les volcans des zones de subduction ?".

La tâche est ainsi précisée :

- produire un schéma simple accompagné d'un petit texte explicatif ;
- la durée de préparation est de 15 mn environ au bout desquelles les binômes iront noter au tableau leur schéma explicatif et le présenteront à tour de rôle à l'assemblée.

des explications
qui s'appuient sur
l'augmentation
de température

La mise en commun des productions de groupes permet de dégager un accord général sur une explication : **le haut de la plaque plongeante fond**. Pour les élèves, la température est déterminante dans la fusion : "C'est l'augmentation de température qui fait fondre". Et cette augmentation est due au gradient géothermique ou aux frottements, ou encore à la pression.

Ces explications ont deux caractéristiques remarquables :

- si on excepte l'intervention envisagée des frottements, elles font intervenir essentiellement des facteurs généraux, non spécifiques de la zone de subduction ;
- c'est la température qui est le seul paramètre directement évoqué pour la fusion (si la pression ou les frottements agissent, c'est en faisant augmenter la température).

On est donc dans un cas où une simple explication "centrale", avec magma pré-existant n'est pas possible directement, puisque l'état solide du manteau est une donnée (voir plus haut), mais où les raisonnements et les explications mobilisés par les élèves restent très généralement ceux qui accompagnent une approche "centrale". Et on voit bien en quoi ces raisonnements peuvent être un obstacle à l'adoption d'un modèle "global" où plusieurs paramètres entrent en jeu dans la détermination de la fusion.

(17) Pour une description plus complète de cette situation, voir : ORANGE D. et C. ; La mise en œuvre d'une situation-problème en géologie ; *Biologie-Géologie (Bulletin APBG)*, 1993, 3, 547-555.

2.3. D'une grille des conceptions historiques à une grille didactique

Les exemples présentés ici pourraient être complétés par des entretiens et des productions d'autres classes de même niveau ou de niveau différent (collège, enseignants en formation) : les mêmes grandes catégories de conceptions se dégageraient.

Il apparaît ainsi que les modèles historiques présentés au paragraphe 1 peuvent servir de repères pour l'analyse des modèles spontanés des élèves, dans le cas où celle-ci porte sur l'articulation signification géologique/fonctionnement général des volcans.

Nous donnons en annexe une grille d'analyse des conceptions (grille didactique) construite sur ce principe lors de différentes actions de formation d'enseignants (18).

l'intérêt de cette classification des conceptions des élèves

Ce n'est pas la place ici de discuter dans le détail de la signification de cette correspondance entre analyse historique et analyse didactique. En aucun cas il ne s'agit de trouver tout naturel un quelconque parallélisme. Disons simplement que, étant donné l'axe d'étude choisi, il y a peu de grands types d'explication possibles, et que l'on peut trouver là des raisons à ces similitudes.

C'est plutôt l'intérêt de cette classification des conceptions, fondée sur le fonctionnement général et la signification des volcans, qu'il faut questionner.

Cette grille nous semble justifiée épistémologiquement au regard de la place que jouent actuellement les volcans dans notre vision du fonctionnement interne de la Terre. Elle paraît également pertinente didactiquement dans la mesure où elle permet de dégager des ruptures et des obstacles en nombre réduit qui peuvent servir de guide pour la gestion des apprentissages.

3. REPÈRES POUR LA DÉFINITION D'OBJECTIFS ET DE CONTENUS DE L'ÉCOLE ÉLÉMENTAIRE AU LYCÉE

On peut ainsi définir, avec les intentions annoncées ci-dessus, **trois grands types de conceptions** du volcanisme chez les élèves, de l'école élémentaire au lycée.

D'une de ces conceptions à l'autre la problématique du volcanisme est différente, même si, globalement, les mêmes types de problèmes empiriques, que nous avons signalés à la fin du paragraphe 1, doivent être maîtrisés. Ces conceptions repèrent donc des obstacles que les élèves doivent dépasser à certains moments de leur scolarité ; elles présen-

(18) Christian Orange, Christian Ridao, Équipe de didactique des sciences IUFM de l'Académie de Caen, centre de St Lô.

tent aussi des cadres possibles pour développer, à un moment ou à un autre de leur apprentissage, un savoir théorique sur le volcanisme.

3.1. Objectifs-obstacles pour l'enseignement du volcanisme

Aux trois grands types de conceptions sur la signification des volcans que nous avons caractérisés, peuvent correspondre *a priori* deux grandes ruptures pouvant être traduites en deux objectifs-obstacles (19) : l'un concerne le passage d'une conception "locale" à une conception "centrale" ou magmatique ; l'autre vise une conception "globale".

Parmi les conditions de possibilité d'une conception "globale", il faut noter la compréhension de l'intervention de plusieurs paramètres continus dans la transition solide/liquide et donc une certaine maîtrise des diagrammes (20) P,T, voire P,T,PH₂O.

Tout ceci indique que le second objectif-obstacle n'est guère envisageable avant le lycée.

Quant au premier, il peut faire l'objet d'un travail à l'école élémentaire et au collège.

Il apparaît donc que, dans le cadre choisi ici, la densité des objectifs-obstacles sur l'ensemble de la scolarité est très faible.

les
apprentissages
ne sont pas que
ruptures :

Cela présente l'intérêt de ne pas dénaturer le concept d'obstacle épistémologique (21). D'autre part les deux ruptures pointées sont faciles à situer et peuvent ainsi servir de repères pour la mise en place de situations problèmes.

il faut penser aux
apprentissages
"normaux"

Mais il devient alors clair que les apprentissages sur le volcanisme ne peuvent se limiter à ces objectifs-obstacles. D'où la nécessité de définir complémentaiement des objectifs d'apprentissage qui ne correspondent pas à des sauts conceptuels importants : ce sont ces apprentissages-là sur lesquels nous avons déjà mis l'accent et que nous avons appelés, en nous référant à la science normale de Kuhn (22), des apprentissages normaux (23).

(19) MARTINAND J.-L. ; *Connaître et transformer la matière* ; Berne, Peter Lang, 1986.

(20) Il s'agit des diagrammes à deux (P, T) ou trois dimensions (P, T, PH₂O) qui décrivent les conditions de fusion des roches en fonction des différents paramètres qui interviennent dans cette fusion : pression totale (P), température (T) et pression partielle d'eau (PH₂O).

(21) ORANGE, 1993, op. cit.

(22) KUHN Th., 1983, op. cit.

KUHN oppose la science normale aux périodes présocratiques et aux périodes de révolution scientifique : il s'agit de moments, relativement longs dans l'histoire des sciences, où une communauté scientifique partage un certain nombre de certitudes et de croyances (paradigme) sur le domaine étudié.

(23) ORANGE C. et D. ; Problèmes de rupture, problèmes normaux et apprentissage en biologie-géologie ; *Les Sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, 1993, 4-5, 51-70.

3.2. Paradigmes scolaires et apprentissages normaux

L'analyse épistémologique et psychologique du volcanisme et de sa signification, conduit donc à une nécessaire hiérarchisation des apprentissages.

Mais qu'il s'agisse d'apprentissages de rupture (correspondant aux objectifs-obstacles) ou d'apprentissages normaux, ils ne peuvent se définir que par rapport à une typologie des grandes conceptions. Les premiers parce qu'ils correspondent au passage d'une conception à une autre ; les seconds parce que, comme leur nom l'indique, ils n'ont de sens qu'à l'intérieur d'une grande conception, choisie par l'enseignant comme paradigme de référence pour la classe.

Cela appelle deux remarques.

1) Cette utilisation d'une "cartographie" des représentations ne doit pas être vue comme une tentative de les chosifier : nous avons insisté sur l'importance du projet didactique dans leur analyse ; nous avons d'autre part davantage mis en avant, pour les caractériser, les problématiques volcaniques que les détails des modèles construits par les élèves ; il est enfin nécessaire de relier ces conceptions à des schèmes ou des types de raisonnement des élèves (24).

2) Le fait de mettre l'accent sur les apprentissages normaux ne nie pas l'importance des conceptions, au contraire : ces apprentissages sont effectués dans une conception bien identifiée et explicitée au sein de la classe.

Ainsi le problème de la répartition des volcans et des séismes, par exemple, n'a d'intérêt géologique que dans une explication "centrale" ou "globale". Sa construction avec les élèves ne peut déboucher sur un modèle de plaques que si la classe, dans son ensemble, est dans l'une ou l'autre de ces conceptions.

D'autre part un modèle de plaques développé dans une conception "centrale" ne sera pas identique à un autre construit dans une problématique "globale" : ils différeront en particulier quant à leurs liens avec le volcanisme et l'origine des magmas.

Ces grandes conceptions jouent donc pleinement le rôle de **paradigme scolaire** à l'intérieur duquel on peut développer des problèmes (des problèmes normaux, selon Kuhn) et des modèles spécifiques.

On voit aussi que, au regard de la science actuelle et des représentations des élèves, deux paradigmes scolaires peu-

il est important de définir des paradigmes scolaires...

ORANGE C. ; *Intérêt de la modélisation pour la définition de savoirs opérants en biologie-géologie* ; Thèse Université Paris 7, 1994.

(24) Ainsi la conception "centrale" est nettement liée à un raisonnement linéaire sur la fusion où un seul paramètre intervient. Pour les raisonnements linéaires en physique, voir, entre autres : VIENNOT L. ; *Raisonnement à plusieurs variables : tendances de la pensée commune* ; *ASTER* N° 14, 1992, 127-141.

vent avoir une certaine pertinence : la conception "globale", et la conception "centrale" avec manteau liquide.

servant de cadre
aux
apprentissages
"normaux

D'une certaine façon, ce concept de **paradigme scolaire** nous semble généraliser celui de **niveau de formulation** introduit par l'équipe Aster il y a une vingtaine d'années. Celui-ci correspond à un énoncé fournissant un pouvoir prévisionnel (25), celui-là donne un cadre de référence pour maîtriser des problèmes normaux ; ils insistent donc l'un et l'autre sur l'aspect opérant (26) du savoir. Mais là où un niveau de formulation renvoie plutôt à un ou quelques concepts et aux énoncés correspondants, le paradigme est un cadre théorique plus général de construction de modèles et d'apprentissages normaux.

3.3. Repères pour un curriculum

On a ainsi, avec la grille didactique, un outil servant à la fois à définir les obstacles possibles et à choisir les paradigmes scolaires envisageables dans une classe.

quel paradigme
scolaire pour le
volcanisme...

Voici ce que peut donner une telle analyse *a priori* - c'est-à-dire avant prise en compte des caractéristiques d'une classe particulière - dans le domaine du volcanisme selon le niveau choisi :

à l'école,

- À l'école (cycle 3), le paradigme scolaire possible est "central" (avec manteau liquide).

On peut s'attendre à ce que certains élèves soient dans une conception "locale", ce qui conduira à définir pour eux un objectif-obstacle (passage local → central) et à développer des situations d'apprentissage de rupture (une situation-problème, par exemple) pour amener toute la classe au paradigme visé. Ce paradigme pourra alors servir de cadre pour des apprentissages normaux, sur le concept de plaques, les caractéristiques des éruptions.

au collège,

- En quatrième, le paradigme scolaire possible est également la paradigme "central". Mais la nécessité de ruptures pour certains élèves (objectif-obstacle) est beaucoup moins probable, tous ayant déjà vraisemblablement un tel point de vue. Tout au plus sera-t-il nécessaire de travailler sur des éléments de ce paradigme (d'où vient précisément la lave, par exemple). Ce paradigme pourra alors servir de référence pour des apprentissages normaux.

au lycée ?

- En première, l'enjeu est l'accès au paradigme "global". Cela correspond à un objectif-obstacle pour l'ensemble des élèves et peut donner lieu à des situations-problèmes que nous avons analysées par ailleurs (27). Nous ne détaillerons pas ici les apprentissages normaux correspondant à

(25) Équipe ASTER ; *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales* ; Paris, INRP, 1985, (p. 33).

(26) ORANGE C., 1994, op. cit.

(27) ORANGE D. et C., 1993, op. cit.

ce paradigme : ils font actuellement l'objet d'une recherche au sein de l'équipe de didactique du CERSE (Université de Caen) et de l'IUFM de l'Académie de Caen.

CONCLUSION

Aux caractéristiques scientifiques et didactiques du volcanisme que nous indiquions en introduction il faut en ajouter une autre : on peut dresser de ce domaine une carte des conceptions (une grille didactique) relativement simple, si on s'en tient à la signification et au fonctionnement général des volcans. Il est donc plus facile de s'y repérer que dans d'autres domaines et cela peut servir ainsi de "laboratoire" pour explorer les liens entre les conceptions des élèves et l'organisation pédagogique de leurs apprentissages. Il est en effet urgent de construire des aides pour permettre aux enseignants de mettre en place un enseignement relevant d'un "modèle didactique", tel que le définit Jean-Pierre Astolfi (28).

En nous appuyant sur l'épistémologie de Kuhn, transposée à la classe, il nous semble ainsi qu'une catégorisation des conceptions qui ne multiplie pas les ruptures et les obstacles, permet d'aboutir à une grille didactique qui soit un outil pour organiser l'enseignement. Il ne s'agit pas de ramener tout apprentissage visé à un changement de grande conception, comme cela a été parfois fait, mais de distinguer les temps didactiques où il s'agit de provoquer des ruptures et ceux où il s'agit d'approfondir l'efficacité et la pertinence de ce que nous avons appelé un paradigme scolaire.

Ces paradigmes, même s'ils ne correspondent pas à celui de la science actuelle, seront effectivement des savoirs scientifiques, théoriques (29) et donc opérants (30), s'ils permettent de développer de véritables compétences de modélisation pour la maîtrise de problèmes normaux.

Christian ORANGE
 Institut Universitaire de Formation
 des Maîtres, Caen
 C.E.R.S.E, Université de Caen

(28) ASTOLFI J.-P. ; *L'école pour apprendre* ; Paris, ESF, 1992, (p. 129).

(29) ASTOLFI J.-P., 1992, op. cit., (p. 36).

(30) ORANGE C., 1994, op. cit.

ANNEXE

RÉFÉRENTIEL POUR L'ANALYSE DES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES SUR LE VOLCANISME

Les conceptions des élèves sur le volcanisme peuvent être analysées selon deux référentiels :

- une analyse en termes de grandes conceptions ; une telle analyse permet plus particulièrement de faire une évaluation diagnostique et de définir des objectifs ;
- une analyse selon des questions auxquelles doit répondre toute conception sur le fonctionnement des volcans ; cette analyse permet plus particulièrement de préparer la situation-problème et la phase de problématisation.

1. RÉFÉRENTIEL PAR QUESTIONS FONDAMENTALES

Toute explication sur le fonctionnement d'un volcan peut être interrogée de la façon suivante :

- Comment est expliquée la chaleur du volcan ? Chaleur du centre de la terre ? Chaleur du soleil ? Feu ou réaction chimique ?
- Comment sont expliquées la formation et l'origine de la lave (et des produits volcaniques) ?
- Comment est expliqué le déclenchement de l'éruption ?
- Comment est expliqué le fait qu'il n'y a pas des volcans partout ?

Cela ne veut pas dire que les productions des élèves sur le fonctionnement d'un volcan donneront nécessairement une réponse à toutes ces questions (en particulier aux deux dernières) : cela dépend de la situation-problème choisie et des références des élèves.

2. RÉFÉRENTIEL EN TERMES DE GRANDES CONCEPTIONS

Cette typologie des représentations repose sur une analyse épistémologique prenant en compte l'étude historique des conceptions sur les volcans.

2.1. Conceptions locales

a) Principe fondamental de cette catégorie de conceptions : le volcan est expliqué par un fonctionnement local, indépendant de la structure et du fonctionnement du globe terrestre.

b) Deux variantes principales

- le volcan est lié à un feu, une réaction locale...
- le volcan est lié à un réchauffement local dû au soleil.

NB : dans ces conceptions, la lave est quelquefois considérée comme de la boue chaude (problème de la fusion non maîtrisé).

c) Efficacité et caractéristiques psychologiques de ces conceptions

Ces conceptions permettent d'expliquer le volcan sans avoir à le resituer dans un environnement large : c'est donc une forme d'explication plus simple que les conceptions centrales.

La conception locale liée à un feu est très cohérente : une seule cause (le feu) permet d'expliquer les principaux phénomènes volcaniques (chaleur, lave, "feu" et explosions...). Elle semble cependant peu utilisée par les enfants.

Problème empirique possible : existence de volcans sous-marins.

La conception locale liée au soleil est fréquente : l'enfant trouve dans ses connaissances empiriques la cause la plus évidente d'un réchauffement. Cela est certainement dû également au côté exotique des volcans ce qui les fait lier volontiers aux pays chauds.

Problème empirique possible : existence de volcans dans des pays froids (Islande...).

2.2. Conceptions centrales

a) Principe fondamental de cette catégorie de conceptions : le volcanisme est vu comme un phénomène lié aux caractéristiques d'une Terre faite d'une croûte solide (plus ou moins épaisse) surmontant une masse de magma ; ce magma ne demande qu'à sortir si un passage lui est fourni.

b) Deux variantes :

a) le magma est vraiment central, avec une "croûte" relativement épaisse,

b) le magma se situe entre une "croûte" assez mince et un noyau.

c) Pertinence et caractéristiques psychologiques de ces conceptions

Une condition de possibilité de ces conceptions est la capacité de l'élève à replacer le volcan dans un environnement large.

La cohérence de cette conception repose sur le lien entre température et état de la matière. Si le centre de la Terre est chaud, plus on s'enfonce, plus il fait chaud et plus la roche est fondue.

Problème possible pour la variante très centrale (lorsque la croûte est très épaisse) : l'explication de la remontée du magma.

La plupart des problèmes construits à partir d'une conception centrale ne sont pas du niveau de l'école élémentaire.

2.3. Conception globale

Principe fondamental de cette conception : le magma n'est pas présent partout sous nos pieds mais n'existe qu'à certains endroits particuliers (dorsales, zones de subduction, points chauds) ; il faut donc expliquer la formation de ce magma. Il s'agit là de la conception actuelle du volcanisme (voir Allègre, *Les fureurs de la Terre*)

Cette conception ne concerne pas les élèves de l'école élémentaire.

3. REMARQUE : TECTONIQUE DES PLAQUES ET CONCEPTIONS DU VOLCANISME

Une tectonique des plaques est compatible aussi bien avec une conception centrale, variante b) qu'avec une conception globale. À l'école élémentaire, on peut donc envisager un apprentissage sur la tectonique des plaques après qu'un travail sur les représentations ait permis de faire passer tous les élèves à une conception centrale : il s'agira alors d'une science et d'un apprentissage de type normal (au sens de Kuhn).

VOUS AVEZ DIT : CRISTAL ? JE PENSE : VERRE

Hervé Goix

Prendre en compte les connaissances des élèves dans l'enseignement de la géologie, tel est l'objectif que nous nous sommes fixé en classe de quatrième. Ces mots - cristal, roche, magma, Terre - représentent quatre concepts autour desquels est organisée une grande partie de notre cours. Le présent article décrit les conceptions des élèves que nous avons recueillies ainsi que les modalités de leur recueil. Elles sont ensuite mises en relation avec différentes formulations, organisées en réseau, des concepts abordés. Le but de cette présentation est de mettre en relation les conceptions des élèves, les obstacles dégagés et les possibilités de dépassement.

Tenir compte des erreurs des élèves dans l'enseignement est une volonté très ancienne. On peut, par exemple, lire une telle disposition dans les Instructions officielles de 1952. M. Vicentini rappelle (Giordan, Henriques et Vinh Bang, 1989) que F. Henriques affirmait déjà en 1936 : *"Le maître sait que la compréhension des erreurs de ses élèves est la chose la plus importante de son art didactique. Il apprend vite à distinguer les erreurs significatives de celles qui ne sont pas à proprement parler des erreurs - affirmations gratuites d'effrontés qui essaient de deviner - où manque l'effort de réflexion. [Cette erreur doit cesser de] représenter pour nous quelque chose de monstrueux, comme une négation de la vérité, [mais doit être] reconnue comme étant inséparable des tentatives et des efforts de l'esprit, occupant parfois une place nécessaire sur le chemin de la vérité."*

C'est donc avec cette idée que les erreurs des élèves ne constituent pas de simples aberrations, que nous avons entrepris de répertorier les conceptions des élèves en relation avec quatre mots-clés : **cristal, roche, magma** et **Terre** et d'étudier en quoi, par leur résistance, elles empêchent l'élève de progresser. Si, en physique et en biologie, ce travail a été réalisé depuis de nombreuses années (1) nous n'avons pas encore trouvé beaucoup de productions présentant un travail équivalent dans les sciences de la Terre (2). Nous sommes conscients du débat existant autour du terme

- (1) André Giordan (1987) rappelle que, de 1980 à 1985, 190 références d'articles ou de contributions à des ouvrages ont pu être recensées dans ces domaines.
- (2) Si ce n'est l'important travail effectué sous la direction de J. Deuff et J. Lameyre : *Contribution à la définition de modèles didactiques pour une approche de la géologie à l'école élémentaire et dans la formation des maîtres*. Paris : MEN, Direction des Écoles, 1990. Réédité CRDP de Poitou-Charentes, 1995.

représentation en psychologie cognitive (Giordan et al., 1994). Sans vouloir entrer dans ce débat, nous utiliserons de préférence le terme *conception*, plus neutre que celui de représentation, mais, pour éviter des répétitions, il nous arrivera d'utiliser le second terme en lieu et place du premier.

Pourquoi avoir choisi ces concepts ? *Roche, magma, Terre* désignent des objets couramment étudiés en quatrième, en lien avec le programme et les compléments très explicites à leur sujet. Le terme de *cristal*, par contre, n'apparaît pas en tant que tel et est très rarement défini dans les manuels scolaires actuels. Il est pourtant un concept incontournable dans les sciences de la Terre dès que l'on s'intéresse à l'origine des roches si l'on ne veut pas réduire cette étude à un exposé de faits.

Quelles sont les conceptions des élèves ? En quoi créent-elles des obstacles à l'apprentissage ? À quelles conditions ces obstacles pourraient-ils être dépassés ? Telles sont les idées que nous comptons développer dans cet article.

1. LES CONCEPTIONS D'ÉLÈVES DE QUATRIÈME À PROPOS DE QUELQUES CONCEPTS DE GÉOLOGIE

Ces conceptions ont été recueillies au milieu du premier trimestre après les premières leçons d'introduction à la géologie et l'étude de l'origine d'une roche sédimentaire observée lors d'une sortie. Les élèves n'avaient pas encore abordé les thèmes relatifs à l'activité interne de la Terre (volcanisme, séisme, ...). Les élèves de nos classes ont entre 13 et 15 ans.

Pour connaître ces conceptions, nous avons utilisé quatre questionnaires différents.

trois modalités
de recueil des
conceptions
des élèves...

- Un questionnaire du type Q-Sort (A. Vérin, B. Peterfalvi, 1985) sur des mots à mettre en relation avec trois termes : *Cristal, Volcan, Terre*. Ces mots ont été choisis parmi les mots les plus souvent proposés par des élèves des années précédentes. Il a été soumis à 60 élèves. Un questionnaire du même genre avait été proposé l'année précédente (en 1993-1994), dans les mêmes conditions, à nos élèves de Quatrième. Il avait donné des résultats semblables. Nous n'avons pu cependant en cumuler les résultats avec ceux de cette année car nous avons changé quelques termes.
- Deux questionnaires plus ouverts :
 - un sur les explications avancées par les élèves à propos du déclenchement ou de la fin d'une éruption et la manière dont ils se représentent un volcan (partie aérienne + partie souterraine) ;
 - une question sur leur manière de se représenter l'intérieur d'un cristal.

- Une demande de schématisation des relations entre volcan et structure de la Terre.

Les questionnaires ouverts et les demandes de schématisation ont été proposés à tous nos élèves (105 élèves). Les réponses choisies sont parfois celles d'élèves d'années précédentes et d'élèves d'un autre collège de l'Oise (Pont Ste Maxence).

Quelques données complètent ce dispositif : des enregistrements d'élèves en cours, des écrits ponctuels...

1.1. Terre, cristal, volcan : trois mots-clés du programme de quatrième

Le Q-Sort était présenté de la manière suivante :

Dans les trois premières questions il vous est demandé d'associer, en les classant, un mot-clé (en caractères gras) à dix mots du vocabulaire courant (classés par ordre alphabétique dans chaque liste). Pour cela vous reporterez, dans la fiche-réponse, les numéros des mots dans les cases correspondant à la question : en haut vous indiquerez les mots qui à votre avis se rapprochent le plus du mot-clé, en bas ceux que vous associez le moins ; les cases du milieu correspondant aux mots qui ne sont ni très proches, ni très éloignés du mot-clé.

1°) **Cristal** : 1 atome - 2 bijou - 3 brillant - 4 glace - 5 liquide - 6 ordre - 7 régulier - 8 roche - 9 solide - 10 verre.

2°) **Terre** : 1 chaleur - 2 croûte - 3 continent - 4 liquide - 5 magma - 6 manteau - 7 noyau - 8 océan - 9 roche - 10 solide.

3°) **Volcan** : 1 chaleur - 2 continent - 3 explosion - 4 feu - 5 fissure - 6 gaz - 7 lac - 8 lave - 9 magma - 10 pression.

un Q-Sort pour connaître les associations d'idées faites par les élèves

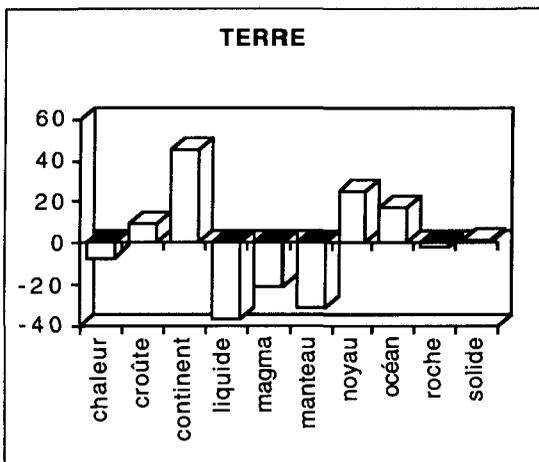
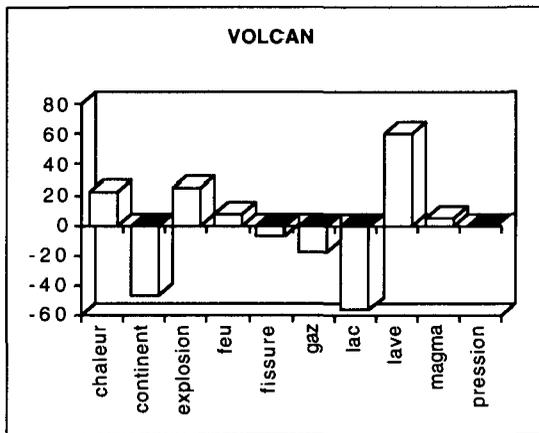
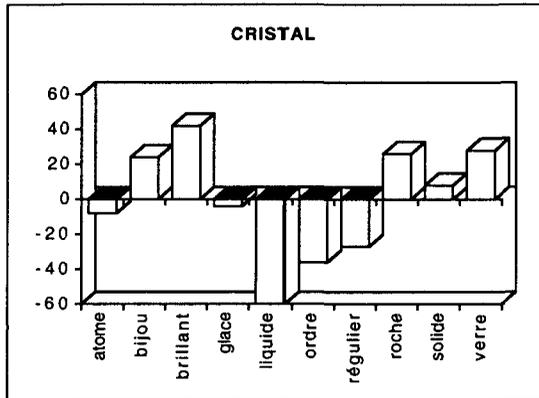
Dans le document 1 les valeurs apparaissant en "ordonnées" correspondent à la force de l'accord ou du rejet. Elles ont été calculées de la manière suivante : les mots ont été affectés d'un coefficient "+2, +1, -1, -2" selon qu'ils étaient fortement associés, moyennement associés, moyennement rejetés ou fortement rejetés. S'ils n'ont été ni spécialement associés, ni spécialement rejetés, le coefficient utilisé était "0". L'intérêt d'une telle présentation avec des valeurs positives et des valeurs négatives est de mieux visualiser les distinctions entre les mots qui sont en accord avec les idées des élèves et ceux qui sont rejetés.

Ces résultats appellent plusieurs remarques.

trois idées fortes en quatrième :
 * le cristal est un objet brillant, un bijou

- Le terme de **cristal** rappelle à beaucoup d'élèves l'idée de bijou ou de brillance voire celle de verre (mais qui n'a pas vu ou entendu parler de verres en cristal ?). L'association *cristal - roche* est également fréquente : cela s'explique peut-être par le fait que ce test s'est déroulé après l'étude de différentes roches cristallines dans le cadre de l'introduction à la

**Document 1. Réponses de 60 élèves de quatrième au Q-Sort
Collège St-Just (Oise) - Octobre 1994**



géologie. Le terme de cristal a parfois été employé en remplacement du terme de grains. *Solide* est également un caractère que les élèves attribuent au cristal.

Par contre quatre idées sont fortement rejetées : celles de *liquide*, *régulier*, *atome* et *ordre*. Le premier rejet est lié au fait que les exemples de cristaux connus sont à l'état solide. Le rejet de l'idée d'atome semble lié au fait que ce terme est peu connu des élèves de ce niveau puisqu'ils ne font plus de sciences physiques en cycle d'observation et que le contexte culturel de nos élèves ne leur fournit pas l'occasion d'utiliser ce terme. Enfin, les élèves de quatrième ont, à cette époque de l'année, peu observé de cristaux : comment pourraient-ils y déceler une quelconque régularité ? L'idée d'ordre, quant à elle, n'a pas d'écho autre que celui de classement sans rapport avec l'idée de modèle d'organisation particulière.

* les volcans sont des bouches qui rejettent du feu...

• Quant à l'idée de **volcan**, elle est principalement associée à celle de *lave*, de *chaleur* et d'*explosion*. Ces associations se passent de commentaires. C'est l'aspect phénoménologique qui est retenu. Bien que ce questionnaire ait été donné avant toute présentation de film sur le volcanisme, beaucoup d'élèves de quatrième ont déjà vu à la télévision des courts métrages sur le sujet, ne serait-ce qu'aux actualités télévisées. Le volcan est cette montagne qui dégage de la chaleur, qui produit des explosions, qui rejette de la lave. L'association volcan-feu est également assez fréquente. Elle montre l'impact de certaines images dans la description. Ainsi, lorsque, plus tard, je demandai à des élèves d'indiquer les mots qu'ils associaient spontanément aux images vues lors de la projection d'un court métrage sur une coulée de lave, ils indiquèrent le mot *braise* comme mot-clé caractéristique de volcan. Cette association est d'ailleurs explicite dans le discours de certains vulgarisateurs scientifiques au titre de métaphore (voir H. Tazieff dans l'émission *Le feu de la Terre - 3ème émission : Les Afars*). Elle est renforcée par la couleur de la lave, les flammes que l'on aperçoit lorsque des arbres, des habitations brûlent au contact d'une coulée de lave.

L'idée de magma est peu reliée à celle de volcan mais cette non-association est très inégale selon les classes. Certains élèves, parfois excellents, affirment ne pas connaître ce mot. Par contre une interrogation d'autres élèves en début de quatrième ou en fin de cinquième avait montré qu'ils notaient la présence de magma comme constituant principal du globe en signalant qu'ils en avaient entendu parler en cours de géographie. Une enquête auprès de nos collègues de cette discipline nous a indiqué que le terme était généralement cité. Cela signifierait-il qu'il n'a pas été intégré et est resté au niveau de l'anecdote ?

Par contre les idées de gaz et, dans une moindre mesure, celle de pression sont peu associées à celle de volcan. C'est à notre avis un point en relation avec l'absence de question-

...dont les éruptions n'ont pas de véritables causes

nement sur le moteur des éruptions, et ce pour deux raisons liées entre elles :

- gaz et pression sont deux concepts qui seront abordés plus tard dans la scolarité ;
- à cette période de l'année scolaire, le premier terme évoque une substance contenue dans un récipient (bonbonne, cartouche par exemple) et non un état de la matière, le second est plutôt en relation avec les pneumatiques ou la météorologie plutôt qu'avec l'idée de mouvement.

Le rejet, apparent, des mots *lac* et *continent* est peut-être dû au fait que ces deux termes sont moins en relation avec l'aspect éruptif des volcans, d'où leur moindre attraction.

* une Terre avec un noyau

• Les résultats concernant les idées en relation avec le mot **Terre** indiquent que ce terme désigne une entité difficile à préciser : un globe formé d'océans et de continents, avec un noyau en son centre (c'est l'image de la cerise ou de la pêche). Les élèves s'attachent principalement aux éléments observables directement (océan, continent, roche). À partir de là nous pouvons comprendre que *liquide* soit peu associé à *Terre* même si cela paraît en contradiction avec les réponses à d'autres questions (3) : si c'est le liquide qui constitue l'intérieur du globe, il est invisible de l'extérieur ; s'il s'agit des océans et des mers, beaucoup d'élèves ne savent pas qu'ils constituent la plus grande partie de la surface du globe. Par contre *magma* et *manteau* étant inégalement connus des élèves, beaucoup d'entre eux les rejettent non comme opposés au mot Terre mais comme non-associés à ce mot.

un test qui a ses limites

L'intérêt d'un tel questionnaire est d'avoir une image rapide de quelques associations entre trois mots-clés du programme et des idées d'une population d'élèves mais il présente plusieurs limites :

- les associations possibles sont limitées ;
- certains mots sont inconnus des élèves ;
- une part de variation des résultats provient des différences scolaires ; ainsi certains élèves se bloquent face à un tel questionnaire qui leur demande de mobiliser des notions non encore officiellement abordées en cours, ils se sentent alors fragilisés alors que d'autres élèves ne sont pas gênés par cet aspect car ils considèrent comme naturel de ne pas avoir certaines connaissances ou leur passé d'élève leur a appris à ne pas (ou ne plus) avoir honte de leurs lacunes ;
- certains élèves ne comprennent pas le fonctionnement du Q-sort : ils rejettent certains mots inconnus, non parce qu'ils ne les associent pas au mot-clé, mais parce qu'ils ne les connaissent pas.

(3) voir pages suivantes

1.2. De la lave à la roche ou le passage liquide → solide

Afin de compléter ce recueil, analysons les réponses d'élèves au questionnaire suivant :

Le document vidéo vous a montré plusieurs éruptions d'un volcan, l'Etna.

1°) *Faites un dessin du volcan tel que vous l'imaginez et replacez-y les produits rejetés.*

2°) *Précisez sur le dessin d'où peuvent provenir ces produits (gaz, laves, roches de différentes tailles).*

3°) *Sur votre table sont disposés des morceaux de roches provenant de volcans (laves solidifiées, projections solides). En utilisant les renseignements apportés par le film, expliquez comment ces diverses roches ont pu se former.*

4°) *Au bout d'un certain temps (quelques semaines à quelques mois), l'éruption s'arrête. Pour quelles raisons ?*

5°) *Régulièrement, l'Etna rentre en éruption. Qu'est-ce qui fait remonter la lave et expulse les roches ?*

• Du volcan-soupape au volcan-sec

Les deux premières questions permettaient de savoir comment les élèves imaginaient l'intérieur de la Terre sous les volcans, ce que nous pourrions sous-titrer *D'où vient la lave (et les autres produits rejetés au niveau du volcan) ?* Nous aboutissons à plusieurs types de productions :

- des dessins de volcans **en relation avec l'intérieur de la Terre** (les plus nombreux) : l'intérieur de la Terre est liquide puisque la lave est liquide ; deux sous-ensembles peuvent être repérés :

- des volcans généralement en relation avec un immense lac de lave souterrain (conception reprenant celle qui prévalait au niveau scientifique au début du XXème siècle (A. de Lapparent, 1901) : *"la lave vient du magma [dessiné juste sous le sol] de la Terre, elle vient des roches du sous-sol, la lave est une roche en fusion venant d'une réserve"* ;
- des volcans en relation avec le noyau (celui-ci étant, au moins en partie, considéré comme un liquide, cela ne leur pose pas de problème) : *"la lave vient du noyau de la Terre qui la propulse dehors, la lave vient du cœur de la Terre"* ;

- des dessins (peu nombreux) de volcans possédant un lac de lave à l'intérieur du cône (volcan du type Niragongo) ; cette origine est précisée : *"la lave vient du fond du volcan"* (une flèche indique le lac de lave dessiné dans le cône), l'éruption n'est donc qu'un simple débordement de la lave à la manière du lait qui déborde d'une casserole quand on l'a oubliée sur le feu : *"la lave est une roche en fusion provenant du volcan qui déborde"* (associé à un dessin de cône contenant de la lave) ;

trois types
principaux de
volcans

- quelques descriptions de volcans "secs" ; ils rejettent des roches qui formaient les parois du volcan ; en anticipant sur le paragraphe suivant, nous pouvons dire que les élèves ne se posent pas la question de la solidification de la lave puisque, pour eux, la roche volcanique existe déjà.

• **Durcissement ou cristallisation ?**

La troisième question nous permettait de savoir comment les élèves entrevoient le passage liquide-solide puisque c'est, entre autre, l'objet du cours de quatrième. Trois types de réponses peuvent être dégagés.

le basalte :
du magma figé
ou de la lave
séchée

- Le basalte rejeté provient des parois du volcan (à mettre en relation avec les volcans "secs"). Nous avons déjà évoqué le problème posé par ce type de réponse.

- C'est le refroidissement qui provoque la solidification de la lave, le terme de solidification étant parfois remplacé par celui de durcissement. La lave prend en masse, se fige ... : *"les roches se sont formées avec la lave qui s'est refroidie au contact de l'air, ces roches sont créées par la lave qui durcit au contact de l'air, c'est la lave qui s'est solidifiée"*.

- C'est par séchage que le liquide se transforme en solide : *"le rouge [une bombe volcanique] s'est formé en morceau de terre qui a roulé dans la lave et puis a séché, elles [les roches volcaniques] se sont séchées sur la terre à la suite d'une éruption, la lave en se séchant est en bloc."*

Il faut cependant ajouter que, dans les deux derniers types de réponses, les phénocristaux d'olivine et de pyroxène sont assimilés à des petits cailloux, des morceaux de terre ou des poussières que la lave a ramassés sur son passage : *"ces roches lourdes, elles sont pleines de trous, il y a des morceaux de pierres noires et jaunes"*, Ces éléments ne sont donc pas directement liés à la formation de la roche volcanique : *"en se [le basalte] formant, il a pris au passage des petits cailloux qui se sont intégrés dans la roche"*.

• **Mécanisme de l'éruption**

Les questions 4 et 5 devaient nous permettre de repérer quels savoirs les élèves mobiliseraient dans leurs réponses. En voici quelques exemples :

- *"la lave remonte parce qu'il y a une éruption"* (tautologie) ;
- *"le lave remonte parce qu'il y a trop de lave dans le sous-sol donc pas assez de place et cela déborde (l'excès de lave provient du sol ou du sous-sol qui fond grâce à la chaleur)"* ;
- *"la chaleur, pousse, fait remonter la lave"* ;
- *"la lave bout"*- *"la lave est expulsée par les gaz"* ;
- *"deux plaques s'écartent"*.

L'arrêt de l'éruption est souvent simplement le phénomène contraire de celui qui a provoqué la montée de la lave.

À la suite du questionnaire, il nous est possible de formuler quatre conceptions-types des élèves relatives à la formation des roches volcaniques :

les élèves ne sont pas tous prêts à entrer dans la logique du professeur

- la transformation de la lave en roche est un phénomène simple, passif pourrait-on dire, dans lequel la matière "prend en bloc" en se solidifiant, sèche, se fige ; les cristaux n'existent pas en tant que résultats d'une cristallisation puisque ceux qui sont visibles sont considérés comme des poussières ; un cristal ne se différencie pas du verre c'est-à-dire que tout ce qui est solide se ressemble ;
- une roche n'a pas d'histoire car elle a toujours été solide (ou, du moins, certains de ses constituants) ;
- la chaleur fait remonter la lave ;
- la lave remonte parce qu'il y a éruption.

1.3. Le cristal : poupée gigogne ou objet composite ?

Après avoir analysé les idées des élèves relatives au volcanisme, examinons comment ils se représentent la structure des cristaux. La question posée était la suivante :

Calcite et aragonite sont toutes les deux constituées de molécules de carbonate de calcium (combinaison d'atomes de carbone, d'oxygène et de calcium) ; pourtant ces cristaux n'ont pas la même forme (Un cristal de calcite, rhomboédrique, et un cristal d'aragonite étaient dessinés). Dessinez ce que vous observeriez si vous regardiez un cristal de calcite et un cristal d'aragonite avec un microscope grossissant 1 000 000 de fois.

Il faut préciser que le début du cours de géologie avait déjà permis d'aborder ces corps ainsi que leur composition chimique et que la structure particulière de la matière avait été abordée en sciences physiques. Nous sommes cependant conscients que ces notions sont complexes en quatrième et que cette question risque de renforcer des idées fausses relatives à la notion de molécule. D'autre part les élèves n'ont aucune connaissance sur la structure cristalline des composés ioniques. L'objectif principal de cette question était de savoir comment ils imaginaient l'intérieur de deux cristaux différents permettant d'expliquer les différences de forme et en particulier s'ils réutilisaient l'idée de molécules (en tant que particules composant la matière) en l'associant à une disposition particulière.

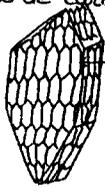
L'analyse des productions d'élèves (document 2, ci-dessous) montre deux types principaux de réponses.

- Certains élèves comme Jean-Joseph représentent chacun de ces deux cristaux comme composé de petits cristaux ayant la même forme que le cristal macroscopique. Pour ces élèves, les caractéristiques macroscopiques, observables, sont reproduites telles quelles au niveau de la modélisation du cristal. Une variante de ce système (Alexandre) est la représentation du cristal comme un ensemble de petits cristaux séparés, parfois, par une matière intercristalline qualifiée d'"autre matière".

du cristal, défini par sa forme...

Document 2. Exemples de représentations d'élèves concernant la structure des cristaux de calcite et d'aragonite

On trouvera toujours la même forme plusieurs fois des molécules de carbonate de calcium.



molécule
de
carbonate
de
calcium

Jean-Joseph

Alexandre

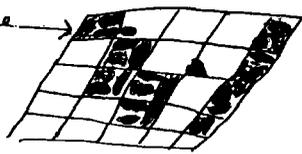


cristal de
calcite

ensemble
des
molécules
de
calcite

autres
matières

Aurore



cassure
de

- atome de carbone
- atome d'oxygène
- atome de calcium

...au cristal,
composé d'une
répétition
régulière de
motifs

- D'autres élèves comme Aurore réutilisent l'idée que les cristaux sont constitués d'un assemblage de petites particules de carbone, d'oxygène et de calcium. Chaque assemblage constitue un motif. Le cristal apparaît comme une répétition régulière de motifs.

Le principal obstacle qui apparaît alors, semble être la continuité entre le macroscopique et le microscopique (primat de la perception).

des résistances à
une évolution
conceptuelle

Après avoir recherché, en cours, les caractéristiques du cristal (comparaison cristal/verre au cours de travaux pratiques), voici quelques réponses d'élèves à la question "Qu'est-ce qu'un cristal ?". Elles montrent les résistances des conceptions préalables.

- "Un cristal est une roche qui peut être transparente. Un cristal peut avoir plusieurs couleurs. Un cristal est une roche qui est utilisable dans le commerce" (Ludivine).
- "Un cristal est une matière qui brille et qui a une forme géométrique. Il a lui-même une forme géométrique. Lorsqu'on le casse, les morceaux qu'il forme ont toujours la même forme géométrique qu'au début." (Céline).
- "Le cristal a une forme géométrique. C'est brillant, on peut apercevoir ce qu'il a à l'intérieur. Si on le casse on aura toujours la même forme. À ne pas oublier que le cristal est une pierre transparente" (Fabienne).

Il y a bien juxtaposition des notions acquises et des anciennes idées qui demeurent et difficulté pour sélectionner les traits caractéristiques du cristal.

1.4. La Terre : un globe à structure de pêche

la Terre, une
boule en fusion...

En début d'année de quatrième ou en fin d'année de cinquième, nous avons demandé à des élèves d'expliquer la répartition des volcans à la surface de la Terre et pour cela de représenter celle-ci en coupe. Quelques réponses obtenues figurent aux pages suivantes (document 3).

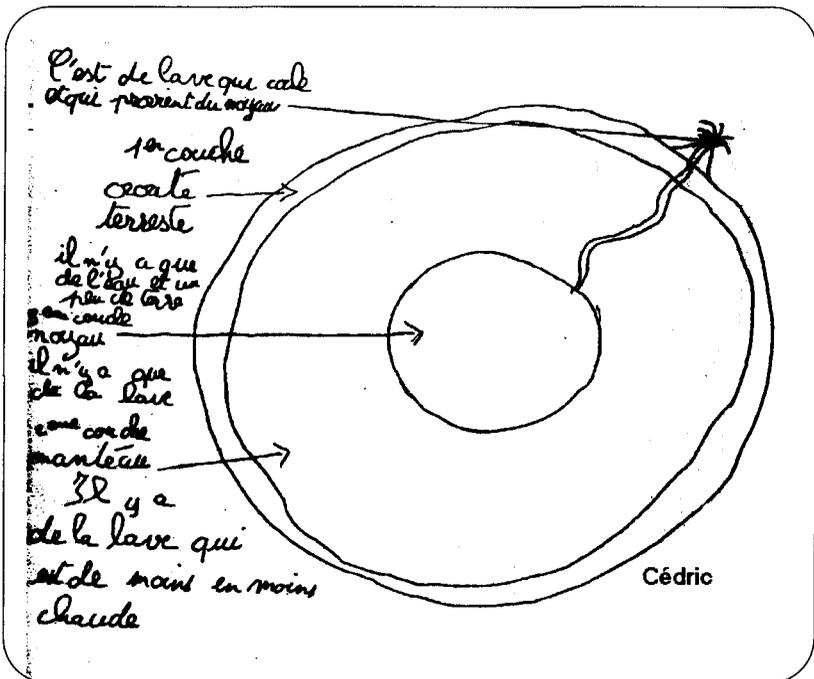
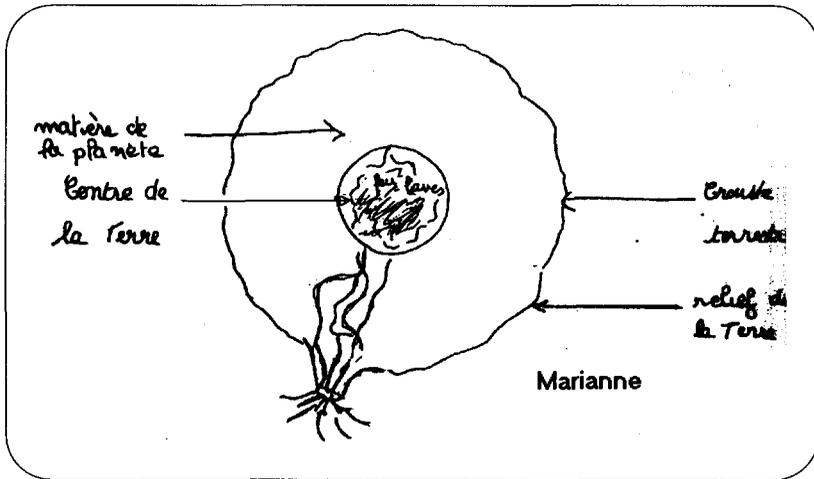
Les représentations graphiques réalisées par les élèves sont complémentaires de ce que nous avons vu au niveau du Q-Sort. Il y a bien cohérence dans les conceptions relevées. Le globe terrestre apparaît souvent composé de trois parties : une écorce, un noyau et entre les deux une zone parfois appelée manteau.

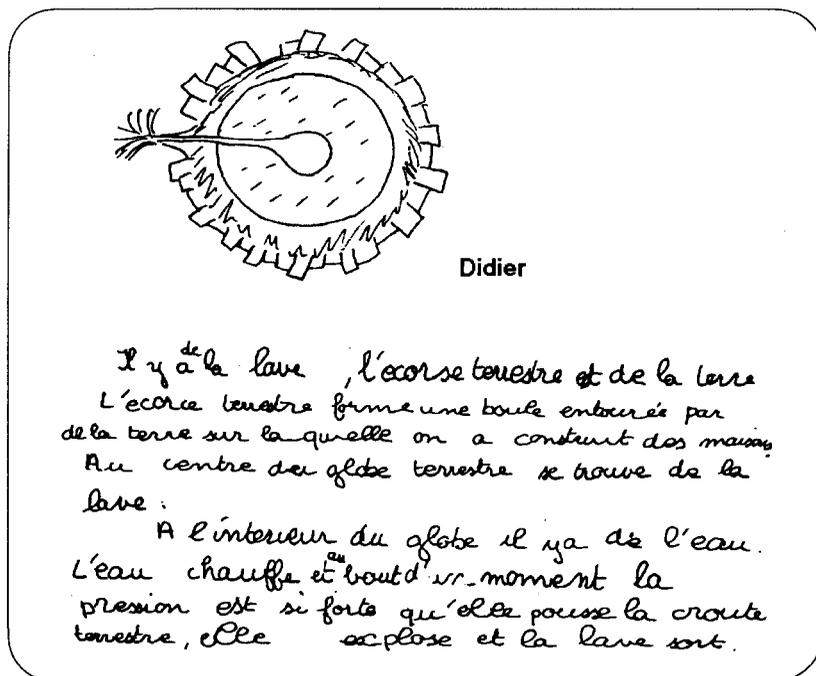
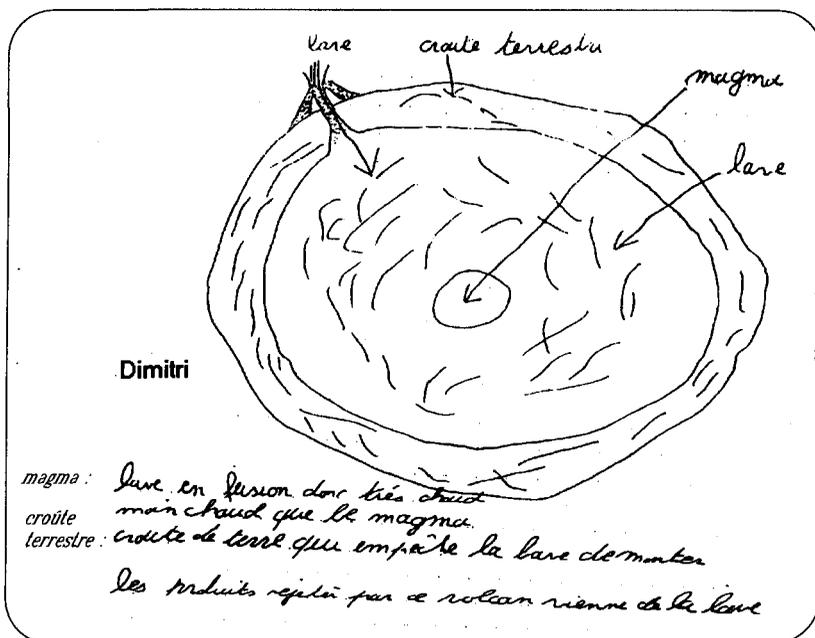
- Le noyau est soit une boule de feu (Marianne), soit une réserve de lave (Marianne, Didier, Dimitri).
- Le "manteau", liquide, est constitué soit par du magma (ou de la lave), soit par de l'eau.
- L'écorce a pour rôle de "protéger" la Terre ou "d'empêcher" la lave de s'échapper.

...avec des
volcans,
soupapes de
sécurité

Les volcans sont en relation soit avec le noyau, soit avec le manteau dont la nature liquide est prépondérante. Le modèle *cocotte-minute* proposé par Didier a un intérêt en ce sens que l'idée d'une pression nécessaire à l'éruption est déjà présente.

Document 3. Exemples de représentations de la Terre en coupe





Un des obstacles qui apparaît est l'idée de liquidité de l'intérieur de la Terre, idée renforcée par toute une série d'observations externes.

2. DES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES AUX OBSTACLES

Les différentes formulations d'élèves peuvent être considérées de deux manières différentes :

- soit elles vont constituer de simples erreurs, liées à un défaut de structuration ou d'abstraction ou encore à une méconnaissance de notions de base, que l'on pourra corriger avec des exercices appropriés ;
- soit elles sont des obstacles à l'apprentissage car elles font intervenir des modes de pensée non adaptés à la situation. Un changement de registre avec rupture épistémologique est alors nécessaire.

Il faudra alors traiter l'obstacle en tant que tel afin que l'élève repère la différence entre son propre système explicatif et le nouveau, et se l'approprie. Nous rejoignons B. Bettelheim (1976) quand il écrit que *"l'enfant ne peut tirer un sentiment de sécurité que s'il est certain d'avoir compris ce qui, auparavant, le déconcertait"*.

À quels obstacles plus généraux ou plus transversaux correspondent ces formulations d'élèves ?

2.1. Des formulations ponctuelles aux obstacles transversaux

"La représentation est une explication ou une interprétation qui par sa simplicité s'impose comme une évidence et empêche de se poser les questions qui feraient avancer la connaissance." Cette phrase, extraite du compte-rendu d'une recherche conduite à l'Institut National de Recherche Pédagogique sur les procédures d'apprentissage en sciences expérimentales, nous rappelle que les conceptions repérées chez les élèves sont autant d'obstacles empêchant l'installation d'une véritable motivation pour l'apprentissage. Par motivation nous entendons *motivation cognitive* et non pas simple séduction. Comme le rappellent J.-P. Astolfi et B. Peterfalvi (1993) le dépassement des obstacles identifiés constitue **l'enjeu conceptuel** de l'apprentissage. Ces obstacles sont rarement isolés mais sont en interaction. Cela signifie qu'ils ne correspondent pas à un seul type d'obstacle ponctuel, mais à des obstacles plus transversaux qui s'expriment également à d'autres moments, dans d'autres chapitres. Le traitement de tels obstacles ne peut pas se faire seulement et directement au travers d'une seule leçon de géologie. Ils s'enracinent profondément dans la pensée de l'élève, ce qui limite les possibilités de les évacuer. Il faudra

l'enseignement
comme moyen
de modifier des
représentations

les traiter à différentes occasions, dans les cours de biologie-géologie mais aussi dans d'autres disciplines. Nous sommes alors loin de l'idée trop simple qu'une bonne explication permettra à l'élève de "sortir" de son erreur.

Ces obstacles sont de plusieurs ordres.

- Obstacle tautologique : l'élève se contente de répéter ce qu'il a vu, tout en intégrant, parfois, dans son "explication" un connecteur de type explicatif (parce que, car,...) : *"La lave remonte parce que le volcan entre en éruption, une roche est un caillou, une pierre, un rocher, ..."*

des obstacles
variés...

- Obstacle verbal : confusion entre deux termes homonymes : le *verre* et le *vert* (c'est le cas de Bruno, en quatrième, qui, après avoir observé les cristaux verts d'olivine dans le basalte et une lame mince de cette roche en lumière polarisée, demande *"Pourquoi n'a-t-on pas donné le nom de noir au verre puisqu'il apparaît noir et non vert avec ce type de lumière"*), la *taille* (en tant que mesure) et la *taille* (du verbe tailler) ; difficulté pour l'élève de changer de registre sémantique : *le verre est une matière fragile, solide est l'opposé de fragile.*

- Obstacle artificialiste : l'élève assimile ce qu'il observe au résultat de l'action de l'homme, ce qui lui sert d'explication : *la forme des cristaux (automorphes) résulte d'une taille et n'est pas naturelle, la roche est un objet décoratif, un cristal est un bijou.*

- Absence de relation de causalité entre les phénomènes : l'élève se contente alors d'établir, au mieux, des relations de contemporanéité : *quand il y a tremblement de terre, le volcan entre en éruption.*

À côté de ces obstacles bien identifiés, se trouvent des obstacles liés à des modes de pensée non adaptés. Par exemple, la pensée catégorielle n'est un obstacle qu'à partir du moment où elle empêche l'élève de progresser : ne penser la matière qu'en fonction de trois critères de classification "solide", "liquide" ou "gazeux" n'est pas gênant en soi ; cela le devient dès que l'élève n'est pas capable de dépasser ces critères pour se poser le problème de la structure vitreuse ou cristallisée.

De même des élèves, chez qui la perception prime, vont essayer de tout interpréter à partir de ce qu'ils voient sans penser à changer de registre. De ce fait les idées suivantes vont jouer le rôle d'obstacles :

...présents dans
divers domaines
des sciences

- un cristal est composé de cristaux microscopiques,
- un cristal est une matière brillante,
- une roche est un gros caillou, est cohérente (c'est-à-dire non composée d'éléments),
- la cristallisation est une simple prise en masse, un séchage, les grains verts (dans le basalte) sont des poussières, des blocs de roche que la lave a ramassés sur son passage,
- une roche est et a toujours existé,
- une roche, solide, ne peut se déformer,
- l'intérieur de la Terre est une grande poche de liquide .

2.2. Les conceptions relèvent d'un fonctionnement cognitif

Pour que l'obstacle soit dépassé, il faudrait que l'élève soit prêt à délaissier ses idées. Pour comprendre où est l'enjeu de ce travail, il semble utile de savoir ce que les conceptions expliquent et ce qu'elles empêchent de comprendre comme le proposent J.-P. Astolfi et B. Peterfalvi. Ce travail sera effectué à propos de quelques obstacles ponctuels, rencontrés à différents moments de notre progression.

Les obstacles ponctuels, mis en évidence par ces quelques productions d'élèves, peuvent être regroupés en trois formulations-clés :

trois formulations
qui résistent

- **les cristaux ne correspondent pas à une organisation précise de la matière ;**
- **une roche n'a pas d'histoire ;**
- **la Terre est liquide à l'intérieur.**

Ils apparaissent d'une manière ou d'une autre au cours des leçons. Ainsi, au cours de l'étude du basalte (dans le cadre de l'étude du volcanisme), l'idée que les cristaux visibles dans la roche sont des poussières que la lave a ramassées sur son passage correspond au premier obstacle cité précédemment. Cela permet à ces élèves de comprendre que la roche qu'ils observent est composée d'une pâte homogène (partie noire du basalte) dans laquelle ils aperçoivent des cristaux (assimilés aux poussières). Ils expliquent ainsi en quelques mots le mode de formation du basalte sans que cela ne leur pose un problème.

Dans les manuels scolaires, reflet du mode de fonctionnement des enseignants, ce problème est présenté sous forme de question :

"Comment expliquer la présence de cristaux et du verre dans une même roche ?"

des questions de
manuels scolaires
en dehors du
questionnement
des élèves

"Comment les coulées de lave incandescentes ont-elles pu donner naissance à cette roche [le basalte], quelles sont ses caractéristiques ?"

"Ces observations permettent-elles de comprendre comment s'est formé le basalte ?"

"Quelles relations peut-on établir entre la structure de la roche volcanique et la montée en deux temps du magma ?"

Formulées ainsi, ces questions ne sont pas de véritables problèmes qui mettent les élèves en situation de recherche puisque ces derniers ont déjà une solution. De plus, bien que la description du basalte (pâte noire + poussières vertes) soit inexacte, on ne peut pas dire que la lave qui s'écoule ne ramasse pas des échantillons de la matière présente sur le sol à ce moment-là. Cette explication renforcera les conceptions des élèves.

Or, pour qu'il y ait problème scientifique, il faut que les élèves se rendent compte que leur système explicatif ne fonctionne plus. Pour reprendre l'exemple choisi, cette

conception empêche de comprendre que du basalte provenant du refroidissement de lave, récupéré directement dans un lac de lave soit déjà composé des deux catégories d'éléments. L'activité des élèves consistera donc en l'utilisation des observations ou manipulations faites en classe pour modifier leur point de vue et, éventuellement, provoquer une rupture avec leur mode de pensée originel et arriver à l'idée que les cristaux sont formés par refroidissement lent de la lave. Il sera alors possible de mettre cela en relation avec la structure ordonnée des particules. Cela aura l'avantage de finaliser le travail de la classe par rapport à des idées préalables.

donner un sens
au travail en se
fixant comme
objectif
l'évolution des
conceptions...

Ce progrès nécessitera des connaissances supplémentaires : structure de la matière, propriétés des cristaux par rapport à celles du verre par exemple.

Le tableau des pages suivantes (document 4) donne des exemples d'analyse de quelques obstacles en précisant le niveau de départ, la formulation visée, ce que les conceptions empêchent de comprendre et ce qu'elles permettent d'expliquer.

2.3. Le concept : un niveau de formulation évolué par rapport à la conception de l'élève

...sans oublier
d'identifier les
différences avec
les conceptions
antérieures

Peu importe que, ensuite, l'élève conserve toujours en mémoire ses premières représentations ; il semble nécessaire qu'il apprenne à utiliser le bon registre au bon moment. Cela suppose un repérage d'indices pertinents dans la situation le mettant sur la bonne voie explicative afin qu'il soit capable d'anticiper sur la suite du problème. Prenons l'exemple de la confusion (4) verre = structure amorphe avec verre = vitre. Lorsque l'élève doit reconstituer le mode de formation d'une roche contenant du verre il devra, de manière consciente ou non, repérer que l'assimilation du verre à de la vitre ne lui permettra pas de reconstituer cette formation et donc utiliser un autre registre sémantique.

Nous citons plus haut B. Bettelheim à propos des explications que l'expert lui fournissait face à des questions qu'il se posait. Transposé à notre problème, l'élève devra vérifier ce qui a changé par rapport à ce qu'il pensait, c'est-à-dire, pour reprendre l'exemple précédent, se rendre compte de la création d'un nouveau registre pour le terme *verre* et de la nécessité de l'utiliser quand on lui demande de réfléchir en géologie.

(4) C'est une confusion dans la mesure où il y a mauvais choix du registre sémantique utilisé puisque l'élève ne pense pas structure de la matière mais aspect extérieur de la matière.

Document 4. Conceptions, aides et obstacles

Niveau de formulation préexistant ou conceptions des élèves	Que permettent-elles d'expliquer ?	Qu'empêchent-elles de comprendre ou que ne permettent-elles pas d'expliquer ?	Niveau de formulation visé
<i>Les cristaux ne correspondent pas à une organisation précise de la matière.</i>			
La roche (volcanique) se forme par séchage.	Présence de cristaux (considérés comme des poussières) séparés par du verre.	Une roche volcanique peut se former au fond de l'océan.	La roche volcanique s'est formée en deux temps : refroidissement lent puis rapide.
Les cristaux sont formés de petits cristaux de même apparence que l'aspect macroscopique.	<ul style="list-style-type: none"> - Des cristaux d'espèces différentes ont des formes différentes. - Les cristaux ont des faces planes. - Beaucoup de cristaux ont des plans de clivage. 	Certains cristaux ne sont pas clivables (Quartz).	Les cristaux sont composés de particules ordonnées : cette disposition rend compte de la forme des cristaux.
La lave prend en bloc en se refroidissant. c'est un phénomène passif.	Elle enserre les poussières qu'elle ramasse sur son trajet d'où la présence de "petits grains" insérés dans une pâte.	<ul style="list-style-type: none"> - Du soufre liquide refroidi donne soit des cristaux, soit du verre. - Dans une roche provenant du refroidissement de lave prélevée en profondeur dans un lac de lave, il y a des cristaux et du verre. 	La formation de la lave en roche se fait par réorganisation des particules.
<i>Une roche n'a pas d'histoire.</i>			
La roche a toujours existé.	<ul style="list-style-type: none"> - Il existe des roches très anciennes. - À l'échelle de l'histoire, les roches ont toujours été utilisées. - Les roches sont inertes. 	Toutes les roches n'ont pas le même âge relatif ou absolu.	Une roche a une histoire.

<i>La Terre est liquide à l'intérieur.</i>			
<p>La lave provient de lacs souterrains formant le soubassement de la croûte, <i>ou</i> la Terre est constituée, à l'intérieur, d'une vaste poche magmatique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les produits rejetés par les volcans sont liquides. - Les "continents dérivent". - Les plaques se déplacent. 	<p>Il existe des différences de composition de la lave pour un même volcan au cours de l'histoire.</p> <p>Il existe des différences de composition de la lave d'un point à un autre du globe.</p>	<p>Il existe des réservoirs magmatiques souterrains, indépendants les uns des autres.</p>
<p>La lave provient du noyau de la Terre.</p>	<p>Le noyau est liquide.</p>	<p>Les roches volcaniques sont silicatées alors que le noyau est ferro-nickel.</p>	<p>La lave provient du magma se formant à partir du manteau ou de la croûte.</p>
<p>La matière solide ne peut fluer.</p>	<p>Les roches ne coulent pas à la surface de la Terre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les glaciers se déforment sous l'action de la pesanteur. - Des vitres peuvent se déformer sans fondre. - La cire peut se déformer sans passer par l'état liquide. 	<p>Dans certaines conditions de température et de pression, les roches peuvent se déformer sans passer par l'état liquide.</p>
<p>La matière est soit solide, soit liquide, soit gazeuse.</p>	<p>On peut classer les différents matériaux d'après leur aspect extérieur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tous les solides n'ont pas des propriétés identiques. - Les cristaux passent de l'état solide à l'état liquide sans intermédiaire alors que le verre passe par un état pâteux. 	<p>On peut classer les matières en état cristallisé et état amorphe.</p>

Nous avons écrit précédemment que beaucoup d'élèves de quatrième considéraient les cristaux d'olivine observés dans le basalte comme des grains provenant des parois du volcan ou ramassés sur le sol lors de la coulée de la lave. Le niveau de formulation du concept auquel l'enseignant veut le faire accéder peut être le suivant : *les macrocristaux se sont formés dans la chambre magmatique. Ils sont ensuite emprisonnés par le verre correspondant à la lave qui s'est refroidie rapidement à la surface.* Une telle formulation se trouve dans plusieurs manuels scolaires. Cela sous-entend que ces "grains" sont rejetés avec la lave.

apprendre :
passer du niveau
"primitif" au
niveau "évolué"

Or l'élève risque de ne pas faire la différence entre sa pensée originelle (*les cristaux d'olivine sont des poussières*) et le niveau supérieur (énoncé ci-dessus). Il va saisir ce qui lui semble identique, à savoir la présence d'éléments solides provenant de l'intérieur du volcan, sans voir que, dans son idée, ces éléments ont toujours existé alors que dans la deuxième conception, ils ont une origine. L'élève en est à une formulation a-scientifique (qui serait un stade "primitif" du concept) par rapport à la formulation visée par l'enseignant (qui en serait un stade "évolué").

3. QUELLES MISES EN RELATION POSSIBLES ENTRE LES OBSTACLES ET LES OBJECTIFS GÉOLOGIQUES EN QUATRIÈME ?

Rappelons quelques aspects du programme relatifs aux roches magmatiques et à la structure de la Terre.

Une manifestation de l'activité de la Terre : le volcanisme. Mise en place, structure de la roche, origine d'une lave. Formation de la croûte océanique.

Les autres manifestations de l'activité du globe : séismes, déformation des roches.

Continents, océans, structure du Globe.

Tectonique globale.

La circulation de matière dans le Globe : origine des roches métamorphiques et magmatiques.

Trois roches d'une série métamorphique (gisement, structure).

Une roche granitique (gisement, structure).

Si nous situons l'analyse précédente par rapport au libellé des programmes, nous pensons que l'objectif de l'enseignant, en quatrième, pourrait être de faire évoluer les conceptions des élèves par rapport aux trois grands types que nous avons formalisés plus haut :

bâtit une trame qui tienne compte des programmes et des élèves

- les cristaux ne correspondent pas à une organisation précise de la matière ;
- une roche n'a pas d'histoire ;
- la Terre est liquide à l'intérieur.

3.1. Les cristaux ne correspondent pas à une organisation précise de la matière

Les élèves en sont souvent à un niveau que nous avons qualifié d'a-scientifique. Pour eux, les cristaux ne sont pas un objet d'étude géologique. Ils résultent du travail de l'homme (taille, moulage), ils sont beaux (brillants), on les trouve dans les grottes. Il en est de même du verre qui n'est qu'un produit industriel, transparent, dont on se sert pour obturer les fenêtres tout en laissant passer la lumière. Il faut sortir l'élève de cet artificialisme prégnant.

construire une formulation du concept de cristal...

Quelle formulation des concepts de verre et de cristal vise l'enseignant ? **Un cristal est un solide formé par refroidissement lent d'un liquide ou par précipitation à partir d'une solution ; le verre est un solide obtenu par refroidissement rapide d'un liquide.** Il y a donc une grande marge séparant les conceptions des élèves du niveau conceptuel visé par l'enseignant. Il semble difficile de combler cet écart, difficulté d'autant plus grande que nous y voyons trois obstacles en interaction entre eux :

- difficulté de considérer ces deux matières comme différentes à l'échelle moléculaire ;
- difficulté de penser qu'une même matière (liquide par exemple) peut donner du cristal et du verre par refroidissement ;
- difficulté de considérer les cristaux comme une classe d'objets aux critères bien définis.

L'objectif de l'enseignant sera donc de lever ces obstacles.

...en considérant les cristaux comme une classe d'objet

Une première difficulté, liée au niveau a-scientifique des élèves à leur entrée en quatrième (5) est l'absence de questionnement relatif aux cristaux. Elle est renforcée par l'idée que ces objets ne font pas partie d'une classe identifiable par des caractères communs. Nous avons noté les différentes idées persistant au sujet des cristaux. Sans progrès par rapport à cela, l'élève en restera toujours à expliquer de manière artificielle la présence de cristaux. Dépasser cet obstacle pourrait consister à le rendre capable de faire la liste des caractères spécifiques des cristaux et de ceux qui les distinguent des autres matières non cristallisées (verre, liquide, êtres vivants). Au niveau quatrième, ces caractères seraient : **solide, limité par des faces planes, possédant**

(5) Ce niveau que nous qualifions ainsi peut exister même si les élèves, dans les classes précédentes ont travaillé de manière scientifique, à partir de situations-problèmes définies. Ce passage à un autre sujet d'étude ne s'accompagne pas, spontanément, d'un transfert des compétences précédemment acquises.

des plans de clivage, se casse en donnant des fragments de formes identiques.

...en opposant
cristal et verre

La difficulté de considérer ces deux matières comme différentes est renforcée par le fait que cristal et verre (le quartz hyalin et la vitre par exemple) peuvent avoir la même apparence, par la confusion verbale entre les deux termes : dans l'expression verre en cristal, verre désigne l'objet, cristal désigne la matière. Par contre nous avons vu que ne pas faire de différence entre les deux concepts amène l'élève à ne pas pouvoir expliquer la différence de cassure entre un cristal (qui donne généralement des formes géométriques identiques) et du verre (qui donne une cassure conchoïdale). L'objectif du professeur, par rapport à cet obstacle, pourrait donc être de rendre l'élève capable d'expliquer cette différence des formes obtenues. À ce niveau, la formulation du concept peut être la suivante : **la forme du cristal correspond à une disposition régulière des particules qui le composent (molécules en quatrième), l'absence de forme caractéristique des fragments de verre correspondant à une disposition désordonnée de ces particules.** Pour cela l'élève doit savoir que la matière est constituée de particules, que les cristaux sont des solides généralement limités par des faces planes et présentant souvent des plans de clivage contrairement au verre.

...en sachant
que cristaux et
verre sont
composés de
particules
présentes dans le
liquide originel

La difficulté de penser qu'un même liquide peut donner soit du verre soit des cristaux, est renforcée par l'idée qu'ils rencontrent généralement ces matériaux indépendamment les uns des autres. Ils n'ont pas alors l'occasion de confronter leur origine. De plus cela renforce leur conception que ce sont des substances différentes. Ils n'ont jamais eu l'occasion, au cours de leur scolarité et dans la vie de tous les jours, de s'intéresser à cette distinction. Dépasser cet obstacle suppose avoir compris que la structure de ces deux états de la matière solide est liée à une organisation particulière précise, que l'on retrouve les mêmes particules dans le solide et dans le liquide, avoir observé des exemples de liquides donnant en fonction de la durée du refroidissement les deux types de structure. Le concept visé pourrait alors être formulé ainsi : **les cristaux résultent du refroidissement lent d'un liquide qui donnerait, par refroidissement rapide, du verre.**

3.2. Une roche n'a pas d'histoire

Comme précédemment, nous retrouvons un niveau de formulation que nous pourrions qualifier de a-scientifique : les roches sont des éléments du paysage au même titre que les fleuves, les arbres, les maisons... Les élèves ne se posent pas de ces questions au sujet de ces objets inertes qui les entourent. À cette formulation sont associées les réponses (6) d'élèves suivantes :

-
- (6) Il leur avait été demandé d'indiquer à quels mots ils associaient le mot roche.

dépasser l'idée
qu'une roche n'a
pas d'histoire...

"les roches se trouvent dans les champs"

"une roche est un caillou, un roc, un rocher ..."

"les carrières laissent voir des roches"

"les montagnes sont faites de roches"

"elles servent de maison ou de cachette pour les animaux".

C'est l'aspect perceptif qui domine, aspect qui n'est pas générateur de questionnement. Il est "naturel" et en ce sens "normal" de voir des roches dans son entourage.

Or que vise l'enseignant des Sciences de la Vie et de la Terre ? Il veut faire acquérir aux élèves l'idée suivante : **les roches ont une structure et un mode de gisement précis qui témoignent des conditions dans lesquelles la roche s'est formée.** Cette formulation s'actualise ensuite en fonction des roches étudiées (roches d'origine magmatique, sédimentaire ou métamorphique). Si c'est une roche d'origine magmatique nous associerons un refroidissement, en deux temps, du magma à la structure microlitique, si c'est une roche d'origine sédimentaire cristallisée, la précipitation et le dépôt à partir d'une solution sursaturée. Les élèves doivent alors avoir intégré les concepts de cristal et de verre, de sédimentation.

Comment passer de cet état a-scientifique, qui correspond souvent à l'esprit des élèves à l'entrée en quatrième, au niveau conceptuel visé ?

Nous avons repéré deux obstacles qui s'opposent à ce changement conceptuel, dont un commun avec l'étude précédente :

...en les
considérant
comme une
classe d'objets

- difficulté de considérer les roches comme une classe d'objets ;
- difficulté de considérer les roches comme le résultat de transformations physiques (changement d'état, déformation, précipitation) ou chimiques, et la surface de la Terre, à une époque antérieure, différente de celle que nous connaissons actuellement.

La difficulté de considérer les roches comme une classe d'objets est renforcée par les observations courantes auxquelles font écho les réponses des élèves. De plus, beaucoup de roches sont classées en fonction de leurs qualités comme matériaux de construction. Lorsque l'on débute le cours de quatrième, les roches sont souvent abordées par ce biais. Veiller à ne pas en rester aux qualités ou défauts de matériaux de construction mais proposer une explication de ces propriétés à partir de la structure des roches utilisées peut être un moyen de dépasser ce stade. Dans le cas contraire, on reste en deçà de l'obstacle que l'on pensait traiter, c'est-à-dire que l'on n'aura pas fait progresser l'élève par rapport à l'idée de roches - "classe d'objets". Au niveau de la quatrième, les caractères spécifiques des objets de cette classe pourraient être les suivants :

...en ne
s'arrêtant pas
aux seules
observations
actuelles

- **solides ;**

- **non-vivants ;**
- **constituent le sous-sol de la Terre ;**
- **composés d'éléments variés (grains, pâte homogène, fossiles) ;**
- **ont un mode de gisement précis (massif, couches...).**

Le deuxième obstacle est renforcé par le fait que les roches sont solides : il est donc difficile de les imaginer sous un autre état. De plus, elles sont aujourd'hui à la surface de la Terre, donc dans des conditions thermodynamiques différentes de celles du milieu dans lequel elles se sont formées. Et cela d'autant plus que la surface actuelle résulte, elle aussi, de phénomènes qu'ils n'ont pas vus se produire. Autre fait qui renforce cet obstacle : les transformations qu'ils connaissent se déroulent dans un temps très court alors que les roches résultent de processus lents.

3.3. La Terre est un globe contenant une énorme réserve de magma

Nous avons vu que cette idée pouvait se présenter sous deux aspects : le magma occupe tout l'intérieur de la Terre ou le magma en occupe seulement le noyau. La formulation visée par l'enseignant est : **le magma est créé en certains endroits du manteau ou de la croûte**. La différence entre les deux conceptions, celle de l'élève et celle de l'enseignant, est que, dans le premier cas le magma existe et l'élève ne se pose pas la question de son mode de formation, alors que dans le second cas le géologue met en relation la formation du magma et certains phénomènes liés à la tectonique globale (zones de divergence ou de convergence de plaques lithosphériques, points chauds). L'histoire des sciences nous a montré que l'idée d'une Terre solide (à l'exception du noyau externe), admise par les géologues, est finalement très récente : elle date de ce siècle. Plus symptomatique encore, est le fait que les géophysiciens l'ont admis bien avant les géologues, à partir de l'analyse de la propagation des ondes sismiques. Certains géophysiciens, sous la bannière de H. Jeffreys, se sont même opposés à la théorie de Wegener parce qu'ils considéraient que la Terre était plus rigide que l'acier.

Trois obstacles peuvent être mis en évidence.

- Le premier se traduit par la difficulté de sortir d'un cycle de phénomènes qui, comme son nom l'indique, "boucle" à la manière d'un programme informatique dans lequel on aurait oublié d'insérer une instruction permettant de sortir d'une procédure. C'est la recherche de la "bonne forme" citée par J.-P. Astolfi et B. Peterfalvi (1993). En effet, pour ces élèves, le centre de la Terre est assimilé à un feu (peut-être sans flamme) qui chauffe le noyau et rend liquide ses constituants. Ces derniers remontent pour donner de la lave ou bien chauffent le reste des roches de la Terre, qui fondent,

penser que le magma n'a pas toujours existé...

...en dépassant
les idées sur la
transmutation

ce qui donne de la lave qui remonte à la surface. Tout est très cohérent dans ce système.

La résistance au changement conceptuel est renforcée par l'idée de transmutation, phénomène bien ancré dans l'esprit des élèves, qui permet de transformer une substance composée de nickel et de fer en d'autres substances composées de silice, d'aluminium et autres cations. Elle est également renforcée par des connaissances qu'ils ont depuis longtemps (ils savent qu'il y a dans le monde de nombreux volcans qui rejettent de la lave, ce qui va dans le sens d'un intérieur liquide) ou des faits qu'ils ont découverts depuis peu (l'analyse des ondes sismiques S indique la présence d'une zone liquide à 2 900 km de profondeur). Enfin le déplacement des plaques, les courants de convection mantellique, qui supposent, à leurs yeux, un substrat fluide, accentuent encore cette idée de Terre liquide, parfois renforcée par ce qu'on lit dans certains manuels : les plaques flottent sur l'asthénosphère.

Le dépassement de cet obstacle est lié à l'acquisition, par les élèves, de l'idée que des atomes ne peuvent pas se transformer en d'autres atomes. Cela est-il possible en quatrième ? Rien n'est moins sûr car tout dépend de l'ordre dans lequel le programme de chimie aura été traité par nos collègues de sciences physiques. Cependant, il peut être possible de construire avec les élèves un modèle alternatif, qui ne réfute pas celui-ci, mais soit aussi confortable d'un point de vue intellectuel : c'est la formation de magma à partir de matière solide composant la croûte ou le manteau. Il y aura évidemment compétition pendant un certain temps entre ces deux explications.

...en sortant
du couple
solide/liquide

• La difficulté de différencier le comportement des matériaux à long terme, de celui qu'ils ont à court terme, semble être un deuxième obstacle à l'évolution conceptuelle. Cet obstacle est renforcé par le primat de la perception et est donc en relation avec le premier obstacle. Il est également renforcé par l'usage exclusif du couple de termes *solide/liquide*. Ces termes opposent bien sûr les continents et l'eau des océans, la lave et les roches, mais servent aussi souvent de référence pour qualifier la lithosphère et l'asthénosphère même si des nuances sont apportées : dans les manuels scolaires, la lithosphère est souvent qualifiée de solide par rapport à l'asthénosphère considérée soit comme visqueuse, soit comme "majoritairement solide avec une faible proportion de liquide" (1 à 2% selon les manuels). Ce dernier terme attire généralement l'attention des élèves qui trouvent une explication au comportement fluide. Ne faut-il pas alors créer une rupture dans la façon d'envisager le problème et décrire la lithosphère et l'asthénosphère en terme de comportement cassant/ductile ? Ce dernier pourrait être considéré comme un comportement liquide à l'échelle des temps géologiques. La formulation obtenue pour opposer les deux zones du globe serait : **le déplacement de la lithosphère est provoqué par la déformation de l'asthénosphère duc-**

tile. Ce changement sera possible si l'élève est habitué à manipuler des objets comme la cire qui peut se déformer sous l'action de contraintes faibles mais qui se casse sous l'action de fortes contraintes appliquées dans un temps très court, et à étudier des déformations de matériaux dans des conditions de température variées : il permet de montrer la nécessité de changer de critères pour qualifier des matériaux solides.

la fusion ne
résulte pas
toujours d'un
chauffage

• Un troisième obstacle existe : pour les élèves, c'est le chauffage seul qui est capable de transformer le manteau ou la croûte en liquide. C'est le modèle de la vie courante : pratiquement toutes les fusions se produisent par chauffage, ce qui renforce cette idée. Par contre elle ne permet pas de rendre compte de liquéfaction ou de vaporisation à température constante : changement d'état du butane liquide en gaz par exemple. La rupture à introduire serait que **la fusion peut se produire par chauffage et/ou par décompression**. Nous avons bien conscience du fait que les élèves de quatrième n'ont pas encore de connaissances précises relatives au concept de pression puisqu'ils ne l'aborderont qu'en troisième. La représentation qu'ils ont de ce concept est généralement la suivante : "c'est une action (parfois une substance en mouvement) qui tasse la matière" (7). C'est d'ailleurs comme cela que certains d'entre eux expliquent l'état liquide du butane dans un briquet ou une bouteille. En enrichissant l'éventail des conditions dans lesquelles peut se produire un changement d'état, on peut les amener à reconsidérer leur explication initiale de la fusion qui deviendra possible sans variation de température mais avec une diminution de pression : l'exemple du briquet dans lequel on observe le butane à l'état liquide devenir gazeux quand on ouvre la valve est un exemple de ce qu'il est possible de faire observer aux élèves. Ce niveau de formulation permet d'expliquer le changement d'état qui se produit dans l'asthénosphère au niveau des zones de divergence.

4. LES NIVEAUX DE FORMULATION POSSIBLES DES CONCEPTS ANALYSÉS EN QUATRIÈME

élaborer
une trame
conceptuelle à
partir du savoir
"savant", des
programmes
officiels et des
conceptions
des élèves

Analyser le "savoir savant", afin de construire une séquence d'enseignement, ne peut donc se faire uniquement à partir des manuels universitaires mais en le mettant en relation avec les conceptions des élèves et les obstacles qu'elles entraînent, en plus des textes des programmes officiels. C'est ce que précise De Vecchi (Giordan, 1994) : "À notre sens, les niveaux de formulation doivent être construits à partir d'une analyse précise du concept ("savoir savant"), de l'utilisation qui en est faite et des obstacles que les appre-

(7) Ce qui ne signifie pas que l'élève pense molécules ou atomes.

nants rencontrent en construisant leur propre savoir.” En une année, le niveau de formulation d’un concept, tel que celui de *roche* ou de *magma*, s’enrichit à la lumière des obstacles surmontés.

Les documents 4, 5, 6 proposent trois trames montrant différents niveaux de formulation d’un même concept en classe de quatrième. Ces différents énoncés ont été disposés dans des cadres dont les bords sont rectilignes, les conceptions des élèves à prendre en compte pour un niveau de formulation donné sont dans un cadre à fond gris. Les flèches matérialisent le changement conceptuel d’un niveau à l’autre. Une flèche traverse généralement un cadre-conception, montrant ainsi qu’il faut dépasser cette conception. L’ensemble forme un réseau car bien souvent plusieurs concepts ou sous-concepts interviennent dans la construction du concept envisagé. C’est par exemple le cas à propos du concept de *roche* qui suppose qu’à un moment les élèves aient construit le concept de *crystal*. Ces énoncés ont été écrits sous une forme opératoire qui permette d’expliquer des phénomènes géologiques envisagés en classe.

Si nous prenons le cas du concept de *roche*, nous retrouvons les différents attributs que nous avons cités précédemment. Ils pourront être abordés ensemble ou séparément selon la progression établie. Une des formulations proposées pourrait être que la *roche* est un constituant du sous-sol (niveau 1). Le niveau supérieur sera qu’une *roche* est constitué de grains (niveau 2). Ce n’est plus la dureté ou la cohérence qui est importante, c’est le fait qu’elle est composée d’éléments distincts. Le fait que la *roche* a une histoire pourrait être l’objectif suivant. Les formulations sont le résultat d’activités de classe dans le cadre de leçons différentes. Elles sont donc opératoires. La notion de *roche* n’est pas étudiée sous la forme d’une monographie mais constitue un des fils conducteurs des séquences de géologie. La progression ne se fait pas toujours par emboîtement d’un niveau à un autre. Elle peut se faire par intégration de connaissances nouvelles. Ainsi passe-t-on de la formulation *la roche est constituée de grains (soudés ou non)* à la formulation *la roche est composée de cristaux et/ou de verre* après avoir construit le concept de *crystal*, ce qui correspond toujours au niveau 2 que nous avons défini plus haut.

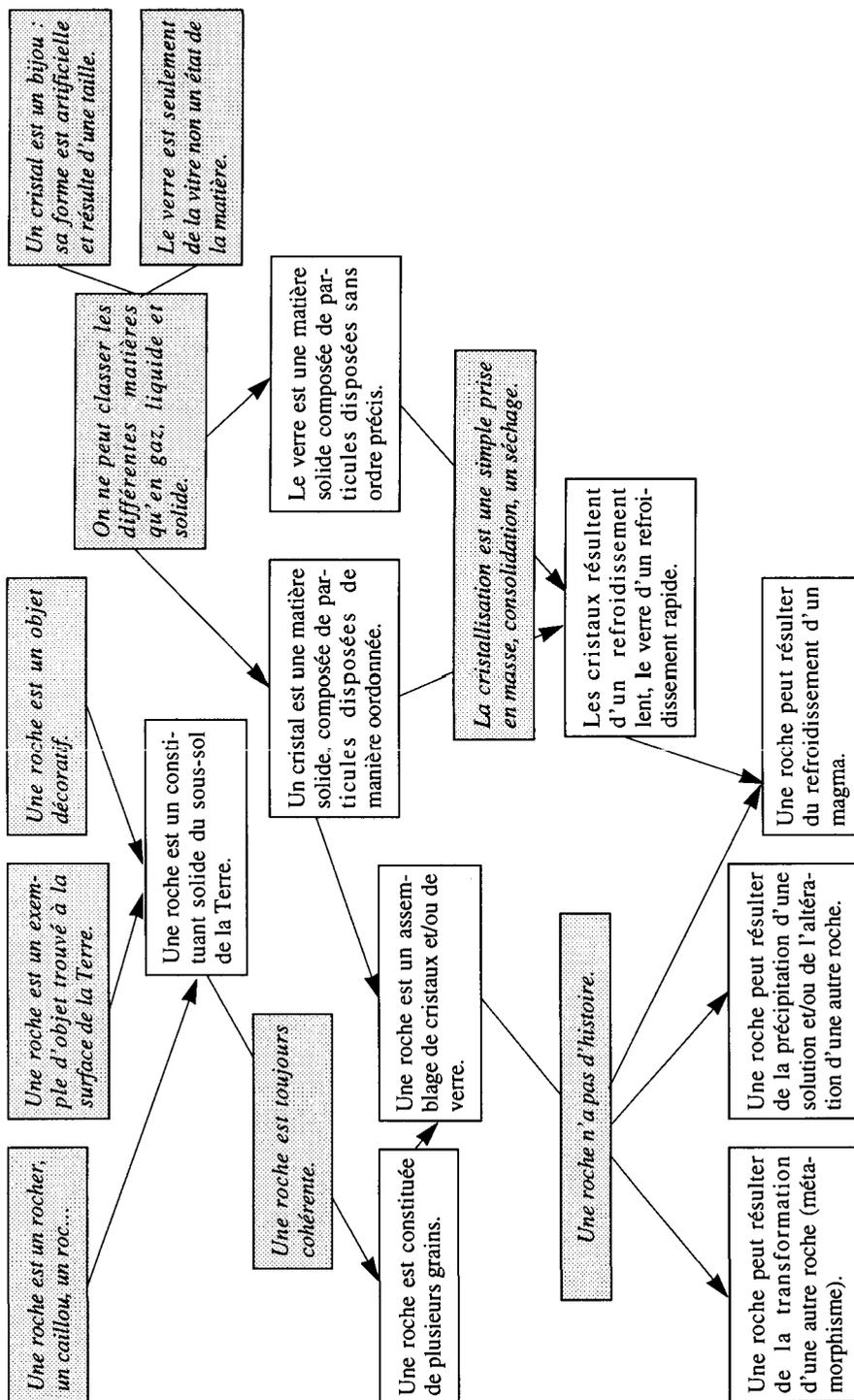
plusieurs niveaux
de formulation
pour un concept

Dans un deuxième temps, ces formulations ont été mises en regard des conceptions des élèves. Le changement de niveau se fait par modification des connaissances initiales. Ainsi passer de l’idée que la *roche* est un assemblage de cristaux à l’idée qu’une *roche* peut résulter du refroidissement d’un *magma* suppose avoir dépassé l’obstacle “*une roche (matière inerte) n’a pas d’histoire*”, ou encore, le passage de l’idée que *crystal* et *verre* sont deux solides identiques à l’idée que le *crystal* est composé de particules ordonnées alors que le *verre* est composé de particules disposées sans ordre précis, se fera si les élèves ont dépassé le stade de la pensée catégo-

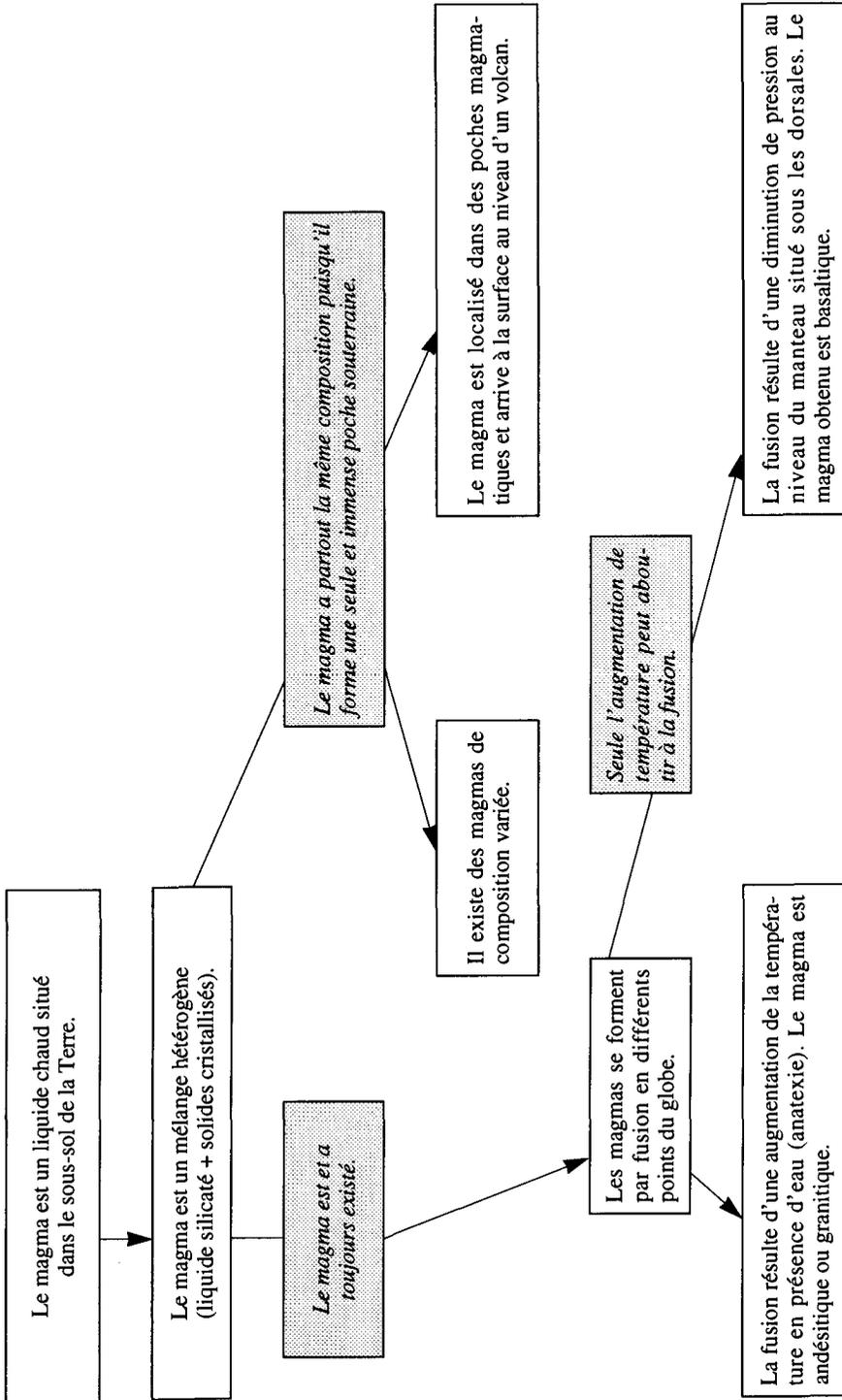
rielle qui les entraîne à considérer que toutes les substances qui appartiennent à la classe des solides ont la même structure.

De ce fait le développement des connaissances scientifiques se fait en relation avec ce que l'élève pense et non dans l'absolu. Nous retrouvons, ainsi, une définition du concept de G. Canguilhem (1983) *“un concept est une dénomination et une définition, autrement dit un nom chargé de sens, capable de remplir une fonction de discrimination dans l'interprétation de certaines observations”* (8). Cela signifie qu'il ne s'agit pas seulement d'un mot accompagné de sa définition.

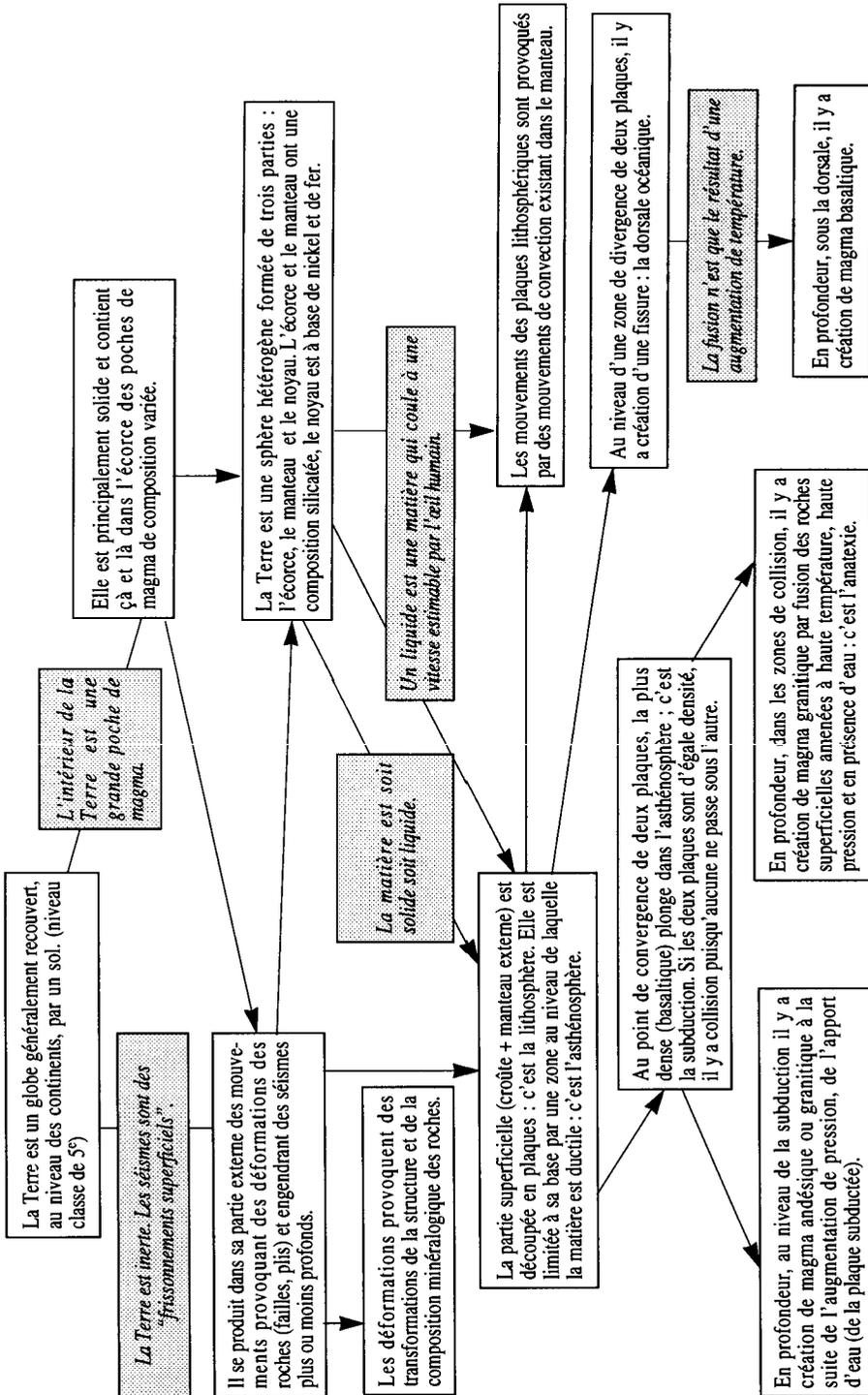
(8) Les mots ont été mis en caractères gras par nous-mêmes.



Document 4. Trame "roche, cristal, verre"



Document 5. Trame "magma"



Document 6. Trame "Terre"

5. CONCLUSION

Enseigner la géologie selon un mode constructiviste suppose une connaissance des conceptions des élèves. Beaucoup sont connues de la majorité des enseignants. Encore faut-il vouloir les faire évoluer et non pas croire que la simple déclaration de définitions va permettre la modification des préacquis. Dans la perspective hélicoïdale (plutôt que spiralaire) des programmes, il serait intéressant que le travail effectué en quatrième aide l'élève à s'approprier des concepts fondamentaux de géologie : *roche, cristal, magma* par exemple. Cela aurait trois conséquences :

de bénéfiques à court terme et à long terme

- une, à court terme, qui serait la réutilisation des connaissances sur la structure de la matière dans d'autres domaines des sciences de la vie et de la Terre (l'assimilation en classe de troisième par exemple), tout en transférant des apprentissages de sciences physiques, et de mieux manipuler les concepts de magmatisme ou métamorphisme ;
- une, à long terme : cela éviterait aux professeurs de première S de repartir de zéro. Nous pouvons postuler en effet que si, en quatrième, le professeur a dérangé quelques conceptions (telles que les idées qu'*une roche n'a pas d'histoire, que les cristaux ne correspondent pas à une organisation précise de la matière, que la Terre, étant solide, ne peut pas être animée de mouvements internes*), l'élève s'en souviendra quand on réactivera ses connaissances ;
- une autre, à long terme : une meilleure compréhension de notre discipline. Les élèves sont souvent gênés par le langage qu'il faut utiliser, la rigueur du raisonnement dont ils ne voient pas l'intérêt. Si les cours de sciences sont considérés par l'enseignant comme un moyen de faire évoluer les conceptions des élèves, ces derniers deviendront vraiment les acteurs de ce changement et les cours, de véritables situations de recherche et non des situations-gadgets.

Hervé GOIX
Collège de St Just en Chaussée (Oise)

BIBLIOGRAPHIE

ASTOLFI, Jean-Pierre, PETERFALVI, Brigitte, (1993). "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", *Aster*, n°16, p.103-141.

ASTOLFI, Jean-Pierre, et al., (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*, Paris, INRP.

BETTELHEIM, Bruno, (1976). *Psychanalyse des contes de fées*, Paris, Laffont.

CANGUILHEM, Georges, (1983). *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin.

CLÉMENT, Pierre, (1994). "Représentations, conceptions et connaissances", in *Conceptions et connaissances*, GIORDAN A., GIRAULT Y. et CLÉMENT P. (dir.), Berne, Peter Lang.

DE LAPPARENT, A., (1901). *Traité de géologie*, Paris, Masson.

DE VECCHI, Gérard, (1994). "Élaborer des "niveaux de formulations" prenant en compte des conceptions des apprenants", in *Conceptions et connaissances*, GIORDAN A., GIRAULT Y. et CLÉMENT P. (dir.), Berne, Peter Lang.

DEUNFF, Jeannine, LAMEYRE, Jean et al. (1990). *Contribution à la définition de modèles didactiques pour une approche de la géologie à l'école élémentaire et dans la formation des maîtres*, Paris, Direction des écoles, réédité (1995) au CRDP Poitou-Charentes.

GIORDAN, André, DE VECCHI, Gérard, (1987). *Les origines du savoir*, Paris, Delachaux & Niestlé.

GIORDAN, André, HENRIQUES, Andrroula, VINH BANG (dir.), (1989). *Psychologie génétique et didactique des sciences*, Berne, Peter Lang.

PETERFALVI, Brigitte (coord.) (1992). *Recherche ROOSA (Objectifs-obstacles et situations d'apprentissage autour du concept de transformation de matière)*, document n°3, Paris, INRP (document interne).

VÉRIN, Anne, PETERFALVI, Brigitte, (1985). "Un instrument d'analyse des modèles implicites de l'enseignement scientifique chez les enseignants", *Aster*, n°1, p. 7-28.

LA CARTE GÉOLOGIQUE : REPRÉSENTATIONS D'ÉLÈVES DE CLASSE DE PREMIÈRE SCIENTIFIQUE

Pierre Savaton

La carte géologique a constitué un outil important de l'enseignement de la géologie avant de s'effacer peu à peu des manuels scolaires au profit des modèles et schémas introduits avec l'enseignement de la théorie de la tectonique des plaques. Objet et outil géologique encore hautement représentatif des savoirs et techniques mis en œuvre en sciences de la Terre, la carte risque de devenir une illustre inconnue des élèves en formation. La classe de Première scientifique (élèves de 16-17 ans), dont un tiers du programme des "Sciences de la Vie et de la Terre" est consacré à la géologie, est alors un niveau privilégié pour étudier les représentations liées à la carte et à sa construction et les comparer à la réalité du géologue.

1. LE CONTEXTE D'ÉTUDE

1.1. La place de la carte géologique dans l'enseignement de la géologie dans l'enseignement secondaire

la carte
géologique tend
à disparaître des
programmes

La réforme (1) de 1965 appliquée à la rentrée 1966 en classe de Première D avait placé la carte géologique en introduction à la géologie. Les notions de pétrographie, paléontologie, stratigraphie, tectonique venaient après l'analyse comparée de cartes. De l'étude de celles-ci, les textes demandaient de tirer les notions géologiques fondamentales.

Les manuels scolaires ont alors tout à fait respecté ces consignes, tant dans l'esprit affiché, que dans leur contenu. *"Le but de la géologie et de la géographie étant la connaissance de la Terre, leur premier besoin est d'en posséder une représentation maniable"* (2), d'où la production des cartes. La carte était alors l'objet de l'étude et s'affichait dans chaque chapitre comme témoin du terrain, comme substitut d'une réalité. Elle était l'objet de construction de coupes et de lectures. Les cartes géologiques étaient exposées à la fois comme point de départ à l'étude d'une région et comme résultat d'une longue série d'études, comme la synthèse

- (1) Décret N° 65-438 du 10 juillet 1965. Classe de Première : deuxième année du lycée, élèves de 16-17 ans.
- (2) BORIE, J.-L. *Sciences naturelles, classe de 1ère D. T. II : Géologie.* Paris : Bordas. 1972. p.7.

d'une somme énorme de connaissances minéralogiques, pétrographiques, paléontologiques et géographiques (3).

Ce programme peut historiquement être considéré comme l'âge d'or de l'enseignement de la carte géologique (4). Jusqu'à cette réforme, la carte faisait l'objet d'une lecture type "commentaire de la carte géologique de France au 1/1 000 000", en fin d'étude du programme de géologie. À partir de l'instauration de la classe de Première scientifique à la rentrée de 1982, le programme de géologie a cherché à caractériser la constitution interne du globe et sa dynamique : c'est l'arrivée dans notre enseignement du modèle de la tectonique des plaques. La connaissance de la Terre renvoie alors à une représentation interne de celle-ci et non plus à une cartographie des affleurements. On s'intéresse plus aux cartes géomagnétiques ou géothermiques qu'aux cartes géologiques au sens strict.

Le programme de géologie de la classe de Première scientifique (5) de 1992 est centré sur *"le thème de l'énergie en liaison avec les dynamiques terrestres"*. L'utilisation de la carte n'est envisagée que pour l'étude de quelques structures d'une chaîne de montagnes. Elle fait l'objet d'un éventuel exercice descriptif de localisation.

La lecture des manuels scolaires correspondants révèle la présence de représentations graphiques très variables, tant dans le contenu que dans la forme. Une étude de trois de ces ouvrages de Première scientifique présente quatre cartes géologiques seulement, dont une seule est assez proche d'une carte géologique de la France au 1/50 000 ou 1/80 000 pour être désignée comme telle ! Ces manuels renferment en revanche de nombreuses représentations graphiques thématiques (carte des gisements, carte des isogrades, cartes des faciès...) légendées cartes géologiques et qui ne sont que des schémas, des esquisses géologiques, voire des modélisations synthétiques.

En aval, le programme de l'enseignement de spécialité des Sciences de la Vie et de la Terre de la classe de Terminale scientifique (6) (mise en place à la rentrée 1994) s'appuie sur la carte géologique pour étudier la chronologie d'événements géologiques : plissements, chevauchements, intrusions. Cherchant à montrer comment *"les minéraux des roches reflètent les conditions thermodynamiques qui ont présidé à leur formation"*, ce programme renvoie à l'étude des phénomènes de métamorphisme, de l'échelle de la carte à celle de la lame mince. Cette étude, compte tenu du temps

(3) Ibid. p. 19.

(4) Thèse de Doctorat en cours de P. Savaton sur l'enseignement de la carte géologique en collèges et lycées : axe historique et axe didactique ; sous la direction de G. Rumelhard et G. Gohau. UF Didactique. Université Paris 7.

(5) Arrêté du 10 juillet 1992.

(6) B.O. N° 6 du 9 juin 1994, p. 47. Classe de Terminale : troisième et dernière année du lycée, élèves de 17-18 ans.

disponible en classe de Terminale, ne peut être qu'un approfondissement d'une étude réalisée en classe de Première.

1.2. Situation de la recherche

Dans ce contexte scolaire, et au moment où le Service géologique de la carte réfléchit à l'avenir des cartes géologiques papiers (au 1/50 000), on peut s'interroger sur les significations, sur les représentations mobilisées par les élèves lorsque nous faisons référence à la carte géologique. Qu'un géologue parle de carte géologique, qu'un enseignant universitaire de géologie s'appuie sur la cartographie, que nous parlions de cartes géologiques à travers nos cours ou qu'un article, une étude fasse mention de la carte, renvoient l'élève à ses propres représentations de la carte géologique.

parler de la carte mobilise des représentations qui nous échappent

Des multiples définitions du mot représentation, parfois complémentaires et souvent chevauchantes, j'emprunterais volontiers à Moscovici (7) celle de reproduction cohérente et stylisée sur le plan cognitif des propriétés des objets, celle de construction intellectuelle, rejoignant par là la définition que Giordan (8) donne aux conceptions, en tant qu'ensemble d'images mentales, que structure de pensées sous-jacentes à un modèle explicatif. En s'intéressant aux représentations des élèves de Première scientifique mobilisées lorsqu'on les interroge sur la carte géologique et son contenu, c'est à la fois l'objet carte que produit leur pensée et le processus à son origine que nous chercherons à caractériser.

• La méthodologie choisie

Pour approcher ces représentations ma recherche s'est appuyée sur quelques entretiens individuels préalables, avec des élèves volontaires pour "causer de la carte géologique". Ces entretiens s'articulaient autour de questions ouvertes sur leur apprentissage de la carte, sur son contenu, puis passaient à une lecture de carte. L'exploitation des enregistrements m'a permis de préparer deux questionnaires : un premier, de type questions ouvertes (Questionnaire A) et un second de type Questions à Choix Multiples (QCM, Questionnaire B).

l'étude s'est appuyée sur des entretiens et questionnaires

Le recours à un QCM était avant tout motivé par la rapidité de traitement qu'il permet et donc par la constitution d'un échantillon numériquement important. En contrepartie, il enferme les questionnés dans les réponses préparées et peut constituer un obstacle à l'expression de représentations originales. Pour tenter de réduire cet emprisonnement, le pre-

(7) MOSCOVICI, S. *La psychanalyse, son image, son public*. Paris : PUF. 1961.

(8) * GIORDAN, A. et DE VECCHI, G. *Les origines du savoir*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé. 1987.

** GIORDAN, A. et DE VECCHI, G. *L'enseignement scientifique : comment faire pour que ça marche ?* Nice : Z'édicions. Nlle éd. rev. corr. augm. 1994.

mier questionnaire à réponses ouvertes était d'abord distribué, puis, seulement lorsque celui-ci avait été rendu, le QCM était distribué. L'indication d'initiales libres sur les enquêtes permettait ensuite d'éventuels recoupements au sein d'une base de données. Les réponses au questionnaire A pourraient être qualifiées de spontanées par opposition au questionnaire B, où elles seraient provoquées.

À l'origine, ces questionnaires font partie d'une recherche destinée à étudier la prise en compte de la part d'interprétation contenue dans la carte. Les questions volontairement éloignées du sujet étaient destinées à éviter que les questionnés n'identifient à la lecture des questionnaires mes préoccupations de recherche, ce qui aurait pu influencer sur leurs réponses.

• *Le public concerné*

Cette étude a concerné 107 élèves de Première scientifique appartenant à quatre classes d'un même établissement.

deux catégories
d'élèves étaient
concernées,

Deux de ces classes ont été interrogées huit jours après leur retour d'un stage de géologie de terrain. Au cours des six jours du stage les élèves ont appris à lire des cartes géologiques (identification de couches, détermination de leurs dispositions), à les mettre en relation avec leurs observations de terrain (orientation d'une carte, localisation). Ils ont également construit une esquisse de minute (9) de terrain à partir de leurs levés (mesures de pendages et de directions) et cherché à expliquer les relations spatiales entre couches observées (anticlinal, synclinal, failles). Ce stage les a donc initiés partiellement mais pratiquement au travail d'un géologue cartographe.

des élèves ayant
pratiqué la carte
huit jours avant...

Les deux autres classes n'avaient pas encore étudié de cartes géologiques au cours de leur enseignement de Première scientifique. Le questionnaire était distribué dès le premier jour d'un stage de géologie de terrain de quatre jours, où la carte fut utilisée comme document complémentaire aux observations de terrain.

des élèves
n'ayant pas
utilisé de cartes
depuis la classe
de quatrième

Le questionnaire était présenté aux élèves comme faisant partie d'une recherche sur la carte géologique effectuée par un enseignant extérieur, hors du cadre scolaire. Il était bien précisé qu'il ne s'agissait pas d'une évaluation et les enseignants de ces classes n'en savaient guère plus sur l'exploitation qui devait suivre et le thème précis de ma recherche.

L'étude des réponses d'élèves en situation scolaire et de leurs représentations mobilisées dans la vie quotidienne montrent, dans nombre d'études, l'existence en parallèle de connaissances scolaires auxquelles l'élève fait appel pour une interrogation scolaire, et de connaissances "privées"

(9) On désigne sous ce terme le document graphique présentant le pointage des levés de terrain. Il s'agit concrètement d'une portion de carte topographique sur laquelle des points numérotés indiquent les affleurements étudiés.

Questionnaire B

Initiales :

(Ces initiales ont pour objet de mettre en relation ce questionnaire B avec le questionnaire A.)

Q1. La carte géologique renferme des informations (*entourez les chiffres correspondant à vos choix*)

- sur la nature minéralogique des roches .1
- sur l'âge des roches2
- sur le relief3
- sur les nappes phréatiques4
- sur les ressources minières5
- sur les sols6
- sur la végétation7
- sur la disposition spatiale des roches ...8

Q2. Une carte géologique est une image qui se rapproche surtout (*entourez le chiffre correspondant à votre choix*)

- d'une photographie1
- d'un schéma2
- d'un dessin3
- d'un graphique4

Q3. La carte géologique représente (*entourez le chiffre correspondant à votre choix*)

- la surface du sol1
- le sous-sol2
- les affleurements du sous-sol3
- le sol4
- la croûte terrestre5

Q4. Pour construire une carte géologique, le géologue se procure des informations à partir (*entourez les chiffres correspondant à vos choix*)

- de photographies aériennes1
- de forages2
- de prélèvements d'échantillons3
- d'observations de terrain4
- de l'étude des sols5
- de l'étude de la végétation6
- d'enregistrements sismiques7

Q5. La carte géologique est construite (*entourez le chiffre correspondant à vos choix*)

- par addition d'observations de terrain .1
- par addition d'observations de terrain et de laboratoire2
- par interprétation d'observations3
- par confrontation des observations et des connaissances théoriques4
- par dessin de photographies aériennes 5

Q6. La carte géologique est utilisée par (*entourez les chiffres correspondant à vos choix*)

- les géologues1
- les géographes2
- les entreprises de grands travaux3
- les responsables d'aménagements du territoire4
- les randonneurs5
- les services de la sécurité civile6
- les militaires7
- les vigneron8
- EDF-GDF9

Q7. Lire une carte géologique consiste à (*entourez les chiffres correspondants à vos choix*)

- déterminer les caractéristiques des roches en un lieu donné1
- déterminer la répartition d'un type de roche2
- raconter l'histoire géologique de la carte3
- faire une coupe géologique4
- faire un schéma structural5
- décrire le relief6
- localiser les nappes phréatiques7

Q8. L'information présentée dans la carte est codée. La légende permet de décoder (*entourez les chiffres correspondant à vos choix*)

- l'âge des roches1
- la nature chimique des roches2
- les transformations subies par les roches .3
- le contenu en fossiles des roches4
- la disposition spatiale des roches5

Q9. La complexité de la légende (entourez les chiffres correspondant à vos choix)

- garantit une lecture sans interprétations1
- réduit la part de l'interprétation dans la lecture de la carte2
- favorise l'interprétation3
- est sans conséquences sur l'interprétation4
- est un obstacle à la compréhension de la carte5
- aide à la compréhension de la carte6
- est indispensable à la compréhension de la carte7

Q10. La compréhension de la légende nécessite des connaissances géologiques spécifiques

Oui Non

Q11. Deux géologues peuvent tirer des conclusions différentes de la lecture de la même carte

Oui Non

Q12. Lorsque le sous-sol est masqué sur le terrain par une végétation abondante ou un sol épais, le géologue construit la carte (entourez les chiffres correspondant à vos choix)

- à partir de forages1
- en décupant le sol2
- par extrapolation des observations les plus proches3
- par étude du sol4
- par étude de la nature de la végétation5
- par des techniques sismiques6

Q13. Pour cartographier une zone, il faut (entourez les chiffres correspondant à vos choix)

- un marteau1
- une carte topographique2
- des crayons de couleur3
- une règle4
- une loupe5
- un microscope6
- un carnet7
- des photographies aériennes8
- une tarière9
- une pioche10
- une boussole11

Q14. La cartographie géologique est un travail (entourez le chiffre correspondant à votre choix)

- uniquement de terrain1
- essentiellement de terrain et un peu de laboratoire2
- autant de terrain que de laboratoire3
- essentiellement de laboratoire et un peu de terrain4
- uniquement de laboratoire5

Q15. Tout ce qui est figuré sur une carte a été observé

Oui Non

Q16. Le tracé d'une carte dépend de son auteur

Oui Non

Q17. Le tracé d'une carte dépend des théories géologiques

Oui Non

Q18. La France est actuellement couverte par des cartes au 1/80 000. Certaines régions présentent trois éditions successives revues et corrigées. Cela signifie (entourez les chiffres correspondant à vos choix)

- que des affleurements nouveaux ont été observés1
- que d'anciens affleurements ont été mal observés2
- que d'anciens affleurements ont été mal interprétés3
- que des techniques nouvelles ont permis d'observer plus de choses4
- que les théories géologiques ont changé5

Q19. En améliorant les techniques d'observation on doit arriver à produire une carte géologique parfaitement juste

Oui Non

Q20. La carte géologique est une interprétation raisonnée de l'observation de la Terre

Oui Non

issues de représentations personnelles et mobilisées en situations extra-scolaires. Le questionnaire s'apparentait ici à un exercice comme il peut en être présenté en situation scolaire, mais, détaché d'une certaine manière de l'objet carte et de son apprentissage direct, il devait permettre d'aborder les représentations des élèves.

2. APPROCHE DES REPRÉSENTATIONS ASSOCIÉES À LA CARTE GÉOLOGIQUE

2.1. Regard sur l'identification de la carte

Étudier les représentations d'élèves vis-à-vis de la carte passait par une étude de leur propre reconnaissance de leur apprentissage de la carte. Quel souvenir ont-ils de leur apprentissage de la carte en classe de Quatrième ou pour certains en classe de Première S, huit jours plus tôt ?

Question 1 : "Avez-vous déjà utilisé une carte géologique au cours de vos études ? Si oui, à quel stade de vos études ?"

les élèves n'ont guère le souvenir d'avoir étudié la carte en classe de Quatrième

Sans préjuger de leur identification de l'objet carte, la totalité des élèves interrogés indique avoir utilisé une carte géologique au cours de ses études, mais seulement 29 % dès la Quatrième. Une analyse de la place de la carte dans les manuels scolaires (10) de Quatrième de 1988 montre que ceux-ci contiennent onze cartes en moyenne, légendées, à tort ou à raison, carte géologique. Qu'en conclure ? L'étude n'ayant pas permis de remonter à l'enseignement qu'ils avaient réellement reçu, nous sommes conduits à penser qu'ils n'ont guère gardé de souvenirs de l'utilisation de ces cartes, que celles-ci n'ont alors occupé qu'une fonction illustrative mineure. Ils sont 11 % à avoir utilisé une carte en Seconde. Après discussion avec leur professeur, il s'avère que ces élèves ont effectivement utilisé une carte géologique, pour une étude de la répartition géographique des dépôts d'origine glaciaire.

64 élèves sur 107 ont répondu qu'ils ont utilisé une carte géologique en Première S, soit 60 % des élèves interrogés. Ce pourcentage peut apparaître élevé si l'on considère que seulement 50 élèves (deux classes) étaient supposés avoir travaillé sur la carte au cours de cette année. Le cas des redoublants excepté, l'explication est à rechercher dans une erreur d'identification de l'objet carte géologique. Sur ces 64, 23 n'ont pas fait de stage de cartographie mais ont étudié en travaux pratiques dans le cadre du cours sur la tectonique des plaques, une carte des sédiments de l'Atlantique. Il s'agit d'une carte géologique très particulière représentant

(10) Mémoire de DEA, P. SAVATON, sous la direction de C. Souchon. UF Didactique, Paris 7. 1994.

par des couleurs différentes non pas les sédiments affleurants, mais les sédiments les plus anciens (profonds) trouvés par forage. On peut raisonnablement supposer qu'ils font référence à cette carte à travers leur réponse.

ils n'ont qu'une vague idée de sa définition

Cette interprétation est corroborée par une réponse à la question 7 du questionnaire A (*Supposez que vous soyez géologue et chargé de construire une carte géologique. De quels matériels avez-vous besoin pour mener à bien votre travail ?*). Sur les 28 élèves qui répondent avoir besoin d'un matériel de forage, 25 proviennent des deux classes en début de stage. Questionnés un an après sur cette carte des "sédiments océaniques", les élèves identifient correctement, pour la plupart, les différences avec une carte géologique classique. Interrogés alors sur sa désignation, ils reconnaissent que ce n'est pas une "vraie" carte géologique. La référence à cette carte dans le questionnaire trahit un décalage entre représentation personnelle, et identification de la carte dans une situation scolaire.

La présentation unique, d'un type très spécifique de carte géologique, a déterminé une représentation peu exacte de la carte. La présentation dans les manuels scolaires de cartes simplifiées, de schémas et de croquis sous l'appellation de cartes géologiques est de nature à entraîner des représentations erronées.

Question 3 : "Vous a-t-on appris à utiliser une carte géologique ?"

la majorité des élèves affirme avoir appris à utiliser une carte géologique

Alors que 86 % des élèves répondent qu'on leur a appris à lire une carte géologique et que 70 % pensent encore savoir lire une carte géologique (question 4 du questionnaire A), ils ne sont que 2 % à indiquer spontanément que "lire" une carte (question 14 du questionnaire A) c'est faire une coupe. Ce chiffre passe à 50 % dans la question 7 du QCM. De même, si aucun élève n'indique spontanément que lire une carte c'est raconter l'histoire géologique d'une région, ils sont 39 % à l'affirmer dans le QCM. Qu'entendaient-ils par utiliser la carte ? Ont-ils le souvenir d'avoir fait quelque chose avec la carte mais sans plus ? Si ces premières réponses n'apportent guère d'informations sur les représentations associées à la carte, elles nous indiquent en revanche que la finalité de la carte est mal identifiée et posent le problème des contenus de la carte et des démarches de l'apprentissage. Or, comment dissocier l'apprentissage de la carte des représentations liées à la carte, le terme même de représentation recouvrant à la fois le processus et le résultat. Intéressons-nous alors aux représentations vis-à-vis des contenus de la carte.

2.2. Quel contenu pour la carte ?

Les tableaux suivants présentent les pourcentages de réponses à des questions sur le contenu et la lecture de la carte.

Questionnaire A, question 13

<i>À quoi correspondent les couleurs sur une carte géologique ?</i>	Pourcentage
à la nature des roches	65
à l'âge des roches	27
aux différentes couches	7

Questionnaire A, question 5

<i>Quelles informations trouve-t-on dans une carte géologique ?</i>	Pourcentage
la nature des roches, le nom des roches	79
l'âge des roches	40
le relief	36
le pendage	30
la disposition des couches, le sens des couches	21
les failles, les chevauchements	15
le nom des lieux, des villages, des rivières	4
le déplacement des couches	3
la structure des roches	3

Questionnaire B, question 1

<i>La carte géologique renferme des informations</i>	Pourcentage
sur la disposition spatiale des roches	84
sur l'âge des roches	81
sur le relief	58
sur les sols	53
sur la nature minéralogique des roches	43
sur les ressources minières	15
sur les nappes phréatiques	7
sur la végétation	2

la carte indique
la nature des
roches

L'étude des réponses spontanées montre clairement que la carte est déterminée comme une représentation spatiale de la répartition des roches en fonction de leur nature et de leur âge.

La carte indique la nature des roches pour une nette majorité des élèves. S'ils ne sont que 43 % à répondre qu'elle ren-

ferme des informations sur *“la nature minéralogique des roches”* c'est probablement par blocage sur le sens du mot *“minéralogique”*. Une carte localise des objets, et la carte géologique renvoie aux roches en tant qu'objet géologique et en tant qu'objet de la géologie. Au delà de la carte géologique c'est peut-être tout une représentation de la géologie qui transparaît : la géologie c'est reconnaître la nature des roches.

la cartographie
du temps
n'est pas
spontanément
évoquée...

La dimension chronologique n'est pas une caractéristique marquante de la carte au vue des réponses spontanées, alors qu'à la réflexion (dans le QCM) elle s'impose pourtant avec 81 % des réponses. La dimension temporelle oubliée peut traduire l'absence d'apprentissage de la carte comme outil de reconstitution historique (chronologique) des événements. Ceci est confirmé par une de nos remarques précédentes : interrogés sur ce en quoi consiste la lecture d'une carte, aucun élève ne répond, *“en une reconstitution de l'histoire géologique d'une région”*.

Cartographier le temps constitue surtout un obstacle cognitif et on pourrait s'interroger ici sur les relations conflictuelles entre le temps et l'espace ou entre la dimension linéaire du temps perçu et sa lecture déduite des trois dimensions de la carte. Cette séparation tranchée nous renvoie à la découpe disciplinaire entre géographie et histoire, le temps n'est pas cartographié, il ne s'impose pas comme cartographiable.

Si 65 % rapportent les couleurs à un codage de la nature des roches (question 13 du questionnaire A), ils ne sont que 27 % à les rapporter à leur âge. À ces réponses spontanées il est difficile de faire correspondre les réponses provoquées (question 8 du questionnaire B) : la légende permet de décoder l'âge des roches pour 88 %, la nature des roches pour 58 % et leur disposition pour 49 %. On pourrait à première vue nuancer notre propos sur la non prise en compte de la dimension temporelle. La carte est reconnue comme renfermant des informations sur le temps (QCM), mais c'est son codage qui est ignoré.

La priorité est donnée à la nature des roches. Cela se retrouve dans leurs définitions de la lecture de la carte (question 7 du questionnaire B) : c'est, pour 61 %, déterminer la répartition d'un type de roche en un lieu donné et pour 39 % seulement, raconter l'histoire. La carte géologique c'est avant tout *“le plan de l'île au trésor”* et non *“le récit de son enfouissement”*.

De la même manière l'augmentation des réponses sur l'indication du relief peut traduire une absence de prise en compte spontanée des trois dimensions de l'espace dans la lecture de la carte. La disposition spatiale des couches, trame des coupes géologiques et des reconstitutions chronologiques est reconnue (84 %) mais ne fait guère partie des propriétés structurantes des représentations de la carte. La relation entre l'indication du relief et la détermination de la

la dimension
spatiale n'est
pas maîtrisée

disposition des couches n'est pas établie : si 84 % pensent que la carte renferme des informations sur la disposition spatiale des roches, ils ne sont que 58 % à penser qu'elle renferme des informations sur le relief. Comment déterminent-ils alors cette géométrie spatiale ? La carte doit coder la disposition des couches comme elle code la nature des roches ou leur âge. Comment ? Ils ne le savent guère.

Cette négligence vis-à-vis du fond topographique se retrouve dans plusieurs réponses à la question 5 du questionnaire A. Ils ne sont que 4 % à indiquer spontanément qu'une carte renferme les noms des lieux, des villages et des rivières et 53 % à indiquer qu'une carte topographique est nécessaire aux levés géologiques. Ils sont également 39 % à comparer la carte géologique à une carte du relief (carte de géographie physique ?) ou à une carte topographique.

En tant que carte, la carte géologique renvoie à des représentations spatiales : elle doit contenir des informations sur l'espace. Mais qu'est-ce que l'espace ? Cela reste plus flou. La carte n'est pas vue en trois dimensions, mais certains soupçonnent qu'elle les contient. Cette espace n'étant pas recréé, le positionnement des roches est réduit au plan de l'affleurement ; elles n'ont pas de continuité en profondeur et il devient de fait difficile de leur faire exprimer une chronologie.

La question 3 du QCM voulait les forcer à distinguer divers "plans" géologiques. Que cartographie la carte : la surface du sol, le sol ou le sous-sol ? Le tableau suivant présente les pourcentages obtenus aux diverses propositions.

Questionnaire B, question 3

<i>La carte géologique représente</i>	Pourcentage
le sous-sol	35
la surface du sol	29
le sol	23
les affleurements du sous-sol	19
la croûte terrestre	11

la distinction
entre les
concepts de sol
et de sous-sol
reste floue

L'étude des réponses traduit une interrogation sur le sens et les variations de sens des mots. Le mot sol est pris dans le sens de sous-sol, confusion courante dans le langage de tous les jours. Dans le tableau 3, ils étaient 53 % à penser que la carte renferme des informations sur les sols. On notera que ces élèves ont étudié **le sol** l'année précédente dans leur programme de Seconde. La saisie des réponses aux questionnaires dans une base de données m'a permis en outre de déterminer de nombreuses réponses contradictoires pour les mêmes élèves : la cartographie du sol devenait celle du sous-sol ou inversement.

Au delà de l'étude des contenus associés à la carte géologique, c'est la connaissance, la compréhension, les représentations de la production de l'objet carte qui se trouvent évoquées. Une deuxième série de questions était orientée sur cet aspect.

Quelles représentations ont ces élèves de la construction de la carte ? Leur représentation prend-elle en compte la construction ou se limite-t-elle au résultat matériel ?

2.3. Les leviers de terrains

plaçons l'élève
en situation de
simulation

Lorsque l'on demande à ces élèves de se placer dans la situation du géologue qui est chargé de lever une carte géologique et de nous préciser comment ils vont s'y prendre pratiquement, quel matériel leur sera nécessaire, on explore un domaine qui n'a que très rarement été abordé au cours de leurs études, malgré les apparences. Les élèves n'ont jamais été en situation de construire une carte et sont donc obligés d'imaginer ce qu'ils auraient à faire à partir du résultat, c'est-à-dire l'objet carte qu'ils ont utilisé.

Cet exercice de simulation qui se rapproche du jeu de rôle est de nature à faire mobiliser des représentations et à dépasser les réponses et savoirs scolaires stockés sans véritable appropriation. L'élève est en situation de produire une réponse et non de la reproduire.

L'étude des réponses peut donc nous renseigner sur la véritable appropriation intellectuelle de la carte, autant dans sa signification conceptuelle que dans sa présentation matérielle.

Questionnaire A, question 7 et questionnaire B, question 13

Matériel nécessaire pour cartographier géologiquement une zone	Réponses (en %) questionnaire A, question 7	Réponses (en %) questionnaire B, question 13
un marteau, un piolet	47	64
une boussole	46	79
du matériel de forage	26	-
une loupe	14	46
une carte topographique, une carte	13	85
des instruments de mesure des pendages	12	-
un flacon d'acide, des produits chimiques	11	-
un microscope	8	33
une pelle US, une pioche	6	30
des photographies	5	57
des crayons de couleur	-	82
une tarière	-	33
une pioche	-	30
un carnet	-	50
une règle	-	33

• **Le marteau et le géologue**

le marteau
n'est pas
indispensable

Le marteau est cité comme matériel nécessaire par un élève sur deux (47 %) et ce chiffre passe à 64 % dans le QCM. Sans préjuger de l'utilisation qu'ils associent au marteau, on peut à la fois considérer ce chiffre comme élevé et lui associer une bonne identification de son utilisation technique, et le considérer comme bien modeste. Modeste en effet, car 50 élèves revenaient d'un stage de géologie de terrain où ils avaient entraîné avec eux des marteaux, et les autres entamaient leur premier jour de stage, avec dans la liste de matériels demandés à chaque élève, un marteau pour la prise d'échantillons !

Ces 64 % illustrent alors l'incompréhension des 36 autres %, du rôle ou de l'utilité du marteau dans un tel stage, à moins qu'il ne s'agisse de l'expression d'une distinction entre un travail scolaire sur la géologie et le travail du géologue.

• **La carte topographique et la boussole**

le repérage
topographique
est négligé

La carte topographique n'est guère évoquée spontanément, ce qui est très significatif de l'absence de prise en compte des aspects pratiques du travail de cartographe. Cette carte est reconnue dans le QCM comme nécessaire, mais à quoi ? À la localisation des affleurements ou à "ne pas se perdre sur le terrain" ? La nécessité d'une boussole pour 46 % est à mettre en relation avec les 27 % qui la justifient pour s'orienter sur le terrain et non pour orienter les couches. Ils ne sont toutefois que 3 % à l'affirmer comme nécessaire pour se déplacer sur le terrain. La nécessité d'un support spatial pour le report des observations leur échappe totalement. Dès lors l'orientation de ce support sur le terrain, ou la mesure des directions des couches observées est absent de leurs préoccupations, et la boussole n'a pas d'utilité. Le rôle de la boussole n'est pas identifié, mais certains se souviennent sans doute qu'elle faisait partie du matériel que l'enseignant leur avait confié sur le terrain : elle doit donc être utile à quelque chose !

• **Le matériel de forage et la carte sédimentaire**

il faut forer pour
voir ce qui est
caché...

À côté du marteau, de la carte et de la boussole, le matériel de forage apparaît nécessaire à 26 % des élèves. Comme indiqué précédemment ces élèves avaient travaillé dans les six semaines qui précédaient l'enquête sur une carte des sédiments atlantiques dans le cadre de l'étude sur les zones de distension. Une séance de travaux pratiques avait été consacrée à l'étude de ce document comme argument en faveur d'une expansion des fonds océaniques de part et d'autre de la dorsale médioatlantique. Cette carte a été établie uniquement à partir de forages et ne représente pas les sédiments qui affleurent (sédiments actuels), ni même les sédiments plus ou moins indurés qui leur sont sous-jacents, mais les sédiments au contact de la croûte océa-

nique, ou, lorsque le sondage n'avait pu l'atteindre, le plus vieux sédiment foré.

Cette carte, légendée carte géologique dans les manuels, et présentée peut-être comme telle par les enseignants de ces classes, s'est imposée comme représentative de la carte géologique. L'indication des forages dans cette réponse au questionnaire peut être reliée au caractère récent de l'étude scolaire, mais peut également être rapportée à une survalorisation psychologique de l'action de forer.

La carte géologique est une inconnue, est un ailleurs qui renvoie à une étude du terrain, c'est-à-dire d'un milieu que les élèves ont côtoyé dans leur quotidien (vacances, balades...) sans "voir" les roches qui y affleurent. Il est alors plus confortable pour l'esprit d'imaginer celles-ci comme cachées (physiquement, là où elles le sont intellectuellement), d'où la nécessité de creuser, de forer, pour les découvrir. L'association psychologique très forte qui existe entre la notion de chercher, d'explorer et celle d'ouvrir, de pénétrer, de forer, peut faciliter cette association du forage à la production de la carte géologique.

il faut voir
pour savoir

• **La loupe et le microscope**

À quoi sert la loupe ? Elle est utile à la reconnaissance des structures qui échappent à l'oeil, à l'identification des minéraux. Ils ne sont que 14 % à l'indiquer spontanément, alors que pour 50 d'entre eux, elle faisait partie du matériel porté sur le terrain. Le microscope apporte des informations semblables à une échelle inférieure, il permet d'aller plus loin dans la détermination des assemblages minéraux et des structures. À quoi servent ces informations, sinon à déterminer le type de roche observé. L'élève n'ayant guère eu à identifier de lui-même les roches à partir de ses seules observations, substitue à celles-ci une identification globale de l'échantillon. Un nouvel échantillon est déterminé par sa ressemblance à un échantillon identifié par l'enseignant. L'échantillon est pris dans une dimension supérieure à celle des minéraux et microstructures : la loupe et le microscope ne sont donc pas, de fait, jugés nécessaires. En plaçant, par ces questions, l'élève dans la situation du géologue, on le force à imaginer un rôle d'après sa propre expérience. Le géologue doit reconnaître l'échantillon sur son aspect global (ce qui n'est pas tout à fait faux dans certains cas !).

l'observation
macroscopique
supplante
l'observation
microscopique

• **Mais aussi des crayons... de couleur !**

Ils n'étaient que quelques-uns à répondre spontanément que lever une carte géologique nécessitait des crayons de couleur, guère plus que ceux qui ajoutaient au matériel précédent, un bonnet, de bonnes chaussures ou des jumelles. En revanche, proposée dans le QCM, cette réponse était choisie par 82 % des élèves, soit juste un peu moins que la carte topographique, et bien plus que le marteau. Cette réponse, plus qu'une prise de conscience de la présence de couleurs sur la carte, exprime à nouveau un manque

la réalisation
matérielle reste
abstraite

d'esprit pratique, une absence de prise en compte des aspects matériels. L'élève pense certes qu'il trouvera des roches différentes sur le terrain, mais ne s'interroge par sur le moyen qu'il mettra en œuvre pour les cartographier. La phase de réalisation n'est pas envisagée, il n'y a pas, car il n'y a pas eu, de phase de concrétisation. Il faut déterminer les roches, souci prioritaire, après, les cartographier ne constitue pas un obstacle technique car n'est pas envisagé pratiquement.

L'exercice de simulation auquel on oblige l'élève montre bien la forte dépendance des aspects pratiques d'une réalisation à leur réalisation effective. Les savoir-faire passent obligatoirement par le faire.

• En résumé

Placer l'élève mentalement dans la situation du géologue cartographe, et lui demander de nous décrire ses actions pratiques et pour cela le matériel qu'il utilise, lui est un exercice très artificiel. Jouer le rôle qu'on lui impose nécessite de le connaître quelque peu. En absence de connaissances précises, les représentations mobilisées sont des représentations très précoces, indépendantes des savoirs géologiques enseignés. Les réponses correspondent non pas au quotidien du géologue cartographe, mais à l'idée que s'en font des élèves après réflexion. La question 11 du questionnaire A (*Que note un géologue lorsqu'il se trouve sur un affleurement ?*) donnait : "la nature des roches" à 57 %, "la disposition des roches" à 18 %, "les pendages" à 9 % et "les failles" à 2 %...

l'absence
de pratique
fausse les
représentations

Le travail de lever est étranger à l'élève et celui-ci l'imagine autour de son souci unique, savoir quelle roche il y a à tel endroit. Pour cela il pense qu'il suffit de regarder, quitte à creuser (forer) si le paysage lui masque la roche. Pour l'élève, la géologie en classe consiste à savoir le nom de la roche posée sur la paillasse et à savoir qu'on la trouve à tel endroit (sur la carte). L'important est de savoir le nom, pas de savoir déterminer la roche, ou sa signification pétrographique, stratigraphique ou paléocéologique. Par extension, faire une carte, c'est savoir nommer la roche qui se trouve à tel ou tel endroit.

La quasi disparition des études pratiques de terrain et la place plus que réduite des activités pratiques dans leur quotidien d'élève, stabilisent (ou concourent à ?) ces représentations.

2.4. Des leviers à la carte

Au delà des aspects pratiques de la réalisation des leviers, penchons-nous sur la dimension intellectuelle de la construction de la carte.

La carte est un document de synthèse hautement interprétatif. Construite à partir de leviers de terrains peu denses, elle est obtenue par mise en relation de points, par extrapo-

la carte est un
document de
synthèse
hautement
interprétatif

lation raisonnée du non-vu. Le passage de la minute à la carte est une reconstruction intellectuelle à partir d'informations incomplètes. Transformer une minute en une carte c'est transformer quelques nuages de points de répartition hétérogène, en une surface continue. Cette transformation est indispensable à la production de la carte. Le géologue complète ses levés et les organise en s'appuyant sur un savoir géologique commun. Sans lui, il n'y a pas de carte, il n'y a que des informations éparses, partielles et partiales.

la part de
l'interprétation
est passée sous
silence dans
les manuels

La carte des manuels scolaires est présentée achevée, ses conditions d'obtention sont passées sous silence. L'analyse de manuels scolaires de Première scientifique (programmes de 1982, 1988 et 1993) ne présente qu'un seul cas d'exposé (sommaire) de la construction de la carte... pédologique. Il n'y a rien sur la carte géologique. On peut y lire (11) : " Pour parvenir à la carte au 1/100 000 on prévoit en moyenne huit profils - c'est-à-dire huit trous - pour cent hectares. De ces études ponctuelles on tire par extrapolation une carte continue."

Bien qu'il s'agisse de pédologie, les limites de l'observation et le recours à l'extrapolation sont au moins signalés, ce qui n'est pas le cas le reste du temps. Le manuel n'avertit pas l'élève et celui-ci est alors amené à travailler sur un document dont, la réalisation lui restant cachée, la signification ne peut que lui échapper. Au delà du manuel, l'enseignant n'aborde guère plus, lorsque c'est le cas, la construction de la carte, et utilise celle-ci comme illustration ou document témoignant d'un terrain qu'il ne peut faire observer directement.

Confronté à des questions sur la production de la carte, l'élève construit ses réponses à partir de ses représentations primaires et des savoirs scolaires incomplets qui lui sont présentés. Les réponses spontanées ou provoquées à l'aide du QCM évoquent ainsi tout autant, sinon plus, les représentations personnelles d'élèves, que des savoirs incomplets sur les techniques de cartographie.

Questionnaire B, question 5

<i>La carte géologique est construite :</i>	Pourcentage
par confrontation des observations et des connaissances théoriques	45
par addition d'observations de terrain et de laboratoire	42
par interprétation d'observations	24
par addition d'observations de terrain	20
par dessin de photographies aériennes	14

(11) Biologie-Géologie, 1^{er}S. Coll. J. Escalier. Paris : Nathan. 1982. p. 226.

Questionnaire B, question 14

<i>La cartographie géologique est un travail</i>	Pourcentage
autant de terrain que de laboratoire	47
essentiellement de terrain et un peu de laboratoire	41
uniquement de terrain	8
essentiellement de laboratoire et un peu de terrain	1
uniquement de laboratoire	0

• *L'observation comme seul mot d'ordre*

À quelles observations de laboratoire ces réponses font-elles référence ? Si on note en parallèle à celles-ci, que seulement 8 % des élèves citaient spontanément le microscope comme matériel nécessaire à la réalisation d'une carte (question 7 du questionnaire A), que 13 % citaient les photographies (aériennes ?) et 7 % des études géologiques (de quelles études s'agit-il : de publications ou de cours universitaires ?), on peut sérieusement s'interroger. Les réponses précédentes passaient respectivement dans le QCM, à 33 % et 57 % (l'utilisation d'études géologiques ne faisait pas partie des réponses proposées).

Le laboratoire fait office de boîte noire, l'élève ne sait pas très bien ce qui s'y fait et n'en imagine rien de bien précis. Le laboratoire n'est pas dans leurs réponses la chambre noire où serait révélé, par un traitement particulier, ce qu'il reste d'obscur dans les observations. Le laboratoire n'est pas identifié comme lieu de production d'informations nouvelles (observations microscopiques, mesures, confrontations de données...), bien qu'il soit reconnu comme jouant un rôle dans la construction de la carte. Peut-être faut-il voir le laboratoire comme le lieu, où, rentrant d'excursion, l'enseignant demande une mise au propre des notes de terrain. Le travail du cartographe serait alors, par analogie, un travail de mise au propre.

la part de
l'observation est
survalorisée

La mise en avant de l'étude de terrain traduit une survalorisation de l'observation comme le montre les réponses à la question 4 du questionnaire B.

La place réservée aux photographies aériennes nous renvoie à l'idée d'une observation comme regard posé sur le terrain, et par exagération à une carte géologique figurative, c'est-à-dire construite par schématisation d'une photographie. On ne peut à la seule lecture de ces résultats prétendre que l'indication d'une utilisation de photographies signifie pour ces élèves, que la carte soit construite à partir de celles-ci, c'est-à-dire qu'elles jouent un rôle majeur. Cette idée est par contre apparue très clairement dans un des entretiens, où l'élève m'expliquait qu'on devait construire la carte à partir de photographies prises par hélicoptère.

Questionnaire B, question 4

<i>Pour construire une carte géologique, le géologue se procure des informations à partir</i>	Pourcentage
d'observations de terrain	79
de forages	73
de prélèvements d'échantillons	72
de l'étude des sols	64
de photographies aériennes	50
d'enregistrements sismiques	46
de l'étude de la végétation	11

La multiplication des images satellites (souvent confondues avec des photographies aériennes) favorise probablement l'idée que l'on peut voir de haut ce qui n'est pas visible au sol. Dans cette logique le sous-sol pourrait être étudié de l'espace, et ces images pourraient bien servir à construire des cartes. Il est encore plus probable que l'élève ne se représente pas la très faible surface des affleurements du sous-sol, même lorsqu'il vit en région de bocage.

Le très grand poids donné à l'observation se retrouve dans de nombreuses autres réponses. Ainsi, lorsque l'on place l'élève dans la situation où il ne peut observer de ses yeux le sous-sol, parce que celui-ci est recouvert par une formation superficielle ou par la végétation, il cherche par différents moyens à "voir" ce qui lui est caché.

Questionnaire A, question 9 et questionnaire B, question 12

<i>Comment un géologue détermine la nature du sous-sol lorsque celui-ci est recouvert d'un sol épais ou inaccessible parce que recouvert par un étang par exemple ?</i>	Questionnaire A question 9 (en %)	Questionnaire B question 12 (en %)
par des forages, carottages, sondages	49	82
par des études sismiques, des ondes	24	48
par déduction, supposition, extrapolation	12	32
en décapant le sol	-	7
par étude du sol	-	35
par étude de la nature de la végétation	-	31

Forer est la première nécessité pour la majorité d'entre eux : il faut dévoiler ce qui est caché en creusant ou en décapant ce qui le recouvre. Il faut voir de ses yeux. Les enregistrements sismiques (donnent essentiellement des informations sur la disposition des couches) sont assimilés probablement à des observations. Les enregistrements présentés en classe et les parallèles nombreux faits avec des échographies, voire des radiographies (!) assimilent les études sismiques à des observations et non à des reconstructions mathématisées. Les études de sol ou de végétation s'appuient sur des observations et à défaut de voir ce qui se trouve au dessous, en voyant le dessus on déterminera le dessous (sans grand intérêt pratique dans la réalité). Ils sont même 46 %, à la question 15 du questionnaire B, à répondre que tout ce qui est figuré sur une carte a été observé.

Toutes les réponses proposées renfermant l'action d'observer sont plébiscitées. Déduction, supposition, extrapolation ne font, en revanche, guère recette. Ces termes semblent détachés de l'observation, pire ils semblent crédités d'un degré d'approximation qui les éloignerait de la réalité telle que "l'observation la garantie". Même lorsque le QCM relie l'extrapolation à l'observation préalable ("*par extrapolation des observations les plus proches*"), cette solution à la reconstruction du non vu est délaissée. L'idée de construire une "réalité" non observable par leur raisonnement ne s'impose pas, elle est même écartée par une majorité.

l'interprétation
est sous-estimée
par l'élève car
dévalorisée

À travers ces réponses, c'est toute la production de connaissances par la réflexion qui se trouve délaissée voire rejetée.

La signification donnée au terme *extrapolation* est peut être la cause de son rejet : le mot gêne, le mot bloque par ses associations conceptuelles. L'extrapolation mathématique consiste pour une fonction empirique à choisir des valeurs de variables en dehors des limites des valeurs réellement observées. L'extrapolation est reliée à l'observation, elle s'appuie sur celle-ci pour la dépasser. L'extrapolation au sens commun renvoie à l'idée de généralisation, de déduction plus ou moins fondée. L'extrapolation n'exclut pas l'erreur, elle ne peut que s'en préserver par une assise (argumentation) solide, c'est-à-dire ici, par des observations extérieures suffisantes, par des connaissances complémentaires, par des principes physiques, géométriques, stratigraphiques bien établis. Sans la connaissance de ces principes, et à plus forte raison de leur existence, l'élève ne peut que s'interroger sur les éléments de validation et le bien fondé des déductions des géologues.

L'absence de pratique de la déduction, du raisonnement à partir d'observations insuffisantes, l'absence de reconstruction d'événements à partir de seulement quelques éléments conduit (ou confine) à des représentations de la cartographie de terrain comme une addition d'observations... indépendantes bien sûr de l'observateur. Les données du géologue ne sont encore que des faits pour l'élève.

comment
l'observation
s'oppose à la
réflexion

Au delà de cette survalorisation de l'observation dans la réalisation de la carte, c'est la place de l'observation et son sens en géologie et en biologie qui se trouvent ébranlés. L'accent mis à tous les niveaux de ces enseignements sur l'apprentissage de l'observation a fait croire longtemps, non seulement à l'existence d'une observation pure, détachée de l'observateur, mais également à une science qui n'aurait de validité que dans l'observation. Cette mise en avant systématique de l'observation a pour effet en la détachant de la déduction et de la réflexion d'en faire une science de la description, une science de "collectionneurs de timbres".

On trouve dans ces réponses l'expression d'une rupture entre l'observation et le raisonnement : on observe pour observer et on décrit pour distinguer. Mais au delà, que perçoivent les élèves ?

Cette capacité à produire le non vu, à partir du vu, à s'appuyer sur les propriétés et caractéristiques des éléments observables pour dévoiler ce qui est obscur, c'est-à-dire la nécessité d'interpréter, est semble-t-il ignorée. Ces représentations vis-à-vis de la carte traduisent une non prise en compte de sa dimension interprétative.

• *La part de l'observateur*

les théories
influencent le
tracé des cartes

Le tracé de la carte géologique (question 17 du questionnaire B) dépend des théories géologiques pour 71 % des élèves, mais est indépendant des auteurs (question 16 du questionnaire B) pour 68 %. De quelles manières les théories géologiques orientent-elles les cartes sans que ce soit à travers leurs auteurs ? Le terme de théorie a probablement été pris dans le sens de connaissances théoriques nécessaires à la construction technique de la carte, c'est-à-dire dans le sens de savoir technique spécifique. Ces savoirs sont alors jugés communs à tous les géologues et les réponses sont à prendre dans le sens : le tracé d'une carte est lié à la connaissance d'un ensemble de techniques précises permettant la transposition (automatisable ?) des levers en carte. Selon cette conception l'auteur est une machine qui exécute un programme donné, le savoir technique ; les auteurs sont interchangeable, ils n'interviennent pas personnellement dans la production.

les auteurs n'ont
pas d'influence
sur les tracés...

Sans vouloir faire dire à ces réponses plus qu'elles n'en peuvent dire, a-t-on à travers ces réponses l'expression d'une conviction d'un grand nombre d'élève : le savoir enseigné cherche ou tend à les rendre semblables... voire interchangeables ?

Les réponses obtenues ne sont que des pistes pour l'étude des représentations et leurs aspects parfois contradictoires doivent nous le rappeler. Ainsi, après que 71 % ont répondu que le tracé d'une carte dépendait des théories géologiques, ils ne sont plus que 18 % (question 18 du questionnaire B) à considérer qu'un changement des théories géologiques puisse être à l'origine d'une nouvelle édition corrigée d'une carte géologique.

l'observation
serait détachée
de l'observateur

L'idée d'une observation détachée de l'observateur, comme celle d'un savoir-faire détaché de celui qui fait, domine à travers ces réponses. Il est vrai que lorsqu'on leur dit depuis l'enfance "qu'observes-tu ?", on attend généralement qu'une seule réponse conforme à sa propre observation, voire à celle de l'institution dans laquelle on se situe. Observer devient alors rapidement observer juste, c'est-à-dire, comme l'autre. Le géologue est un homme dont le savoir est reconnu par ses semblables et son institution, il ne peut donc qu'observer juste, c'est-à-dire comme les autres. Savoir, étant comme on l'a dit précédemment "savoir ce qu'on vous a appris", le bon observateur n'a pas d'influence sur la transposition de la réalité du terrain en celle de la carte.

Lorsqu'on affirme que tout ce qui est figuré sur une carte a été observé, ils sont 46 % à acquiescer et 54 % à le nier. On peut dans un premier temps considérer qu'un élève sur deux reconnaît une dimension interprétative à la carte : elle est le produit d'une construction à partir d'observations incomplètes. Il faut alors se souvenir qu'ils n'étaient que 32 % à accepter l'idée de reconstruction par extrapolation. Il semble donc que sans réussir à expliquer comment la carte est construite, certains élèves reconnaissent à l'observation une insuffisance pratique ou technique et donc la nécessité parfois de faire sans.

• *La part de l'interprétation*

la carte contient
une part
d'interprétation

Certaines questions plaçaient directement l'élève face au problème de l'interprétation contenue dans la carte géologique. *A priori* celle-ci fait partie des représentations de la dimension intellectuelle de la carte, malgré ce que j'ai pu dire jusqu'alors, puisqu'ils sont 74 % à affirmer que "la carte est une interprétation raisonnée de l'observation de la Terre" (question 20 du questionnaire B). Quel sens peut bien avoir cette affirmation qui leur était proposée ? L'interprétation était qualifiée de raisonnée, ce qui la gratifiait d'une considération favorable, voire même validait l'affirmation. De raisonnée à raison et de raison à vérité, l'enchaînement est aisé. Cette interprétation raisonnée porte enfin sur une action survalorisée, l'observation. L'affirmation proposée portait en elle les ingrédients d'un consensus prévisible que nous pouvons fortement nuancer. Ils n'étaient que 24 % à considérer dans la question 5 du questionnaire B que "la carte géologique était construite par interprétation d'observations" (il n'était pas alors précisé qu'elle puisse être raisonnée !) et seulement 38 % (question 18 du questionnaire B) à rapporter les rééditions successives des cartes à des erreurs d'interprétations (si l'interprétation est niée, elle ne peut être la cause d'erreurs), contre 83 % qui les expliquaient par la mise en œuvre de techniques nouvelles permettant d'observer plus de choses.

L'interprétation lorsqu'elle n'est pas ignorée n'est pas définie. Ce travail intellectuel qui consiste dans un document à

déterminer ce qui est données de ce qui est interprétation de données n'est guère développé non plus dans les apprentissages. Les mélanges d'images figuratives et d'images interprétatives, d'images descriptives et de reconstitutions hypothétiques, sans identification des genres comme on le voit dans les manuels scolaires et à travers les médias, ne sont pas de nature à les aider dans cette distinction. Bien au contraire, ils ne peuvent que rendre encore plus floue une frontière déjà peu tranchée. La prégnance du terme image tire dans ce cas tous ces documents vers le figuratif.

3. BILAN SUR LES REPRÉSENTATIONS AUTOUR DE LA CARTE GÉOLOGIQUE

3.1. Des obstacles

Ces deux questionnaires, qui se révèlent fort insuffisants lors de leur exploitation pour confronter avec certitude des réponses parfois contradictoires, n'en permettent pas moins de révéler quelques représentations bien ancrées vis-à-vis de la carte. Celles-ci renvoient à la fois à des représentations générales de la carte et de la cartographie, et à des représentations du métier de géologue très liées à leur vécu d'élève.

la réalité pratique de la construction de la carte est ignorée

Les élèves de Première scientifique n'ont qu'une vague idée de la construction pratique (matérielle) de la carte, c'est-à-dire des conditions de lever de l'aspect physique du terrain et des aspects financiers associés. Ces représentations s'appuient sur des informations insuffisantes fournies au cours de leur apprentissage et sur des reconstructions personnelles guidées par la nécessité de voir les choses pour les décrire ou pour les comprendre.

les dimensions spatiales et temporelles sont très mal perçues

Ces représentations expriment des faiblesses de spatialisation (les roches ne sont pas imaginées dans l'espace, elles ne se prolongent pas dans le non-vu), de raisonnement géométrique (la disposition n'est pas reliée à des principes physiques ou mathématiques), de positionnement temporel (sous représentation des indicateurs de durée ou de chronologie). L'espace à quatre dimensions de la carte géologique n'est perçu que dans les deux dimensions du plan. Il n'y a pas véritablement de reconstitution.

le raisonnement est sous-estimé au profit de l'observation

L'observation est un souci mis en avant, mais est détachée de l'observateur. Le processus de décentration de l'observateur par rapport à l'objet de son observation n'est guère amorcé. L'absence de prise en compte d'une individualisation des savoirs fait ignorer l'effet de l'homme (le géologue) sur sa production. Parallèlement le raisonnement comme outil majeur de la production de la carte est négligé. Cette négligence du raisonnement fait sous estimer la part d'interprétation présente dans la carte géologique et lui attribue

une valeur figurative excessive pour ne pas dire disproportionnée.

Cette étude nous montre un décalage important entre ce qu'est la carte pour un géologue, et ce qu'elle représente pour l'élève. Elle pose le problème du comment elle est enseignée, selon quels objectifs et avec quels moyens. Elle met en évidence des obstacles communs, tel la présentation simultanée du temps et de l'espace, d'un objet dans sa dimension matérielle et temporelle, tel la représentation d'une pratique approchée uniquement par un apprentissage scolaire théorique. Elle met en évidence une situation conflictuelle, qui dépasse, et de loin, la simple production de la carte, la relation entre l'observation et la déduction.

À travers la carte géologique, c'est la géologie (voire la biologie) qui passe pour une somme d'observations détachées du raisonnement et sans relations établies.

3.2. Que faire des représentations ?

Faire sans les représentations n'est pas possible (bien que ce soit ce que nous faisons en grande partie), faire avec est délicat, faire contre n'est peut-être pas très efficace, "*faire avec pour aller contre*" est une solution à développer (12). Du débat autour de l'origine des représentations, de leur ancrage si précoce qu'un autre apprentissage ne servirait à rien, ou, au contraire, de la possibilité d'un autre apprentissage construit autour de celles-ci pour les faire changer, que retenir, que proposer ?

Faire un cours sur les techniques de la cartographie après avoir fait s'exprimer les représentations d'élèves, ne pourrait que "corriger" des erreurs ponctuelles liées à une absence d'informations, mais ne pourrait remplacer une véritable remise en cause des représentations, par l'expérience personnelle. Le savoir sur la carte est avant tout un savoir pratique, même s'il est inséparable d'un savoir géologique beaucoup plus large. L'appropriation de la carte dans sa dimension d'outil géologique ne peut se faire qu'à partir d'une construction puis d'une utilisation de l'outil. Pour cela, il faut mettre l'élève en situation de faire, c'est-à-dire revoir profondément l'actuel apprentissage scolaire.

comment
acquérir un
savoir pratique
sans pratique ?

3.3. Un autre apprentissage de la carte

Cartographier un terrain, établir des levés, c'est **savoir lire** une carte topographique, c'est-à-dire savoir y situer un point et savoir trouver sur le terrain, un point à partir de celle-ci. Cartographier un terrain c'est savoir poser sur la nature un regard descriptif, analytique. C'est aussi faire la part de l'imaginaire, de la sensation, des émotions. C'est se construire une grille d'observation à partir de règles, de principes, de caractéristiques clairement identifiées. L'obser-

lire une carte
passe par
construire une
carte

(12) Ibidem (8)**

vation pure est un mythe, nous ne pouvons que tendre à réduire la part de l'individu dans son observation par une définition explicite des critères d'observation. Réduire la part de l'individu ne signifie pas présenter des observations brutes, qui ne seraient que la transposition directe de la subjectivité du prospecteur au lecteur. Ce qui est objectif, c'est le document travaillé, interprété, à la lumière des connaissances d'une communauté scientifique.

Pour être concret, déterminer une roche consiste à reconnaître d'après leurs propriétés physiques ou chimiques les minéraux qui la constituent et non à porter un regard global sur l'allure de l'échantillon.

lever une carte
forme à
l'observation

Observer s'apprend, lever une carte y concourt. Le géologue doit savoir chercher l'affleurement, chercher la roche et distinguer une "pierre volante (13)" rapportée, d'une "pierre volante" témoin du sous-sol. Il doit soumettre ses observations à une critique en règle, pour en déterminer la pertinence significative. Il doit savoir casser un échantillon, ne pas se contenter de l'aspect extérieur des roches, que bien des facteurs du milieu ont pu modifier. La nature-même des objets peut être voilée, il faut pénétrer dans ces roches, les forcer à livrer leur véritable nature. La démarche est commune aux sciences du vivant ou de la matière.

lever une carte
forme à la
détermination,
la classification

Pour **déterminer** la nature pétrographique d'un affleurement, il faut savoir déterminer la composition minérale des roches, c'est-à-dire avoir recours à des techniques spécifiques d'observations microscopiques, mettant en jeu des propriétés physiques. La détermination peut dépendre également de réactions chimiques. Elle fait appel en amont à des connaissances pétrographiques, sédimentologiques, stratigraphiques, paléontologiques, etc. et renvoie vers des techniques plus sophistiquées, qui sans être accessibles à l'apprenant, le mettent en relation avec des sciences et techniques du monde de la recherche. Ce n'est pas aider un élève que de le laisser nommer des objets sur leur allure générale par ressemblance à un modèle.

mesurer un
pendage c'est
raisonner dans
l'espace

Déterminer la position spatiale d'un affleurement c'est mesurer son pendage, sa direction, c'est chercher à se représenter l'observation dans un référentiel plus abstrait, c'est chercher également à prolonger le vu par le non vu, à **inférer** le non observable à partir de l'observable. Cette démarche d'extrapolation exprime ses limites et est de nature à faire prendre conscience de la part d'interprétation qui conditionne le discours géologique. Cet exercice doit faciliter, de plus la lecture d'une carte, la compréhension des indications de pendage et la reconstruction de la troisième dimension. La carte devient dès lors le prolongement d'observations potentielles.

(13) On appelle "pierre volante" un échantillon trouvé sans contact avec la roche-mère : des pierres à la surface d'un champ par exemple.

la construction
de la carte
comme outil de
formation

Construire une carte c'est **s'approprier l'objet et s'en faire un outil**. Nous pourrions encore développer longuement la diversité des savoirs et savoir-faire que met en œuvre la réalisation pratique d'une carte, cela ne ferait que renforcer cette conviction qu'elle devrait faire partie de l'apprentissage scolaire. En produisant lui-même une carte, l'élève n'est plus extérieur aux préoccupations du géologue et mesure par lui-même la part de réalité de l'objet qu'il produit. En confrontant son travail aux autres (cartes d'élèves ou cartes officielles) il est amené à s'interroger sur la raison des divergences éventuelles et à chercher comment y remédier. L'élève est amené à une confrontation personnelle de ses représentations avec son expérience et non avec un savoir qui lui est exposé.

Déterminer une roche, en localiser une autre sur une carte ne devient plus dès lors un exercice de style, mais une étape nécessaire à un apprentissage plus large. On peut donc concevoir de construire un apprentissage de la géologie autour d'une découverte descriptive d'une région et de la production d'une carte. On peut modifier l'approche de la géologie et les représentations vis-à-vis de la carte en redonnant à celle-ci l'importance intellectuelle, que, reléguée dans un rôle illustratif de manuels, elle avait perdue. Il ne s'agit pas de plaider par nostalgie la cause d'une carte, que la géologie des modèles physiques a remise au placard de nos salles d'enseignement, mais de s'appuyer sur les potentialités de l'outil pour corriger des représentations erronées qui touchent toute la géologie.

Lorsque l'on passe en revue les compétences nécessaires à la lecture d'une carte géologique, on peut se dire que pour y parvenir il faut être géologue, ce qui n'est pas l'objectif bien sûr de notre enseignement. La carte peut, certes, être partiellement accessible à différents niveaux et se suffire pour cela d'un apprentissage moins poussé que celui développé par sa construction, mais l'idée que je veux développer, c'est qu'à travers un apprentissage plus profond de la carte, c'est un ensemble de compétences que l'on développe, bien au-delà de la carte elle-même. La carte géologique est un de ces objets-outils permettant l'acquisition, autant de savoirs spécialisés, que de savoir-faire plus généraux.

Pierre SAVATON
Lycée Littré, Avranches

LE DESSIN D'HUMOUR, CATALYSEUR DE LA RÉACTIVATION DU RÉSEAU CONCEPTUEL DE L'APPRENANT

Pascale Corten-Gualtieri
Anne-Marie Huynen

La problématique de la figurabilisation de concepts scientifiques, nous a menées à étudier les potentialités de communication des dessins d'humour parus dans des revues de vulgarisation scientifique. Dans une étude antérieure, nous avons mis à découvert, via des outils d'analyse appartenant au champ de la sémiologie, la capacité de deux dessins d'humour se rapportant au génie génétique, de communiquer des concepts scientifiques. Nous avons dès lors, expérimenté leur introduction en classe à travers des entretiens semi-directifs avec des élèves ayant déjà reçu un enseignement de génétique. Nous décrivons les mécanismes de décodage du message iconique mis en œuvre par ceux-ci face aux dessins. Ils mènent à une réactivation certaine du réseau cognitif des élèves autour des concepts de la génétique. Nous proposons alors diverses fonctions didactiques que le dessin d'humour pourrait assurer dans l'enseignement. Il pourrait être exploité tant comme outil de recueil de représentations d'élèves sur des contenus scientifiques que comme outil d'évaluation de connaissances. Plus fondamentalement, son introduction dans la communication des savoirs scientifiques pourrait être une médiation entre les messages linguistiques de l'enseignant et l'élaboration d'images mentales de concepts de biologie par l'apprenant.

PROLOGUE

Le foisonnement actuel des techniques de fabrication d'images, tant dans les domaines scientifique et médical, qu'artistique et ludique... prend dimension de révolution. Ce phénomène a fait de la communication visuelle, un outil éducatif ayant pris avec l'environnement médiatique et la consommation iconique des apprenants, et un objet d'études incontournable, tant pour les spécialistes de l'éducation, que pour les sémioticiens, les historiens et les sociologues.

Une recherche sémiologique sur le dessin d'humour de vulgarisation scientifique illustrant des concepts de génétique, nous a menées à explorer les potentialités didactiques de ces images sur le terrain, en classe de sciences.

Il nous est apparu nécessaire de préciser dans l'introduction, les choix que nous avons faits dans la littérature quant à l'acception que nous donnons au terme dessin d'humour, et de nous situer par rapport aux potentialités didactiques de ces images. Ensuite, nous brosserons un tableau de

explorer
les potentialités
didactiques de
la communication
visuelle

l'activité de communication pédagogique que nous avons développée par lui, pour des élèves, après une phase d'apprentissage de la génétique

1. INTRODUCTION

1.1. L'image, ses caractéristiques, ses fonctions

- **Identification, projection, polysémie**

Jacquinet (1988) insiste sur *"l'importance du travail du récepteur, dans un acte de communication apparemment aussi simple que regarder une image"*. Cet auteur écrit à ce propos, que *"l'image rencontre l'individu et avec lui, le système de valeurs, les sentiments, les habitudes de représentations inhérentes à sa propre culture"*. Selon Tardy (1984), lors de l'interprétation d'une image, *"[...] si l'identification est vassale, la projection est souveraine"*. L'image ne communique pas une signification toute faite. Son interprétation s'élabore selon ses potentialités sémantiques, à la lumière de ce qui est connu par l'observateur (Vezin, 1991). Selon Barthes (1964), *"toute image est polysémique"*, elle propose une multiplicité d'interprétations, *"une chaîne flottante de signifiés, dont le lecteur peut choisir certaines et ignorer d'autres"*. Quant à Jacquinet (1988), il ne s'agit pas d'une polysémie au sens d'une *"hésitation entre plusieurs interprétations imprécises, mais de pansémie"*, l'image pouvant *"supporter un nombre indéterminé d'écheveaux sémantiques"*. Tout document iconique est donc *"un lieu ouvert"*, *"dans l'attente d'un choix"*, car *"[...] il contient un ensemble de virtualités sémantiques, dont aucune n'a de prévalence sur les autres"* (Tardy, 1984). Ce dernier auteur affirme ainsi que *"Loin d'être un faisceau de contraintes qui guideraient impérieusement [...] [le destinataire] vers une signification arrêtée d'avance, [...] [l'image] est un ensemble mou, qui se laisse travailler et qui se prête à des déterminations exogènes"*. Il va encore plus loin, quand il stipule que *"Ce qui se présente sous les espèces d'un décodage, est en fait un encodage"*. On retrouve la même idée, chez Mounin (1980), qui écrit que *"[...] l'image n'étant pas construite sur un code sémiologiquement pré-déterminé, elle ne peut pas être décodée (sinon par un abus de langage). Elle doit être interprétée [...]"*. Cet auteur insiste en comparant le statut du *"regardeur"* à celui, non pas d'un *"[...] décodeur ou déchiffreur muni d'un code, mais à celui d'un décrypteur, [...] qui ne saurait même pas si ce qu'il analyse est une écriture"*.

toute image est polysémique

- **Activités cognitives associatives**

L'interprétation d'une image favorise l'activité psychique associative qui, selon Peirce (1978) s'élabore principalement selon deux voies : celles de la *"ressemblance"* (ou similarité)

l'interprétation
d'une image
se fait par
association,
par similarité ou
contiguïté

et de la "contiguïté" (notons que ce dernier terme désigne un glissement de sens, selon des rapports de voisinage, entre parties liées d'une manière quelconque par leur appartenance à un même ensemble). Dans le domaine de la linguistique et des figures de rhétorique, Jakobson (1963) a montré la correspondance respective de ces notions, à la métaphore et à la métonymie.

1.2. Le dessin d'humour de vulgarisation scientifique, une catégorie d'images originale

• *Fonction d'accroche*

Au sein de la typologie des documents visuels qui sont proposés dans les revues de vulgarisation scientifique (dessins, schémas, photographies, images artificielles construites par ordinateur...), notre choix s'est porté sur le dessin humoristique, par la valeur d'accroche exceptionnelle dont nous semble disposer cette catégorie iconique originale, vis-à-vis de l'attention du destinataire. En effet, ces dessins interpellent, provoquent, intriguent...

• *Disjonctions sémantiques*

Nous adopterons la définition du dessin d'humour proposée par Morin (1970). Cet auteur décerne la mention "humoristiques" aux dessins qui comportent une ou plusieurs "anomalies graphiques" provoquant des "ruptures de sens". Ces dernières orientent l'interprétation iconique dans une direction inattendue, destinée à provoquer l'amusement à des degrés divers, voire le rire jaune. Par analogie au système électrique, "qui coupe le courant à certains moments et le laisse passer à d'autres", Morin (1970) propose le néologisme "disjoncteurs", pour dénommer ces "jeux de traits", comparables aux jeux de mots des histoires drôles. Morin note encore que l'incongruité humoristique peut relever toute entière de l'image, ou peut nécessiter l'intervention d'un élément écrit, assurant un rôle d'ancrage ou de relais par rapport au dessiné.

• *Figurabilisation de concepts scientifiques*

Dans un ouvrage remarquable traitant des procédés linguistiques et iconiques auxquels recourent les journaux et périodiques de vulgarisation scientifique, Jacobi (1987) propose une typologie des "grammaires d'images" que l'on peut y rencontrer.

Le dessin d'humour appartient à la catégorie des "procédures de visualisation". Jacobi désigne ainsi "les ressources iconiques mobilisées par un vulgarisateur afin de rendre figurables des notions ou des concepts par essence abstraits". Il les met en relation avec ce que Jakobson (1963), mais également Tardy (1975), ont dénommé "traduction intersémiotique".

sont
humoristiques
des dessins
provoquant des
ruptures de sens

le dessin
d'humour est
classé comme
une procédure
de visualisation
des concepts
scientifiques

En outre, le dessin d'humour repose sur une "*prise en considération de la figurabilité*" des concepts scientifiques, c'est-à-dire de leur potentiel de suggestion d'images. Jacobi se réfère ici à un concept élaboré par Freud (1967), qui a décrit la manière dont le travail onirique concrétise en une représentation imagée, figurable, une connaissance mentale, par nature idéelle. Jacobi (1987) explique que les dessins d'humour relèvent d'un "*système de pensée visuelle ou de pensée en images*" qui "*court-circuite[nt] l'étape du détour langagier*". Fresnault-Deruelle (1984) note à ce propos, lors de l'analyse d'un dessin de presse, qu'une "*sorte d'inconscient linguistique*" ne semble cependant pas étranger à ce type de production iconique. Certaines images évoquent en effet des jeux de mots et des jeux de langage (des figures de rhétorique), sans cependant que jamais ceux-ci ne soient dits.

1.3. Le dessin d'humour de vulgarisation scientifique, un outil didactique potentiel

- **Caractère cognitif de l'humour :
pensée divergente**

Koestler (1964) insiste sur le caractère cognitif de l'humour. L'humour est considéré comme le type même d'acte créatif, reliant des idées, des concepts, de manière totalement originale. Cet auteur explicite la perception de l'humour de la manière suivante : engagé sur une piste sémantique se déroulant de manière logique, conventionnelle, le destinataire de l'humour se voit soudain confronté à l'inattendu, à l'incongruité ; il doit dès lors faire un effort cognitif pour trouver la solution de continuité. Cette dernière nécessite un mode de penser différent. Le plaisir intellectuel ressenti s'apparente alors à celui éprouvé lors de la résolution d'un problème. Il s'extériorise par le rire ou le sourire, et libère la tension créée par la rencontre de l'élément de surprise. Selon Koestler, l'effet humoristique résulte donc du passage soudain d'un plan logique, d'un cadre de référence, à un autre, phénomène qu'il dénomme "*bissociation*", et qui rejoint le concept de "*disjonction*" proposé par Morin (1970) à propos des dessins d'humour.

Ziv (1979 ; 1980 ; 1983) s'interroge quant à la possibilité de développer chez l'apprenant, le sens de l'humour. Convaincu que la capacité de produire et de percevoir l'humour, est liée à la pensée divergente, et partant, à la créativité, il espère par là, développer chez l'apprenant, l'aptitude à percevoir la réalité de manière originale. "*Ne pas suivre la démarche habituelle, ni rester dans un cadre ou un plan bien défini. Passer d'un plan à l'autre, relier des choses qui ne semblent pas se prêter à une telle relation, est la tâche de celui qui crée*" (Ziv, 1979). Ceci s'applique en particulier à celui qui crée de l'humour, mais également à celui qui le reçoit.

l'humour,
ouverture
à la pensée
divergente

Ziv (1979) réalise dans cet esprit, une expérience pilote, consistant à soumettre des lycéens à un stimulus humoristique, préalablement à l'administration d'un test de créativité. Cette *"ouverture vers la pensée divergente"* se révèle avoir une influence positive, sur les résultats de ce test. Ziv ne prétend en aucun cas, qu'il a ici développé la créativité des élèves. Il a seulement laissé aux apprenants, la possibilité d'exprimer leur créativité. Ce résultat ponctuel lui apparaît cependant comme un encouragement à introduire l'humour dans l'apprentissage, afin de développer à long terme, la pensée divergente des apprenants.

L'école, écrit cet auteur, en tant qu'agent de socialisation, favorise le mode de penser convergent, traditionnel. *"Penser d'une manière illogique, inhabituelle, amène une crainte d'être ridicule et cette crainte peut certainement avoir un rôle de frein [vis-à-vis de la créativité]"*. Or, les progrès décisifs réalisés dans tous les secteurs de l'activité humaine, de la science aux arts, sont dus à des individus ayant fait preuve d'une manière de penser divergente.

Susciter la créativité des élèves en classe, est un objectif pédagogique énoncé fréquemment. Cependant les mises en situation de création s'avèrent rares. L'humour via le dessin ouvre une brèche, que notre travail s'essaie à mettre en évidence. Son introduction dans l'enseignement pourrait donc ouvrir à des stimulations de la créativité.

• **Regard sur la science, de l'extérieur**

Lévy-Leblond (1992) estime que *"Nous a beaucoup manqué ces dernières décennies, la capacité à regarder la science de l'extérieur, pour pouvoir vraiment comprendre ce qu'elle est, à quoi elle sert et quels en sont les enjeux réels"*. Or, poursuit-il, *"[...] l'humour est l'un des meilleurs moyens pour une telle prise de distance"* ; à travers le dessin d'humour à thème scientifique, *"[...] se disent sur la science des choses assez profondes et parfois plus pertinentes, plus aiguës que beaucoup d'analyses théoriques élaborées"*. Jacobi (1987) qualifie ainsi ces images de *"réalistes-grotesques"*, terme qu'il emprunte à l'analyse de l'œuvre de Rabelais par Bakhtine (1970) et qui signifie que le caractère excessif, hypertrophié, de ces dessins travestit une situation bien réelle. Tardy (1988) explique ainsi, à propos d'un dessin de presse, que *"La satire exagère, mais ce faisant, elle vise à produire un effet de plus juste appréciation de ce qui est. Elle donne en partage le plaisir de la transgression [de sujets socialement considérés comme intouchables, tabous], mais en même temps, elle laisse entendre que l'impertinence est au service de la pertinence [...], le sérieux des significations [...] est sa visée ultime."* Sous le couvert de l'imaginaire, le dessin d'humour de vulgarisation scientifique permet ainsi la critique de la réalité. Il pratique le doute méthodique, en mettant à mal le mythe du savant, et l'outrecuidance de la puissance de la science.

regard critique
sur la science

2. L'AMALGAME POSSIBLE DU DESSIN D'HUMOUR, DE LA DIDACTIQUE ET DE LA GÉNÉTIQUE : NOTRE RECHERCHE

2.1. Recherche en deux temps

analyse
sémiologique des
dessins d'humour
et décodage par
un public scolaire

Dans un premier temps, nous avons procédé à une investigation concernant les potentialités de communication qu'offrent deux dessins d'humour publiés dans des articles de vulgarisation scientifique consacrés au génie génétique (Corten-Gualtieri, P. Huynen, A.-M., 1992 et 1993). Elle fut réalisée à l'aide d'outils théoriques et méthodologiques appartenant au champ de la sémiologie. Il s'est agi d'une analyse détaillée de ces dessins d'humour, s'attachant aux procédures de mise en image (de traduction intersémiotique) de concepts de génétique, ainsi qu'aux reformulations humoristiques d'images savantes de cette discipline. La manière dont les dessins communiquent des informations spécifiques et/ou identiques à celles véhiculées par l'article qu'ils illustrent, et donc leurs rôles de redondance, d'ancrage, ou de relais joués par rapport à celui-ci, ont été pris en compte.

La deuxième partie de notre recherche se rapporte à la réception de ces dessins d'humour, par un public scolaire. Nous avons confronté nos "décodages" iconiques, avec ceux qui furent émis par un échantillon de vingt élèves de l'enseignement secondaire supérieur, ayant bénéficié du cursus de génétique.

Notre analyse sémiologique *a priori*, a pu servir de référence pour la discussion des résultats fournis par cette investigation en classe.

2.2. Réactivation des représentations mentales de concepts de génétique, en principe appris, via le dessin d'humour : notre hypothèse

hypothèse :
le décodage du
dessin d'humour
de vulgarisation
scientifique
réactive le
réseau
conceptuel de
l'apprenant

L'interprétation d'un dessin d'humour de vulgarisation scientifique élaborée par l'élève, repose sur ses représentations mentales de concepts scientifiques, auxquelles participent les souvenirs de documents visuels pédagogiques et ceux d'images de la science véhiculées par les médias. L'élève amené à décoder le contenu scientifique d'un dessin d'humour, doit repérer ce qui, dans l'image, constitue ce que Tardy (1988) nomme le "*convertisseur d'isotopie*". Ce motif iconique constitue une charnière entre l'"*isotopie de référence*", c'est-à-dire le contenu "naïf" de l'image, et le registre sémantique de la science : ses concepts, ses activités, son matériel et ses méthodes, ainsi que ses documents iconiques. Jacquinot (1977) parle à ce propos d'un signal iconique déterminant une "*rupture diégétique*", en l'occurrence la "*substitution*", au "*monde de tout le monde*", du

“réfèrent” du “spécialiste” (l’univers de référence du généticien).

Dès la conversion d’isotopies, la “lecture” de l’image procède de l’établissement de liens de similarité et/ou de contiguïté entre des motifs iconiques, et des images mentales que l’élève s’est construites à propos du monde de la science.

Nous avons tenté de démontrer que le “décodage” de dessins d’humour de vulgarisation scientifique mobilise chez l’élève, indépendamment ou conjointement à des informations écrites synthétiques (titre, chapeau de l’article de vulgarisation scientifique illustré...), des représentations mentales de concepts de génétique en principe appris, et qu’il réactive par là progressivement le réseau conceptuel de l’apprenant. L’analyse des “décodages” iconiques proposés par les élèves a consisté à identifier des indices langagiers d’une telle récupération en mémoire de connaissances en génétique.

2.3. Comment a pu se faire l’amalgame...

Le recueil des données s’est déroulé en dehors des heures de cours de biologie, à l’occasion d’un temps libre des élèves. Cette caractéristique, ainsi que le volontariat des élèves, constituaient des conditions favorables à l’institution d’un climat de confiance et de spontanéité.

Notre investigation a été menée auprès de dix groupes de deux élèves (16-17 ans), sous la forme d’entretiens semi-directifs (directifs dans la forme, non-directifs pour le contenu), d’une durée de cinquante minutes. Le rôle du chercheur-interviewer a consisté à laisser les élèves s’exprimer librement, pour ensuite les inviter, si besoin était, à expliciter des propos restés obscurs, ou à interpréter des motifs du dessiné, non relevés spontanément, mais dont nous désirions connaître l’interprétation.

L’objectif des entretiens a été explicité aux élèves, comme une enquête visant à recueillir leur “récit” de dessins d’humour illustrant des revues à thème scientifique, ainsi que leurs réactions émotionnelles par rapport à ces images. Le caractère spontané de ces descriptions narratives a été souligné.

Chaque dessin a, dans un premier temps, été proposé aux élèves, sans que ceux-ci n’aient accès aux informations écrites accompagnant le document iconique. Dans un second temps, des éléments linguistiques appartenant au dessin lui-même (cf. dessin de Durkheim), ou constituant le titre et le chapeau de l’article de vulgarisation scientifique illustré, ont été dévoilés aux élèves. C’est donc l’interface dessiné/écrit qui a été testée du point de vue de la récupération en mémoire de conceptions de génétique.

Les élèves ont ainsi été invités à exposer, sur le mode narratif, leur “lecture” iconique de quatre dessins (un de Durkheim, deux d’Avoine, et un de Sabatier) présentés successivement, dans un ordre préétabli. Les trois premiers dessins illustrent une manipulation génétique et le dernier

des élèves
“racontent”
les dessins

le séquençage du génome humain. Nous nous limiterons ici à la discussion des résultats se rapportant au dessin de Durkheim et à celui de Sabatier.

Nous avons recherché, dans le "récit" des élèves, des indices langagiers de la réactivation du réseau cognitif, organisant leurs conceptions en génétique. Ces indices consistent en des termes savants et/ou des reformulants désignant des concepts de génétique, ainsi qu'en des exemples les illustrant que les élèves ont associés, par similarité et/ou contiguïté aux motifs dessinés et/ou aux éléments linguistiques accompagnant le dessin. Nous présenterons pour les deux dessins précités une discussion de ces indices.

L'influence des éléments écrits accompagnant les dessins, a été envisagée du point de vue des fonctions d'ancrage, de relais, et/ou de redondance, qu'ils ont assurées par rapport au message iconique "décodé" par les élèves. Nous nous limiterons cependant ici, aux interprétations liées au dessin seul, sans tenir compte des éléments de décodage provenant de la lecture du titre et du chapeau de l'article de vulgarisation scientifique.

3. INTERPRÉTATION DES DEUX DESSINS D'HUMOUR : "LECTURE" DES ÉLÈVES EN CONCORDANCE OU EN CONTRASTE AVEC NOTRE INTERPRÉTATION SÉMIOLOGIQUE

Nous avons regroupé les résultats de l'investigation, en fonction des concepts de génétique mentionnés par les élèves. Les extraits des entretiens avec les élèves sont mis en évidence par des guillemets, les concepts de génétique figurent en caractère italique (sauf dans les titres de paragraphe).

3.1. Le dessin de Durkheim

- ***Reconnaissance de l'isotopie génétique du dessin***

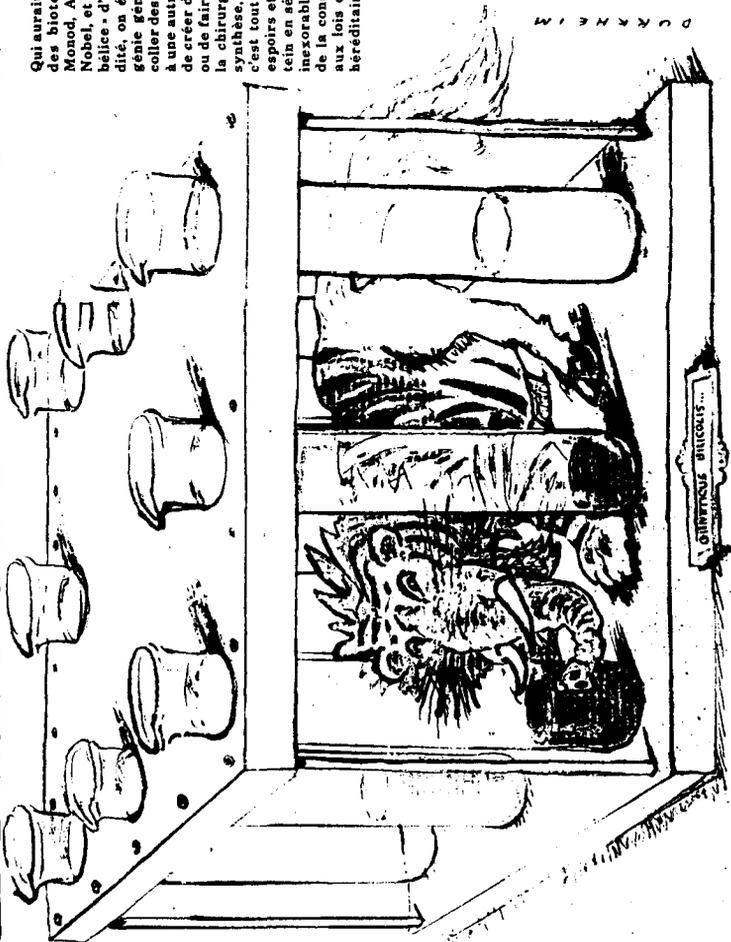
Devant le dessin, privé d'écriteau portant la mention "GENETICUS BRICOLIS", six groupes d'élèves (n° 2, 4, 5, 6, 8, et 9) reconnaissent l'isotopie génétique du dessin. Confirmant notre interprétation iconique, c'est la conjonction de l'animal d'aspect composite et des tubes à essais, qui a induit cette reconnaissance, pour tous ces groupes, à l'exception du n° 5. Pour ce dernier, la présence de l'animal a assuré cette fonction sémantique, à elle seule.

Pour les quatre groupes restants (n° 1, 3, 7, 10), le dessin a nécessité l'intervention de l'inscription "GENETICUS BRICOLIS..." pour inscrire son message dans le registre sémantique de la génétique. Cette inscription assure donc un rôle de convertisseur d'isotopies.

l'animal composite, les tubes à essais, "geneticus bricolis" mis en relation avec la génétique

LA RÉVOLUTION GÉNÉTIQUE

Qui aurait imaginé il y a vingt ans l'essor fantastique des biotechnologies ? François Jacob, Jacques Monod, André Lwoff n'avaient pas encore le prix Nobel, et si l'on commençait à parler de la « double hélice » d'A.D.N., support moléculaire de notre hérédité, on était bien loin d'imaginer l'importance du génie génétique qui permet aujourd'hui de couper, coller des gènes d'un individu à un autre, d'une espèce à une autre, de faire des souris géantes ou à rayures, de créer des plantes qui peuvent se passer d'engrais ou de faire pousser des tomates dans le désert. Avec la chirurgie enzymatique, le clonage, la chimie de synthèse, le génie génétique explose littéralement, et c'est tout notre univers qui bascule. Loin des faux espoirs et fausses craintes de Mozart ou Frankenstein en série, la révolution génétique est en marche inégalement et bouleverse tout sur son passage : de la connaissance fondamentale des êtres vivants aux lois de l'évolution, du diagnostic des maladies héréditaires à une toute nouvelle approche du cancer.



Dessin de Durkheim, "La révolution génétique", *Sciences et Avenir*, n° spécial 51 (1984)

Avant d'avoir accès à cette inscription, les tubes à essais reconnus pour des marques de l'expérimentation scientifique permettent aux groupes n° 1 et 3, d'"inscrire" le dessin dans le monde de la science. Le groupe n° 3 établit en outre un lien de cause à effet, entre le mélange des liquides contenus dans ces tubes, et l'obtention de l'étrange animal. Ce parcours de "lecture" du dessin correspond au nôtre. De plus, cette interprétation de la genèse de l'animal, coïncide avec ce que nous avons "décodé", dans l'image, comme une référence au mythe du scientifique apprenti-sorcier. Une de nos "lectures" iconiques a en effet consisté à considérer l'animal composite, comme une transmutation du mélange des réactifs de couleurs diverses. Nous avons par ailleurs associé ces derniers, par similarité, à des *gènes* porteurs de l'*information génétique* de divers genres animaux, dont le mélange permet de créer, de toutes pièces, un organisme présentant un assemblage de *caractères héréditaires* correspondants.

• **Le concept de manipulation génétique**

Le dessin semble capable de réactiver des représentations mentales relatives à ce concept de génétique, chez trois groupes d'élèves (n° 2, 4, 9).

Le groupe n° 2 cite le terme savant désignant ce concept, pour dénommer ce qui a permis de créer l'animal composite. Nous pensons que ces élèves établissent également un lien de cause à effet, entre les tubes à essais, et l'animal. Cette interprétation iconique conforterait ainsi, la nôtre.

Les élèves du groupe n° 9 semblent mentionner le concept de *manipulation génétique*, par reformulation. Ils considèrent en effet que les tubes à essais ont permis de mélanger les "*chromosomes*", les "*informations [génétiques]*", de plusieurs espèces animales différentes. Le concept de génétique qui nous intéresse ici, paraît donc associé, par contiguïté, aux tubes (en tant que matériel) et à l'animal composite (en tant que résultat d'une *manipulation génétique*).

Nous pensons que le groupe n° 4 mentionne également ce concept (par reformulation), lorsqu'il explique l'origine de l'animal composite, par un mélange de "*gènes des animaux différents qu'on met ensemble*", grâce aux tubes à essais. Cette "lecture" du dessin correspondrait à la nôtre. Cependant, ces élèves proposent également de considérer l'animal comme le résultat d'une *fécondation in vitro*. Il est donc possible que la citation reprise ci-avant ne se réfère pas au concept de *manipulation génétique*, mais qu'elle signifie que les élèves envisagent le mélange de gènes, comme la conséquence de la fusion de "*spermatozoïdes*" et d'"*ovules*", d'origines animales différentes. Cette "lecture" de la genèse de l'animal est originale, au sein de l'échantillon d'élèves. Elle confirme l'une des interprétations iconiques qui nous a semblé possible, avant que l'écríteau n'assure, à

le dessin amène à dénommer le concept ou à l'approcher par des reformulants

"*geneticus bricolis*"
provoque la récupération en mémoire

notre sens, un rôle d'ancrage de l'isotopie des *manipulations génétiques*.

Lors de la présentation conjointe du dessin et de l'inscription "GENETICUS BRICOLIS...", on trouve des indices d'une récupération en mémoire de connaissances relatives au concept de *manipulation génétique*, chez trois groupes supplémentaires (n° 1, 3 et 8). Pour ces élèves, l'inscription a donc assuré une fonction de relais, par rapport à l'image. Ces groupes traduisent en effet l'inscription en termes de "bricolage génétique", confirmant ainsi une des significations que nous avons conférée à cet écrit pseudo-latin. Ils mentionnent alors le concept qui nous intéresse ici, en l'associant par contiguïté (lien de cause à effet), à l'animal. Le groupe n° 8 cite le terme savant *manipulation génétique* ; le groupe n° 1 cite ce terme, et en propose également une reformulation : "ils mettent des gènes [...] d'animaux ensemble". Le groupe n° 3 propose le reformulant suivant : "Ils ont bricolé la génétique de l'animal,... son aspect extérieur...".

Avant d'avoir accès à l'écrêteau, remarquons que le groupe n° 6 associe par contiguïté, l'animal et les tubes, à des "expériences [...] génétiques", sans mentionner cependant le concept de génétique auquel il se réfère par là. La présentation de l'inscription mène à la traduction "bricolage génétique".

• **Les concepts de croisement, d'hybride et de gamète**

Remarquons tout d'abord que *croisement* et *hybride*, sont des concepts associés par contiguïté. Un *hybride* est en effet le produit d'un *croisement*. Les élèves qui associent, par contiguïté (lien de cause à effet), l'animal, au concept de *croisement*, semblent donc se caractériser également par une réactivation de représentations mentales relatives à *hybride*. Inversement, le fait que des élèves associent, par similarité, l'animal à un hybride, est considéré comme un indice d'une récupération en mémoire de connaissances se rapportant au concept de *croisement*.

Rappelons que, lors de notre analyse du dessin, nous avons mobilisé le concept de *croisement multiple*, pour expliquer l'origine de l'animal, dont le phénotype assemble des *caractères génétiques* de plusieurs genres différents. Nous avons ainsi associé, par similarité, l'animal composite à un *hybride intergénérique*, obtenu par la mise en présence, *in vitro*, d'ovule et de *spermatozoïdes* de divers genres animaux. Cette interprétation iconique nous a semblé valide (bien que scientifiquement impossible), avant que l'inscription pseudo-latine ne réduise, pour nous, la polysémie du dessin, en ancrant la pertinence du concept de *manipulation génétique*, pour expliciter la présence de l'animal, à côté des tubes à essais. Nous avons alors considéré l'animal comme un organisme *transgénique*, dont le *patrimoine héréditaire* a

l'interprétation des élèves procède par contiguïté et par similarité, en rejoignant la nôtre

été modifié par l'introduction de gènes d'origines multiples, contenus dans les tubes.

Indépendamment de l'écrêteau, le dessin paraît réactiver des représentations mentales relatives au concept de *croisement*, chez deux groupes d'élèves (n° 4 et 5). Ces conceptions sont mobilisées par les élèves, pour désigner la genèse de l'animal composite. Le groupe n° 5 fait référence à ce concept, par citation du terme savant qui le désigne, et le groupe n° 4, par reformulation : "Des *spermatozoïdes*, des *ovules* [...] qui sont mis ensemble pour euh... former un animal tout à fait spécial...". Ces élèves établissent donc un lien de contiguïté, entre le concept de *croisement* et les tubes à essais, qui contiennent en effet les *informations génétiques* d'origines différentes, mises en présence. Remarquons qu'ils mentionnent le concept de *gamètes*, en en citant deux exemples, qu'ils associent par contiguïté (par une relation de contenu à contenant), aux tubes à essais.

On trouve des indices d'une récupération en mémoire, de connaissances relatives à *hybride*, chez deux groupes d'élèves (n° 5 et 7). Ces indices sont relevés, lors de la présentation conjointe du dessin et de l'inscription .

- Le groupe n° 5 cite le terme savant "*hybride*", pour désigner l'animal composite. Il considère que l'inscription "GENETICUS BRICOLIS...", désigne l'animal sous la mention : "bricole du biologiste". Cette traduction correspond à une des significations impertinentes que nous avons attribuées à cet élément écrit. Notons qu'elle ne modifie nullement le "décodage" de la genèse de l'animal, en termes de *croisement*, proposée par ce groupe, avant d'avoir accès à cette inscription.

- Pour le groupe n° 7, le "bricolage [...] génétique" est associé, par similarité, à l'obtention d'un *hybride*. Ce concept est mentionné par reformulation : "un jeune [...] qu'on a obtenu, entre plusieurs animaux". La présentation du titre et du chapeau n'apporte aucun élément d'information permettant de déterminer le devenir de l'interprétation iconique de ces élèves.

• **Les concepts de mutation**

Une de nos "lectures" iconiques a consisté à considérer l'animal comme un *mutant*, issu d'une *mutation* induite par l'utilisation de substances *mutagènes* contenues dans les tubes à essais. Un groupe (n° 8) cite le terme *mutation* pour décrire le phénomène génétique à l'origine de l'animal composite.

Chez ces élèves, ce concept de *mutation* est en outre associé, par contiguïté, aux tubes à essais encadrant l'animal. Les "produits" qu'ils contiennent semblent en effet être liés à la *mutagenèse* qu'a subie l'animal. À la lecture de l'inscription "GENETICUS BRICOLIS...", qu'ils traduisent par "bricolage génétique", ces élèves expliquent la genèse de l'animal, en terme d'une *manipulation génétique*. Ils établissent ainsi, de

audace de
l'impertinence

la fonction
sémantique
de l'inscription
par rapport au
dessin apparaît

manière implicite, une synonymie entre la traduction qu'ils confèrent à l'inscription, et le terme *manipulation génétique*, ce qui confirme la fonction sémantique que nous avons attribuée à cet élément écrit, par rapport au dessiné. Ils adhèrent en outre à notre point de vue, concernant la pertinence du mot "bricolis", dans sa traduction "bricolage", pour désigner l'aspect extérieur composite de l'animal.

• **Le concept de chromosome**

Des indices d'une récupération en mémoire, de représentations relatives au concept de chromosome, apparaissent dans l'interprétation iconique d'un groupe d'élèves (n° 9). Ceci peut être considéré comme une extension, par contiguïté, de notre interprétation iconique du contenu des tubes à essais, en termes de *molécules d'ADN*, ou encore de *gènes*, d'origines animales différentes.

Chez ces élèves, le contenu des tubes à essais, impliqué dans la genèse de l'animal composite, est associé, par similarité, à des "*chromosomes*", et à des "informations, point de vue chromosomique" de genres animaux différents. C'est donc la conjonction de plusieurs motifs iconiques, qui semble provoquer ici, la réactivation d'images mentales relatives au concept de génétique qui nous intéresse.

Remarquons que le dessin semble incapable de réactiver de manière autonome, des conceptions relatives à la *molécule d'acide désoxyribonucléique*.

• **Les concepts d'information génétique et de gène**

On peut trouver, dans les entretiens avec les élèves, des indices d'une réactivation de représentations mentales concernant l'*information génétique*, chez un groupe (n° 9). La présence des tubes à essais à proximité de l'animal composite amène ces élèves à envisager leur rôle, dans la création de l'animal, alors que le dessin est présenté sans l'écrêteau. Ils associent alors, par similarité, les "produits" que contiennent ces tubes, à des :

- "informations" ;
- "informations, point de vue chromosomique", des différentes espèces dont on peut retrouver des traces, dans l'animal composite.

Ces élèves semblent mentionner ainsi, le concept d'*information génétique*, par citation incomplète du terme savant qui le désigne, et par reformulation. La mobilisation de ce concept, pour "décoder" le contenu des tubes à essais, et leur rôle dans la genèse de l'animal dessiné, coïncide avec notre interprétation iconique. Remarquons que le mot "information" est utilisé, par ces élèves, au pluriel, ce qui s'oppose à son bon usage.

Indépendamment de l'inscription, le dessin semble capable d'induire la récupération en mémoire de connaissances se rapportant au concept de *gène*, chez un groupe (n° 4). Ces

le contenu des tubes à essais associé à l'information génétique

LE LIVRE DE NOS GENES

Les progrès de la biologie moléculaire permettent d'envisager l'analyse exhaustive du patrimoine génétique humain : un impressionnant message de 3,5 milliards de "lettres" porté par nos chromosomes. Ce projet, qui nous apprendra sur nous-mêmes beaucoup plus que ce qu'on peut concevoir aujourd'hui, nécessite un effort mondial. Son gigantisme scientifique, son coût, ses conséquences éthiques qui touchent au plus profond de nous-mêmes en font une aventure scientifique sans précédent. Le congrès "Génotype humain" de San Diego (Californie) a réuni, début octobre, quelque 500 spécialistes du monde entier.

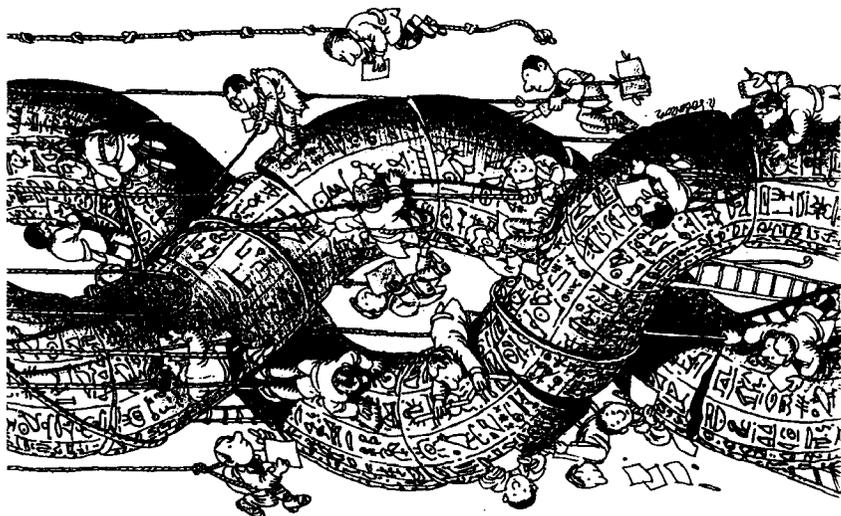
Nos gènes nous gouvernent. Prévoir leurs effets sur des millions de milliards de nos cellules, nous sommes directement de nous-mêmes. Et de notre peau, dirigent la construction de notre corps pendant la vie embryonnaire, produisent les enzymes qui digèrent nos aliments, cicatrisent nos blessures. L'ensemble des gènes, on parle alors de génome, définit totalement l'espèce : il se transmet de père en fils, de mère en fille, de génération en génération. Mais les gènes connus nous renseignent aussi tout simplement sur le travail de notre patrimoine héréditaire consistant en un défi scientifique et technologique formant : lire un jour l'homme à livre ouvert.

Les applications médicales de déchiffrement de nos chromosomes sont les plus nombreuses. Elles permettent de mieux connaître les maladies héréditaires et les gènes responsables des maladies fréquentes comme la myopathie ou la mucopolysaccharidose. Mais les gènes contribuent aussi par exemple notre tension artérielle et l'abaissement des graisses et du cholestérol qui sont responsables de l'infarctus et de l'athérome. Certaines déficiences génétiques peuvent aussi déclencher un cancer. Les gènes prédis-

posent donc à de nombreuses maladies qui ne sont pas encore connues. Si on connaît le gène responsable d'une maladie héréditaire ou bien de prévenir la survenue des maladies à prédisposition héréditaire. On pourra utiliser pour cela certains traitements ou régimes ou à l'avenir profiter des progrès de la chirurgie génétique (voir Science à Vie n° 867, février 1983, p. 70).

Le patrimoine génétique de l'homme est porté par ses chromosomes. Le génome humain est constitué par les chromosomes humains (ADN) une longue molécule qui est elle-même un enchevêtrement de molécules plus petites, appelées nucléotides. L'ensemble des 46 chromosomes humains compte environ 3,5 milliards de nucléotides. Pour réaliser ce qui est appelé, il faut imaginer que, si chaque nucléotide est représenté par une lettre, notre patrimoine génétique ressemblerait à un livre de 300 pages de 300 lettres par page. Le génome humain est donc un livre de 105 000 lettres. Toute l'information qui permet le fonctionnement de l'être humain est un (grand) papier à Crêpe perspective étonnamment légère et ultrafine, mais ne peut laisser indifférent.

Le patrimoine génétique humain peut donc être comparé à un gigantesque livre écrit en quarante-



Dessin de Sabatier "Le livre de nos gènes", Science et Vie, n° 866 (1989)

élèves voient un lien de cause à effet, dans la présence des tubes, à proximité de l'animal composite. Ils associent alors, par similarité de sens, le contenu des différents tubes, à des *gènes* provenant d'animaux différents, confortant ainsi notre interprétation iconique.

La fonction de relais, que l'inscription "GENETICUS BRICOLIS..." assure par rapport au dessiné, amène deux groupes supplémentaires (n° 1 et 3), à mentionner le concept de *gène*. Ces élèves procèdent par citation du terme savant désignant ce concept. Ils attribuent à l'inscription, la signification : "bricolage génétique", qu'ils associent par contiguïté, au concept qui nous intéresse ici. Ces deux groupes semblent par ailleurs envisager différemment la genèse de l'animal.

- Le groupe n° 1 semble considérer que cet organisme composite est créé de toutes pièces par l'assemblage de *gènes* d'origines animales diverses. Ceci traduit une conception du généticien, proche du mythe de l'apprenti-sorcier.

- Pour le groupe n° 3, il semble que l'animal ait existé avant que l'on manipule ses *gènes*, mais que son aspect composite résulte de cette dernière opération. Nous pensons que ces élèves considèrent que ce "bricolage" a consisté à introduire dans le *génome* de l'animal, des *gènes* d'espèces différentes.

Lors de notre analyse de l'image, nous avons également envisagé ces deux virtualités sémantiques. Aucun de ces groupes ne relève cependant le rôle potentiel du contenu des tubes à essais, à ce point de vue.

3.2. Le dessin de Sabatier

- **Reconnaissance de l'isotopie génétique du dessin et concept d'ADN**

Huit groupes (n° 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 et 10) mobilisent l'acronyme *ADN*, pour désigner les deux colonnes entrelacées, confirmant ainsi notre analyse iconique. La structure de ces dernières est explicitement ou non, associée par similarité, à l'image mentale dont les élèves disposent de la *molécule d'ADN*. Le dessin semble donc présenter la capacité de réactiver, indépendamment de l'article de vulgarisation scientifique, ces conceptions relatives au *modèle de la double hélice d'acide désoxyribonucléique*.

Le groupe n° 3 se caractérise par une hésitation à reconnaître la double colonne, pour l'*ADN*. Il établit d'autre part, une analogie entre les échelles dont sont pourvus certains personnages et la structure de l'*ADN*. Ces échelles, que nous avons considérées comme des rimes du signifié génétique de la double colonne, semblent ainsi réactiver chez ces élèves, les conceptions relatives à l'organisation moléculaire des constituants de l'*ADN*. Les deux brins de cette macromolécule peuvent en effet être comparés à une échelle, dont les montants sont constitués par une succession de *désoxyri-*

colonnes
entrelacées,
échelles du
dessin,
association
par similarité
avec l'ADN

bases et de *phosphates*, et dont chaque échelon consiste en l'appariement de deux *bases nucléiques* complémentaires.

La reconnaissance de l'isotopie génétique du dessin est induite par la double colonne, pour les neuf groupes parmi les dix ayant identifié ce registre sémantique sans information issue de l'article. Cette observation confirme également notre analyse sémiologique. La blouse blanche des personnages, reconnue comme indice de scientificité par les dix groupes d'élèves (bien que les groupes n° 6, 7 et 10 aient également considéré les personnages respectivement, comme des *ribosomes*, des *ARN messagers* et des *enzymes de transcription*), y joue également un rôle. La présentation préalable de trois dessins, reconnus par les élèves pour des illustrations ayant un thème génétique, y est très vraisemblablement pour beaucoup, également. Pour les groupes n° 2, 5, 6, 7, 8, 9 et 10, l'acronyme *ADN* est ainsi cité, avant que ne soit précisée l'identité scientifique des personnages : la blouse blanche de ces derniers a donc probablement joué, pour ces élèves, un rôle d'ancrage de l'isotopie génétique. Pour les autres élèves, il semble que ce motif iconique joue un rôle d'amorce, en pourvoyant l'image d'un signifié scientifique.

Le groupe n° 4 ne mentionne pas le concept d'*ADN*. Il identifie cependant l'isotopie génétique, en reconnaissant les entrelacs des colonnes pour une mise en image du concept de croisement et vraisemblablement partant, de *manipulation génétique*.

Les groupes n° 5, 6, 8 et 9 mettent à profit des caractéristiques de l'isotopie de référence, égyptologique, pour apporter des précisions complémentaires à la similarité de sens établie entre la double colonne et la molécule d'*ADN*. Les groupes n° 5 et 8 comparent ainsi l'ancienneté de l'écriture égyptienne ornant les colonnes, avec le caractère immémorial de l'existence de l'*ADN*. Le groupe n° 6 compare le déchiffrement des hiéroglyphes, avec l'élucidation de la "fonction de l'*ADN* [du point de vue de l'hérédité]". Ce groupe établit également une similitude entre l'Ancienne Égypte, comme "berceau de la civilisation", et l'*ADN*, en tant que "centre" de "commencement de la vie". Les élèves du groupe n° 9 établissent un rapprochement entre l'analyse de l'*ADN*, et le décodage de l'écriture hiéroglyphique. Ils comparent ainsi les généticiens, au génial Champollion. Le groupe n° 7 compare lui aussi les personnages scientifiques à l'égyptologue. Ces élèves associent par similarité, les hiéroglyphes, et l'alphabet *héréditaire* inscrit sur les *chromosomes*, en se basant sur leur commune nature ancestrale.

• **Le concept d'information génétique**

Le dessin semble réactiver, de manière autonome, les représentations mentales ayant trait à l'*information génétique*, chez trois groupes (n° 6, 7 et 9). Les hiéroglyphes de la double colonne sont ainsi associés par similarité de sens,

exploitation de
l'isotopie
de référence
égyptologique

aux "informations" inscrites sur l'ADN. Les groupes n° 6 et 7 proposent en outre, une reformulation du terme savant renvoyant à ce concept. En invitant à l'association sémantique un hiéroglyphe/une *information génétique*, le dessin risque cependant d'induire ou de conforter une modélisation erronée de ce concept. Le terme *information génétique* ne désigne pas un message héréditaire, mais l'ensemble des messages inscrits dans l'ADN. Cette *information* est contenue dans la succession des *bases nucléiques*, qui détermine les *codons* et partant, les *gènes*. Il serait donc plus exact de comparer l'ensemble des hiéroglyphes à l'*information génétique* (et de considérer chacun de ceux-ci comme une *base nucléique*, un *codon* ou un *gène*).

• **Les concepts de base nucléique, de séquence de l'ADN**

les blocs de
colonne associés
aux bases
nucléiques
mais...

Indépendamment de l'écrit, le dessin semble avoir amené un groupe d'élèves (n° 9), à mobiliser leurs conceptions de base nucléique. Ces élèves associent en effet, par similarité de sens, le terme "*bases*" et l'initiale des quatre *bases nucléiques* de l'ADN (symboles "A", "G", "T" et "C"), aux blocs de la double colonne, préalablement comparée à l'ADN. Nous pensons que les blocs ont évoqué la représentation plane des *noyaux puriques* et *pyrimidiques* des *nucléotides* de l'ADN. Conjointement, la superposition des segments de colonne a été associée, par similarité, à la *séquence de l'ADN*, définie à juste titre par ces élèves, comme la "succession des *bases* [...], des A, G, T, C". Ces deux interprétations iconiques sont inédites au sein de l'échantillon d'élèves interrogés, et originales par rapport à notre "lecture" de l'image. Elles constituent donc un exemple de pensée divergente. Nous avons fait intervenir ces deux concepts de génétique, dans l'interprétation du dessin, mais les avons associés, par similarité, à des motifs iconiques différents. En effet, chaque hiéroglyphe avait été comparé à une *base nucléique*, et leur succession sur la double colonne, à la *séquence de l'ADN*.

... le décodage
des élèves
manifeste
une conception
confuse des
relations de
hiérarchie entre
les deux
concepts

Ces élèves ont par ailleurs comparé implicitement les hiéroglyphes inscrits sur les blocs, à l'*information génétique*. Or, le concept d'*information génétique* englobe celui de *base nucléique* (associé aux blocs), et non l'inverse, comme pourrait le suggérer le "décodage" iconique des élèves. Cette conception confuse des relations de hiérarchie existant entre ces deux concepts, nous semble liée au modèle mental erroné dont ces élèves disposent pour le concept d'*information génétique*.

• **Le concept de code génétique**

Le discours d'un groupe d'élèves (n° 2), face au dessin présenté sans son environnement linguistique, présente des indices d'une réactivation des modèles mentaux relatifs au *code génétique*.

lien de contiguïté
hiéroglyphes
code génétique

Ces élèves citent en effet le terme savant renvoyant à ce concept, et l'associent aux hiéroglyphes inscrits sur la double colonne, reconnue pour l'ADN. Il semble qu'il s'agisse là d'un lien de contiguïté, les hiéroglyphes étant considérés comme des éléments constitutifs du *code génétique*. Néanmoins, les élèves ayant également cité le terme "codes génétiques" (au pluriel), il se pourrait également que chacune des inscriptions codées soit associée par similarité, au concept de *code génétique*, ce qui serait conceptuellement erroné. Rappelons que le *code génétique* est le système de correspondance entre les *bases nucléiques* de l'ADN et partant, de l'ARN *messenger*, et les *acides aminés des polypeptides*. La mobilisation du concept de *code génétique* amène ces élèves, par contiguïté, à adhérer à notre interprétation des hiéroglyphes. Nous avons, dans cet esprit, comparé les hiéroglyphes aux *codons* de l'ADN complémentaires de ceux de l'ARN *messenger*.

• **Les concepts d'allèle et de gène**

On retrouve, dans les propos de deux groupes d'élèves (n° 6 et 7), des indices d'une réactivation de conceptions relatives aux concepts d'*allèle* et de *gène*. L'intervention de ce concept, pour décoder le dessin, est originale, par rapport à notre "lecture" iconique.

Ces élèves comparent par similarité de fonction, les personnages transmettant les informations (génétiques) des colonnes/ADN, à des *allèles*, mais également à des *gènes*. Il s'agit là d'une interprétation inédite de l'identité des personnages, tant au sein de l'échantillon d'élèves interrogés, que du point de vue de notre analyse de l'image, montrant que ces élèves font preuve d'un mode de pensée "divergent". Par la suite, ils attribuent néanmoins (implicitement) aux personnages, une identité de scientifique.

• **Concepts d'ARN et d'ARN messenger**

Lors de la présentation du dessin sans signes linguistiques, l'acronyme ARN apparaît dans le discours narratif de trois groupes (n° 3, 7 et 10).

Le groupe n° 3 associe par similarité, les colonnes à l'ARN. Ces élèves marquent par ailleurs une hésitation à également reconnaître les colonnes pour l'ADN.

interprétation de
l'activité des
personnages

Le groupe n° 10 associe quant à lui par voisinage sémantique, l'ARN et la double colonne reconnue pour l'ADN. Ces élèves comparent en effet l'activité des personnages, à celle des *enzymes* de la *transcription du message génétique*. Ils évoquent ainsi, par reformulation, le rôle de l'ARN *polymérase*, qui défait (localement) les *ponts hydrogène* entre les *bases complémentaires* de l'ADN, afin d'accéder à l'un des deux brins, pour la synthèse d'une *molécule d'ARN* complémentaire. Ce groupe propose cependant une interprétation polysémique de l'identité des personnages. Le port de la

blouse blanche situe en effet ces derniers, dans la sphère médicale.

Le terme *ARN messenger* a été cité par un groupe d'élèves (n° 7), alors que le dessin était proposé sans signes linguistiques. Ces élèves ont associé, par similarité de fonction, les personnages transmettant et traduisant les informations (génétiques) de la double colonne/ADN, à ce concept de génétique moléculaire.

- **Les concepts de transcription et de traduction du message génétique (syn. : protéosynthèse), d'ARN polymérase, de ribosome et d'acide aminé**

La *transcription* et la *traduction du message génétique* ont été mentionnées alors que le dessin était présenté sans information écrite, par un groupe d'élèves chacun, respectivement le n° 10 et le n° 6. Ces deux concepts ont été associés, par similarité, à l'activité des personnages.

En ce qui concerne la *transcription du message génétique*, le cas du groupe n° 10 a déjà été discuté lorsqu'il a été question du concept d'*ARN messenger*. Rappelons que ce groupe a mentionné, par reformulation, l'*ARN polymérase*.

Le groupe n° 6 cite le terme de *protéosynthèse*, pour dénommer l'activité des personnages, qui sont ainsi, par similarité de fonction, comparés à des *ribosomes* déchiffrant la double colonne/ADN. Nous devons signaler ici que le dessin pourrait induire ou ancrer des conceptions erronées, en laissant penser que la *traduction du message génétique* se déroule au départ de l'ADN et dans le *noyau*, alors que celle-ci a lieu dans le *cytoplasme*, à partir d'une *molécule d'ARN messenger* codée par l'ADN.

3.3. En conclusion... vers des exploitations didactiques

On peut conclure des résultats de cette investigation qualitative auprès de vingt élèves de l'enseignement secondaire, qu'à la suite d'un processus d'apprentissage, les dessins d'humour de Durkheim et de Sabatier possèdent la potentialité de mobiliser les modèles mentaux qu'ont élaborés les élèves, à propos d'un nombre important de concepts de génétique. Nous mettons ceci en relation avec la polysémie du dessin, qui condense plusieurs concepts en un même motif iconique, et multiplie également les mises en image d'un concept scientifique donné, au travers de plusieurs éléments du dessiné. Les élèves ont été nombreux à "décoder" la polysémie de l'image. Pour ne reprendre que quelques exemples, le groupe n° 7 a ainsi associé, par similarité, les personnages, à des scientifiques, mais aussi à des *molécules d'ARN messenger*. Le groupe n° 3 a reconnu l'ADN, dans la double colonne et dans les échelles des personnages.

les dessins
d'humour
mobilisent les
modèles
mentaux des
élèves

4. APRES L'ÉCHO DES POTENTIALITÉS COMMUNICATIONNELLES DU DESSIN D'HUMOUR DE VULGARISATION SCIENTIFIQUE, NOTRE PROPOSITION : L'INTRODUCTION DU DESSIN D'HUMOUR DANS L'APPRENTISSAGE

Depuis une vingtaine d'années, la psychologie cognitive accorde une place importante à l'activité d'imagerie mentale, dans les processus d'élaboration de la connaissance et de la modélisation. Le dessin d'humour à thème scientifique semble constituer un excellent catalyseur de ce type d'activité cognitive. Nous avons en effet montré que son "décodage" suscite chez l'élève, la réactivation de représentations mentales de concepts, en principe appris. Au départ d'une ou de plusieurs mises en relation ponctuelles d'un motif iconique et d'un élément appartenant au registre sémantique de la science, la traduction du message scientifique relève d'une intégration progressive des relations de voisinage et d'inclusion entre les éléments du dessiné décodés, et ceux qui ne le sont pas encore. Ainsi, lors des entretiens semi-directifs, le groupe n° 6 découvre l'isotopie génétique du dessin de Sabatier, en reconnaissant la double colonne, pour l'ADN. De là, il compare les hiéroglyphes inscrits sur ce monument, à l'*information génétique* portée par l'ADN. Les personnages s'activant autour de la double colonne, sont alors comparés à des *ribosomes* se livrant à la *protéosynthèse*. Se voient donc progressivement réactivées, des conceptions adjacentes, au sein de la structure cognitive qui organise les représentations mentales de l'élève. Le décodage intégré des divers motifs du dessiné, innerve progressivement ce "réseau relationnel", dont les "*nœuds*" se composent des concepts scientifiques et des propriétés spécifiques qui leur sont attribuées, et les "*arcs*", des relations établies entre concepts (Richard et al 1990). Il s'établit dès lors une dialectique, une relation dynamique, entre la "*récupération* [...] *en mémoire*" de ces informations, et le "*transfert*" de celles considérées comme pertinentes, sur le donné iconique (Richard et al, 1990 ; Hameline, 1979).

le décodage
iconique
catalyse la
réactivation de
représentations
mentales de
concepts

Dans les lignes qui suivent, nous proposons quelques pistes de réflexion concernant l'utilité didactique du dessin humoristique de vulgarisation scientifique, en classe de biologie. Nous désirons convaincre ceux qui verraient dans la polysémie de ces images, un risque de véhiculer ou d'ancrer chez les élèves, des conceptions déformées, ambiguës, voire erronées, que ce registre iconique peut se révéler d'une grande utilité, pour l'enseignant qui sait désamorcer ce piège, en étant à l'écoute des interprétations élaborées par ses élèves, et des représentations mentales que celles-ci traduisent. Une analyse détaillée préalable du dessin d'humour que l'enseignant se propose d'inclure dans un programme édu-

catif, et des conceptions erronées qu'elles peuvent générer ou renforcer chez l'apprenant, est donc primordiale.

4.1. Évaluation des connaissances de l'apprenant et recueil de ses représentations initiales

le dessin
d'humour
comme outil
d'évaluation ou
de recueil de
représentations

L'investigation menée auprès de vingt élèves de l'enseignement secondaire, postérieurement à une séquence d'apprentissage de la génétique moléculaire, nous a convaincus que l'analyse de la structure de l'interprétation d'un dessin d'humour, élaborée par l'apprenant, peut constituer, pour l'enseignant, un outil efficace d'évaluation formative et sommatrice, des connaissances de celui-ci.

D'autre part, nous avons l'intuition que ce type de document iconique, serait un excellent outil, en classe de biologie, pour recueillir les représentations initiales de l'élève, ce qui constitue une étape indispensable, pour toute phase d'apprentissage. On ne peut en effet faire progresser l'apprenant que si l'on part de ses représentations et que si on les travaille, comme le dit Meirieu (1987) *"au sens où un potier travaille la terre, c'est-à-dire non pour lui substituer autre chose, mais pour la transformer"*.

L'analyse intégrée de la signification attribuée par l'élève, à l'ensemble des motifs dessinés, permet en effet à l'enseignant, de faire émerger le réseau relationnel que l'apprenant a élaboré entre les divers concepts savants mobilisés lors de sa "lecture" iconique. Il peut ainsi en dégager les confusions, les lacunes et les erreurs conceptuelles, dans l'optique :

- d'une remédiation, en cours ou en fin d'une séquence d'apprentissage ;
- de la préparation d'une séquence d'enseignement, ancrée sur les conceptions initiales des élèves.

4.2. Du lubrifiant didactique, au point d'appui dans l'apprenant

mais aussi
intégré à
l'apprentissage,
comment ?

Chez les élèves que nous avons rencontrés lors de notre investigation, le dessin d'humour, et en particulier la perspective de voir intégrée cette catégorie d'images, dans un processus d'apprentissage en biologie, a suscité beaucoup d'enthousiasme. Cette observation nous incite à penser que le dessin humoristique de vulgarisation scientifique pourrait constituer, pour l'enseignement secondaire de la biologie, ce que Gentilhomme (1988) dénomme un *"lubrifiant didactique"*. Ces documents iconiques pourraient en effet entretenir *"[...] un état d'esprit favorable au processus de perception du message [de l'enseignant], comme la goutte d'huile capable de débloquent un mécanisme qui se grippe, [...] en atténuant les forces de frottement - en l'occurrence : de lassitude, de désintérêt, d'anxiété..."* (Gentilhomme, 1988).

Le dessin d'humour a provoqué l'amusement des élèves interrogés. Or, on sait grâce aux recherches concernant la mémoire, l'influence favorable sur l'apprentissage et les

l'interprétation
iconique
implique
les élèves
personnellement

ancrages mémoriels, des réactions émotionnelles positives. Jacquinet (1977) insiste sur la *“force mobilisante de l'affectivité”*, et l'importance du ludique dans l'apprentissage. Nous sommes convaincues que la composante émotionnelle du dessin d'humour, permettrait d'ajouter du plaisir à l'apprentissage en biologie. Mais au-delà d'un simple adjuvant didactique, nous pensons qu'il serait possible d'introduire l'humour iconique en classe, pour greffer un apprentissage sur le plaisir.

Des éléments, issus de la théorie de l'image, renforcent cette hypothèse didactique. Selon Vezin (1991), les phénomènes de projection et d'identification, inhérents à la réception d'une image, peuvent en effet constituer un élément-clé de la motivation de l'apprenant. Un apprentissage axé sur un document iconique, peut s'en trouver facilité. L'interprétation iconique donne à l'élève *“[...] l'occasion de s'impliquer très personnellement dans l'élaboration de ses représentations et de ses connaissances”* ; il peut ainsi conférer une orientation personnelle, contextualiser d'une façon qui lui est propre, le savoir qu'il lui est proposé de construire à partir de l'image (Vezin, 1991).

Les illustrations des *manipulations génétiques*, que nous avons proposées à l'échantillon de vingt élèves, constituent des mises à caution, des actes critiques par rapport à ce domaine de la recherche scientifique et à ses acteurs. Ces dessins nous semblent avoir rencontré les adolescents interrogés, en syntonie avec leur état psychologique conflictuel par rapport à l'Autorité. Nous avons en effet relevé des propos acerbes, ironiques ou *“gentiment”* moqueurs, chez plusieurs groupes d'élèves. Il s'est ainsi établi une connivence, via l'impertinence des messages iconiques, entre les dessinateurs et certains élèves interrogés oralement. Nous en avons relevé quelques exemples, dans les lignes qui suivent. L'interprétation des dessins d'humour de vulgarisation scientifique, a donné aux élèves, droit de cité dans le cadre scolaire, à leurs représentations critiques du pouvoir que détiennent les généticiens. En outre, face au *“sentiment d'inquiétante étrangeté”* se dégageant de ces images, les élèves ont pu formuler leurs fantasmes en relation avec le mythe de l'apprenti sorcier, crainte qui nous semble largement entretenue par la littérature et les films de science-fiction que certains élèves ont par ailleurs mentionnés (Freud, 1967 ; Jacobi, 1987). Cette dimension socio-affective du dessin d'humour, constitue à notre sens un point d'ancrage pour articuler un apprentissage en génétique. Axée sur les conceptions initiales des élèves, une réflexion concernant les limites du génie génétique, pourrait associer l'apprentissage de concepts scientifiques, et une démystification du savant.

Meirieu (1987) affirme qu'*“une activité cognitive [...] ne peut se passer de l'énergie du désir qui lui donne vie et force”*. Nous pensons que le dessin d'humour de vulgarisation scientifique pourrait constituer ce que cet auteur désigne

le dessin
d'humour
de vulgarisation
scientifique crée
une énigme
propre à mettre
l'élève en état
de désir

comme un *"point d'appui dans l'apprenant [...] où placer un levier [...]"* pour l'apprentissage. Selon Meirieu, la tâche du maître consiste à faire émerger le désir d'apprendre, en créant l'énigme, ou plus exactement en faisant *"du savoir une énigme"*, afin de susciter l'envie de son *"dévoilement"*. Le dessin d'humour à thème scientifique se présente comme un message codé, une énigme qu'il s'agit de déchiffrer, afin de partager le sourire du dessinateur, voire le regard satirique qu'il porte sur la science. L'enjeu mobilisateur consiste donc à ressentir le plaisir de transgresser l'autorité scientifique.

Meirieu (1987) insiste sur le fait que l'élève, mis en face de l'énigme, doit avoir le sentiment que celle-ci est *"à la fois accessible et difficile"*. Il ne doit donc pouvoir *"en faire d'emblée le tour, ni disposer à l'avance de la solution"*, afin d'éprouver le désir de *"se mettre en route pour percer le secret"*. Le dessin d'humour de vulgarisation scientifique nous paraît répondre à cette exigence. Nous avons en effet l'intuition que tout élève, préalablement à l'apprentissage, *"se sent en mesure, même timidement, même médiocrement, d'apporter un peu de lumière"* sur le message scientifique, ancré dans le concret et le familier, que recèle cette catégorie d'images (Meirieu, 1987). Ceci n'est qu'exceptionnellement le cas des documents visuels traditionnellement utilisés en pédagogie, face auxquels l'élève ne peut proposer de "décodage" personnel. La crainte qu'il peut éprouver de commettre une erreur d'interprétation, peut constituer un obstacle à l'apprentissage.

La polysémie, inhérente au dessin d'humour, ouvre au plaisir du jeu des interprétations individuelles. Nous pensons qu'inviter les apprenants à "décoder" un dessin d'humour à thème scientifique, et à partager leurs vues au sein de la classe, peut les amener à réorganiser, à affiner, à enrichir leurs conceptions, en écoutant le point de vue d'autrui. Au lieu de fixer des limites au sens, ce registre d'images repousse les frontières de l'interprétation et ce faisant, peut élargir le réseau des concepts scientifiques mobilisés par l'élève, pour le "décodage" iconique. En outre, la pluralité des "lectures" iconiques, permet de multiples associations de concepts scientifiques, par similarité et contiguïté. Le réseau cognitif de l'élève, peut alors s'enrichir de nouvelles connections entre des concepts jusque là cloisonnés.

4.3. Une fonction de médiation pour l'apprenant, entre le message linguistique de l'enseignant et l'élaboration d'images mentales de concepts de biologie

Nous pensons que le dessin d'humour de vulgarisation scientifique peut jouer pour l'élève, un rôle dans la compréhension et l'apprentissage d'un message linguistique, en classe de biologie, que celui-ci soit véhiculé oralement ou

les dessins,
ancrage visuel,
figures de
rhétorique à
conjuguer avec
le discours de
l'enseignant pour
la construction
de concepts

par écrit (discours de l'enseignant, manuel didactique, article scientifique proposé par le maître...). Cette catégorie d'images prend en effet en considération, la figurabilité des concepts scientifiques, par essence abstraits, pour en donner une traduction visuelle. Il peut dès lors assurer une fonction de médiation, dans l'élaboration d'une image mentale des éléments du savoir. Les blocs de la double colonne du dessin de Sabatier, couverts d'inscriptions hiéroglyphiques, pourraient ainsi convenir pour faciliter l'appréhension et l'assimilation du concept de *gène*, comme segment d'ADN porteur d'une unité d'*information génétique*. Les personnages transcrivant la succession des hiéroglyphes, comparés à des *nucléotides*, pourraient jouer le même rôle vis-à-vis du concept de *séquençage* de l'ADN. Ces dessins pourraient également constituer des ancrages visuels, des figures de rhétorique (métaphores et métonymies), à valeur explicative, que l'enseignant est amené à introduire dans son discours, comme points de repère pour l'apprenant, en terrain inconnu. Ainsi, les échelles des personnages du dessin de Sabatier, pourraient servir de point d'ancrage pour expliquer l'organisation moléculaire en "échelle", des constituants de la *molécule d'ADN*. Il faut bien évidemment, se méfier des distorsions et des réductions de sens, qu'une illustration, au même titre par ailleurs qu'une métaphore ou une métonymie, peut apporter à un concept de biologie. À charge de l'enseignant d'être vigilant sur ce point, et de savoir désamorcer ces pièges, par l'intermédiaire de la parole, et d'une multiplication de documents iconiques, de natures diverses, mettant l'accent sur des facettes différentes du concept illustré.

4.4. Un outil de socio-construction du savoir

En classe de science, donner régulièrement l'occasion à l'apprenant, d'exposer sur le mode narratif, son interprétation d'un dessin d'humour de vulgarisation scientifique, à ses pairs, nous paraît pouvoir constituer une activité pouvant l'aider à clarifier et à (ré)organiser ses connaissances scientifiques. Développer cette capacité de traduction, de verbalisation d'un message visuel, serait transposable à d'autres disciplines scolaires. La polysémie du dessin d'humour se verrait alors attribuer ses lettres de noblesse. En effet, la diversité des décodages potentiels qu'offrent ces documents visuels, pourrait être exploitée par l'enseignant dans une gestion des confrontations des interprétations élaborées par chacun des élèves. Ceci pourrait en effet provoquer chez ces derniers, des "*conflits de centration*", tels que nous avons pu en observer lors des entretiens semi-directifs menés avec des groupes de deux élèves (Richard et al, 1990). Mettre en place ce que Meirieu (1987) nomme "*une dialectique du soi et de l'autre*", c'est-à-dire inviter les élèves à écouter le point de vue d'autrui, à l'adopter "*sans pour autant renoncer à être soi*", constitue une "*décentration*". La

l'élève amené
à verbaliser en
classe sa lecture
d'un dessin

psychologie cognitive en a montré le caractère essentiel, dans l'acquisition de nouvelles connaissances, de par la réorganisation des conceptions de l'apprenant qu'elle est susceptible de provoquer (Richard et al, 1990). La confrontation à des opinions divergentes, favorise en outre la polémique et l'intérêt, et constitue un apprentissage de la socialité et de la tolérance. Cette utilisation didactique du dessin d'humour viserait ainsi tant une gymnastique intellectuelle, qu'une attitude morale. Elle constituerait dès lors un adjuvant de la socio-construction d'un savoir.

Pascale CORTEN-GUALTIERI
Anne-Marie HUYNEN
Laboratoire de Pédagogie des sciences
Louvain-la-Neuve, Belgique

BIBLIOGRAPHIE

- BAKHTINE M. (1970). L'œuvre de F. Rabelais et la culture populaire au Moyen-Âge et sous la Renaissance, trad. ROBEL A., Paris, Gallimard.
- BARTHES R. (1964). "Éléments de sémiologie", *Communications*, n° 4, Paris, Seuil, pp. 91-135.
- BARTHES R. (1964). "Rhétorique de l'image", *Communications*, n° 4, Paris, Seuil, pp. 40-51.
- CORTEN-GUALTIERI P. et HUYNEN A.-M. (1992). "Où le dessin se rit de la génétique", *Humoresques*, n° 3 ("L'image humoristique"), Nice, Z'éditions et CORHUM, pp. 89-96.
- CORTEN-GUALTIERI P. et HUYNEN A.-M. (1992). "Quand le grand projet de la génétique se fait escalade d'humour", *Les Cahiers du CRELEF*, n° 33 ("Parlons d'humour : Approches linguistique, psychologique et didactique"), Besançon, Université de Franche-Comté, Centre de Recherches en Linguistique et Enseignement du Français, pp.75-90.
- CORTEN-GUALTIERI P. (1993). "Quand la génétique se fait escalade d'humour... Petite histoire d'une grande métamorphose", *Actes des XVèmes Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifiques et Industrielles* ("Science et Technique en spectacle"), A. Giordan, J.L. Martinand et D. Raichvarg Éditeurs, Paris, pp. 461-468.
- FRESNAULT-DERUELLE P. (1993). *L'éloquence des images*, Paris, PUF.
- FREUD S. (1967). *L'interprétation des rêves*, Paris, PUF, (première édition allemande, 1900).

- GENTILHOMME Y. (1988). "Les lubrifiants didactiques", *Humoresques*, tome 2, (Actes du colloque "L'humour d'expression française", Paris, 27-30 juin 1988), Nice, Z'éditions, pp. 84-91.
- HAMELINE D. (1979). *Les objectifs pédagogiques en formation initiale et continue*, Paris, Éditions ESF.
- JACOBI D. (1987). *Textes et images de la vulgarisation scientifiques*, Berne, Éditions Peter Lang, Coll. "Exploration", Série "Recherches en sciences de l'éducation".
- JACQUINOT G. (1977). *Image et pédagogie*, Paris, PUF, Coll. "L'éducateur".
- JACQUINOT G. (1988). "Pas sage comme une image ou de l'utilisation des images en pédagogie", *Bulletin de psychologie*, n° 386, pp. 603-609.
- JAKOBSON R. (1963). *Essais de linguistique générale*, Paris, Minuit.
- KOESTLER A. (1964). *The act of creation*, Londres, Hutchinson.
- LEVY-LEBLOND J.-M. (1992). (entretien avec) "Savoir... rire de/dans la science", propos recueillis par O. Dargouge, *La Recherche*, n° 244, pp. 682-683.
- MEIRIEU P. (1987). *Apprendre... oui, mais comment ?* Paris, Éditions ESF.
- MORIN V. (1970). "Le dessin humoristique", *Communications*, n° 15, pp.110-132.
- MOUNIN G. (1980). "Sémiologie et photographie scientifique", *Semiotica*, La Haye, Mouton, vol.30, n° 3/4, pp. 327-332.
- PEIRCE C.S. (1978). *Écrits sur le signe*, Paris, Seuil.
- RICHARD J.-F. et al. (1990). *Traité de psychologie cognitive 2*, Paris, Bordas.
- TARDY M. (1975). "La fonction sémantique des images", *Études de Linguistique Appliquée*, n° 17, pp.19-43.
- TARDY M. (1984). "Autour d'un dessin : le texte (?), le lecteur (?) et le chercheur (!)", *Langages*, n° 75, pp. 77-82.
- TARDY M. (1988). "J'ai regardé ce dessin... ou le voyage de noces des isotopies", *Bulletin de Psychologie*, n° 386, pp. 611-615.
- VEZIN L. (1991). "Coordination du figuratif et du verbal chez des enfants de CE1 et CM1", *Les Sciences de l'éducation*, n° 4, pp.13-24.
- ZIV A. (1979). *L'humour en éducation. Approche psychologique*, Paris, Éditions ESF, Coll. "Science de l'éducation".

ZIV A. (1980). "Humor and creativity", *The Creative Child and Adult Quarterly*, n° 5, pp. 159-170.

ZIV A. (1983). "The influence of humorous atmosphere on divergent thinking", *Contemporary Educational Psychology*, n° 8, pp. 65-75.