

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."

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.

... tout comme
la vie

(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

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

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

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" ?

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

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

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 béccher 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