ENSEIGNER LES FOSSILES À L'ÉCOLE PRIMAIRE

Colette Gouanelle
Patricia Schneeberger

Au cycle 3 de l'école élémentaire (enfants de 9 à 11 ans), les programmes prévoient l'étude des traces de l'histoire des êtres vivants, les fossiles. *Les réponses collectées en interrogeant des élèves de ce niveau sur la nature, l'âge et la formation des fossiles font apparaître des représentations qui souvent font obstacle à la compréhension des principes de la paléontologie.*
L'histoire de la géologie révèle des similitudes entre les représentations des enfants et certaines théories explicatives concernant les fossiles. L'analyse des obstacles qu'il a fallu franchir pour que les idées sur les fossiles évoluent peut aider à mieux cerner les difficultés que rencontrent les enfants dans la construction du concept de fossile.
Après avoir défini les objectifs-obstacles, nous présenterons quelques situations susceptibles de faire évoluer les représentations des enfants sur les fossiles et l'histoire des êtres vivants.
Par ailleurs, de nombreux enseignants négligent cette partie du programme alors que les enfants sont très intéressés par ces questions. Pour encourager les instituteurs à enseigner l'histoire des êtres vivants, nous proposons aussi bien en formation initiale qu'en formation continue un module consacré à l'enseignement/apprentissage du concept de fossile. Nous présenterons ce module en précisant comment il est conduit par les formateurs et comment il est perçu par les formés.

Les grands Reptiles du secondaire fascinent les enfants et leur succès est accru par l'influence des médias et de diverses manifestations culturelles ou commerciales (films, émissions télévisées, expositions...). L'enseignant ne peut ignorer cet engouement, il peut au contraire profiter de l'intérêt que suscitent les monstres disparus pour proposer aux élèves une étude objective des fossiles, dans le cadre des activités scientifiques.

l'intérêt de l'enseignement de la géologie à l'école primaire :

Cette étude, inscrite au programme du cycle 3, est indispensable car la plupart des élèves ignorent l'interprétation scientifique actuelle des fossiles et admettent tout simplement l'idée d'évolution du vivant. On pourrait croire qu'ils connaissent cette théorie alors qu'ils l'acceptent comme un dogme, qu'ils ne remettent pas en cause. Or un des objectifs de l'enseignement des sciences à l'école élémentaire est de favoriser l'acquisition de l'esprit critique, ce qui suppose qu'on présente aux élèves les théories scientifiques en leur montrant les arguments qui les fondent et les domaines où elles s'appliquent. En ce sens, l'étude des fossiles constitue une piste intéressante pour aborder l'évolution du vivant et appréhender le statut des théories scientifiques.

développement de l'esprit critique et apprentissage conceptuel

L'enseignement de la géologie permet donc d'associer une dimension critique à l'apprentissage conceptuel et présente ainsi un double intérêt. À ce titre, il est important que les enseignants ne négligent pas cette partie du programme. Pour organiser leur enseignement, ils ont besoin d'outils et nous avons mis en place, dans ce domaine, un dispositif de formation que nous nous proposons de décrire. À propos de l'enseignement du concept de fossile, nous essayons aussi de montrer comment le modèle constructiviste, dont nous nous réclamons, peut être mis en œuvre.

1. DES CONCEPTIONS FRÉQUENTES CHEZ LES ÉLÈVES

Plusieurs situations nous ont, depuis une dizaine d'années, permis de faire émerger des représentations d'élèves de CM sur les fossiles et la fossilisation. Nous présenterons un certain nombre de réponses que nous avons analysées.

1.1. Les situations mises en œuvre

Classe n° 1 : réponses orales recueillies, au début des années 1980, dans une classe de CM2 (enfants de 10 et 11 ans, en 5ème année d'école primaire) au cours d'une discussion motivée par l'observation de roches calcaires, contenant des fossiles et apportées par des enfants. Il s'agissait de réponses à la question *"Pour vous, qu'est-ce qu'un fossile ?"*
Toutes les idées émises ont été notées au tableau, au fur et à mesure de leur formulation.

- Classe n° 2 : réponses écrites des élèves d'une classe de CM (enfants de 9 à 11 ans) à la question *"Comment se forment les fossiles ?"*. Cette question a été posée au retour d'une visite d'exposition sur les fossiles de la région, intitulée *"Il y a ... 135 millions d'années de la Provence à l'Aquitaine"* ; cette exposition était réalisée autour des fossiles du plateau de Canjuers par le Muséum d'Histoire Naturelle de Bordeaux, durant l'année scolaire 1985-1986. Elle abordait les questions de l'évolution des êtres vivants et l'étude des paléomilieux ; un panneau était consacré à la fossilisation.

qu'est-ce qu'un fossile pour un élève de l'école élémentaire ?

Les élèves ont répondu individuellement en s'exprimant, à la demande du maître, par une bande dessinée, le plus souvent explicitée par quelques phrases.

- Classe n° 3 : recueil de données réalisé durant l'année scolaire 1991-1992. À partir de l'observation de fossiles contenus dans des fragments de roches calcaires et apportés par les élèves, la question *"Comment se sont formés ces fossiles ?"* a été posée.

Les élèves se sont exprimés sous la même forme que dans la classe précédente.

des réponses dans une variété de situations

- Classes n° 4 et n° 5 : recueils réalisés durant l'année scolaire 1994-95. Il s'agit de réponses d'élèves de CM2 (enfants de 10 et 11 ans) de deux classes différentes, la consigne donnée étant : *"Explique comment se forme un fossile (sous forme de texte ou de dessins)"*. Cette question fait partie d'un prétest effectué avant la visite des élèves à l'exposition du Muséum d'Histoire Naturelle sur les Dinosaures. Cette exposition présentait notamment des maquettes animées mais aussi des panneaux explicatifs, dont un sur la fossilisation.

L'analyse des réponses nous a permis d'appréhender les conceptions de certains de ces élèves.

1.2. Analyse des réponses

Les réponses des élèves de la classe n°1 ont été retranscrites dans le document 1.
Les réponses obtenues dans les classes n° 2 à 5 ont fait l'objet d'une analyse retranscrite dans le tableau du document 2.

Document 1. Inventaire des réponses à la question :
« Pour vous, qu'est-ce qu'un fossile ? »

C'est une marque déposée sur une pierre calcaire ou une roche, par un os, la coquille d'un coquillage, des ossements d'animal et conservée depuis des millions d'années.

C'est l'empreinte d'un coquillage placée dans la roche.

C'est une pierre fragile trouvée en creusant la roche.

C'est une pierre sur laquelle est déposé un insecte, une feuille ou une coquille et qui prend sa forme.

C'est un coquillage qui s'est incrusté sur une pierre et qui y est resté plusieurs millions d'années et y a laissé une marque.

C'est une chose (coquillage, insecte, ossements, poisson) qui est restée longtemps sur une roche et s'y est dessinée.

C'est une marque dans les roches au bord des rivières (poisson, insecte).

C'est une pierre molle ou dure, l'homme préhistorique s'en servait en la taillant.

C'est, par exemple, un oiseau qui s'est posé sur la roche ; des années après, il s'est imprimé dans la pierre.

C'est un objet (animal, poisson, insecte, végétation) resté 100 ans sur la roche ; l'empreinte y est restée.

C'est un coquillage posé sur une roche humide, qui reste assez longtemps et, quand il part, il reste sa trace.

Document 2. Fossiles et fossilisation au C.M.

Conceptions répertoriées des élèves	Classe n° 2 31 élèves	Classe n° 3 27 élèves	Classe n° 4 24 élèves	Classe n° 5 23 élèves	Total 105 élèves
- pas d'explication	1		13	7	20 %
- explications confuses	5	3	5	3	15 %
- le fossile est une pierre (pas d'être vivant à l'origine)		1	1	3	5 %
- l'animal meurt de mort naturelle ou de vieillesse	4	12			15 %
- l'animal meurt par impact de météorite ou de volcan	1	1		1	3 %
- la chair est mangée	4	1			4,5 %
- la chair se décompose	2	5	1		8 %
- la chair disparaît, se détache	1	3	2		6,5 %
- le cadavre ou squelette s'enfonce dans la vase, boue, argile, sable humide, calcaire mou	6	8	2	2	17 %
- le cadavre ou squelette ou coquille se pose sur une pierre puis disparaît en laissant une marque	4	2		1	6,5 %
- le squelette ou coquille s'incruste dans une pierre (dans l'eau ou à l'air libre)	3	14	4	3	25,5 %
- l'animal est enfermé dans la lave rejetée par un volcan		1			1 %
- c'est une empreinte de passage (pas ou serpent)		1		1	2 %
- c'est une empreinte dégagée par des archéologues		1		1	2 %
- le squelette ou reste d'animal est recouvert par des sédiments ou enseveli	9	1			10 %
- le fossile se forme dans la mer, l'eau	10	3	1	5	18 %
- l'eau se retire ou s'évapore après fossilisation	5	3		3	10,5 %
- le sédiment meuble durcit	1	1		1	3 %
- le squelette ou la coquille se transforme en pierre		3	1		4 %
- durées en dizaines ou centaines d'années	1	1		1	3 %
- durées en millions d'années	4	3			6,5 %
- durées en milliards d'années		1			1 %

Dans les classes n° 4 et 5 on voit apparaître un nombre important de non-réponses (13 élèves/24 et 7 élèves/23). Par ailleurs, dans chacune des classes n° 2 à 5, on trouve un certain nombre de réponses ininterprétables ou confuses (5/31, 3/27, 5/24 et 3/23).

Une des idées recueillies lors de l'étude n° 1, en réponse à la question *"Qu'est-ce qu'un fossile ?"*, montre l'influence de l'étude de la Préhistoire : *"C'est une pierre, l'Homme préhistorique s'en servait en la taillant"*. Cette influence avait déjà été mentionnée dans le document réalisé dans le cadre d'une recherche innovation du Ministère de l'Éducation nationale (1). C'est peut-être la similitude de méthode de prospection (fouilles archéologiques ou paléontologiques) qui fait confondre le fossile avec l'outil préhistorique ; ceci d'autant plus facilement que les élèves n'ont pas de repères temporels en géologie.

On constate également, dans chacune des classes, qu'un certain nombre d'élèves n'établissent pas de relations entre les fossiles et des organismes vivants ; il ne s'agit pour eux que de pierres rares ou "fragiles" ; ceci apparaît surtout dans les prétests (3/23 dans la classe n° 5). S'agit-il là d'une confusion avec les minéraux souvent associés aux fossiles dans les expositions à but mercantile ?

un fossile a presque toujours pour origine un animal mort

Chez la plupart des enfants, prévaut l'idée d'une formation qui a pour origine un animal mort, le plus souvent de mort naturelle (28/31 dans la classe n° 2 et 13/27 dans la classe n° 3). Nous n'avons trouvé qu'une production où l'exemple choisi est un végétal. Le plus souvent, c'est pour eux le squelette ou la coquille de l'animal, qui, après disparition de la chair, subit des transformations ou y participe.

les fossiles se forment dans des roches préexistantes

Sauf en ce qui concerne l'étude de la classe n° 2 (où l'on a visité l'exposition avant), le fossile est souvent considéré comme le résultat de l'incrustation ou de l'impression d'un reste dur (squelette, coquille) dans un sédiment meuble ou mou (6/31, 8/27, 2/24 et 2/23). Le plus étonnant est le nombre d'élèves faisant état de fossiles qui se forment par incrustation dans une pierre dure (3/31, 14/27, 4/24 et 3/23). On peut repérer un certain nombre de verbes significatifs : *"s'incruste"*, *"use la pierre et laisse son empreinte"*, *"s'enfonce dans la roche"*, *"s'enfonce dans la vase"*, *"s'enfonce dans le calcaire mou"*, *"se grave sur une pierre"*, *"s'imprime dans la boue"*, *"durcit dans la roche"*, *"se fait introduire dans une pierre"*, *"va être imprégné sur la pierre, rentre dedans"*, *"s'évapore dans la roche"*.
L'idée de contemporanéité du fossile et de la roche qui le contient n'apparaît jamais. Le fossile se forme toujours postérieurement à la roche dans laquelle on le trouve. Au

(1) DEUNFF J., LAMEYRE J. et al., *Contribution à la définition de modèles didactiques pour une approche de la géologie à l'école élémentaire et dans la formation des maîtres,* M.E.N. Direction des Écoles, 1990, réédité C.R.D.P. de Poitou-Charente, 1995.

mieux, le sédiment était encore meuble au moment où *"il est arrivé"*.
L'explication par l'enfouissement et le recouvrement par des sédiments n'apparaît que dans la classe n° 2, où les enfants avaient visité l'exposition sur les fossiles de Canjuers. Dans ce cas, beaucoup d'élèves ont essayé de reproduire les textes et schémas des panneaux expliquant la fossilisation (9/31) ; notons que ces explications tenaient une place importante dans l'exposition. C'est aussi dans cette classe que l'on trouve le plus grand nombre d'enfants évoquant une fossilisation dans l'eau.

Les productions des élèves présentent différents modes de fossilisation :
- premier cas : la partie minéralisée de l'animal (squelette, coquille) subsiste et est retrouvée telle quelle lors des fouilles (16 élèves/31 dans la classe n°2, 19 élèves/27 dans la classe n° 3, 5/24 et 5/23 dans les classes n° 4 et 5) ;
- deuxième cas : l'animal ou ses restes minéraux ont laissé leur moule ou leur empreinte (4 élèves/31, 2/27 et 1/23). Parfois on ne trouve que le moule d'un passage (des pas de dinosaure dans une réponse de la classe n° 2, passage d'un serpent dans une réponse de la classe n° 5 ; d'autres fois c'est le stationnement assez long d'un ver de terre dans la classe n° 3) ;
- troisième cas : les restes de l'animal (minéralisés ou non) se sont transformés en pierre (3/27 dans la classe n° 3, 1/24 dans la classe n° 4).

il arrive que la matière animale se transforme en pierre

Le facteur temps est relativement peu mentionné, si ce n'est comme cause de la fossilisation, au même titre que le poids de l'animal ou l'absence de dureté du support dans lequel il s'incruste ou s'enfonce. N'ayant pas conscience de l'échelle des temps géologiques, les enfants comptent tantôt en dizaines ou centaines d'années (un siècle leur paraît déjà très long) tantôt en millions d'années (lorsqu'ils ont visité une exposition où l'on a attiré leur attention sur l'âge des fossiles) et plus rarement en milliards d'années.

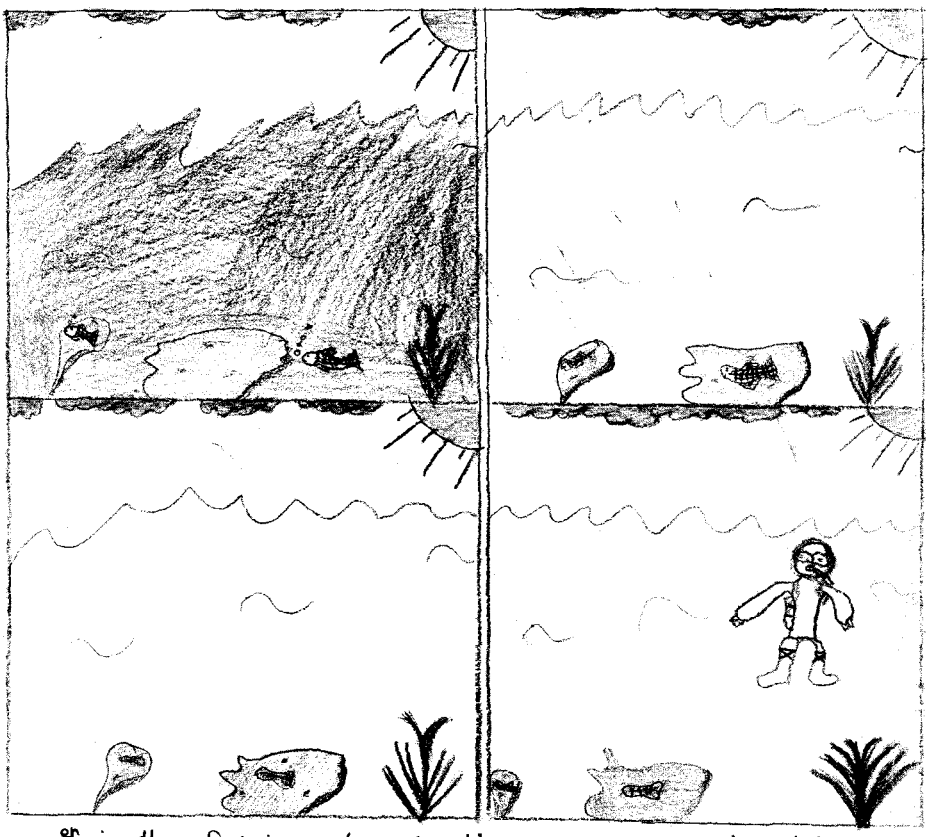
un siècle, c'est déjà vieux pour un fossile !

Même si nous ne pouvons prétendre dans ces conditions (il est difficile de procéder à de véritables enquêtes auprès d'élèves de l'école élémentaire) connaître toutes les conceptions des élèves sur la fossilisation, ce travail nous a permis de repérer certaines tendances.

1.3. La fossilisation vue par les élèves

Avec quelques variantes, on retrouve le même scénario chez la plupart des élèves. Plusieurs étapes de la fossilisation sont imaginées (un exemple est fourni avec le document 3).
- Un animal (rarement un végétal) meurt : généralement de mort naturelle ou vieillesse, plus rarement accidentellement ou suite à l'impact d'une météorite ou d'une éruption volcanique.

Document 3. Un scénario d'élève sur la fossilisation



1er vignette : le poisson s'approche d'une pierre, et, se coince dedans.
2ème vignette : le poisson dans la pierre, se débat et reste sans bouger.
3ème vignette : des années passent, des millions d'années, le squelette apparaît.
4ème vignette : le premier homme apparaît alors dans la mer, et rapporte la pierre.

l'animal, mort ou vif, pénètre dans la pierre

- Son corps (parties molles) se décompose ou est mangé, plus rarement les élèves disent que sa peau se détache (on ne sait comment).
- Ce qu'il en reste (squelette ou coquille le plus souvent) s'enfonce dans un matériau mou, ou meuble, ou pierre ramollie par l'humidité. Très souvent c'est dans une pierre dure qu'il s'incruste : soit en tombant dessus, soit qu'un rocher tombe sur le cadavre ou que l'animal est projeté contre un rocher et y pénètre. Cette pénétration peut se

faire sous l'eau ou en dehors. Parfois l'animal ou ce qu'il en reste ne laisse que son empreinte ou l'empreinte de son passage. Pour certains élèves (2/105), le fossile est l'empreinte laissée après le retrait des restes de l'animal par un archéologue. Il est très rare que, lors de prétests, les élèves parlent d'enfouissement dans des sédiments.
- Au mieux, le substrat se durcit lorsqu'il ne l'était pas au départ, ce qui fait qu'on retrouve le fossile dans une roche. Parfois les restes de l'animal se sont pétrifiés.
- Après une visite dans un musée, les enfants évoquent très souvent les fouilles qui ont permis de découvrir le fossile : la roche qui le contient ayant été mise à nu parce que l'eau s'est retirée ou évaporée (11 cas/105). Il est rare qu'une orogenèse soit évoquée (1 cas).

1.4. Origines possibles des conceptions des élèves

des erreurs qui peuvent constituer des obstacles à la construction des savoirs

Comme le soulignent Deunff et Lameyre (1990, 1995) (voir note 1), les erreurs relevées dans les productions d'élèves peuvent indiquer des obstacles à une approche plus scientifique de la fossilisation. Rappelons que la conception de l'élève peut constituer un obstacle quand elle fournit *"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"* (2). Nous pouvons en effet rappeler un certain nombre d'erreurs déjà détectées dans le document cité plus haut et que nous avons retrouvées dans les classes observées :
- le catastrophisme qui amène certains élèves à imaginer la mort de l'animal ou sa transformation en fossile comme liée à un impact de météorite ou une éruption volcanique ;
- une certaine forme d'affectivité qui fait choisir plus volontiers l'animal comme exemple et qui amène les enfants à raconter l'histoire du fossile à l'aide de l'exemple d'un individu particulier, sous forme de chronique ;
- la non-maîtrise de l'échelle des temps géologiques : les enfants sont incapables de se représenter des durées très longues et surtout de relativiser les durées des différentes périodes géologiques (la non-maîtrise de la notion d'échelle au sens mathématique en est sûrement une des causes) ;
- le temps est souvent perçu comme une des causes qui permet à un reste d'animal de pénétrer dans une pierre ;
- une attitude fixiste, sans doute liée à la lenteur relative des phénomènes, qui constitue une difficulté à imaginer un dynamisme dans le paysage géologique ; c'est ce qui fait que les enfants ne pensent pas qu'une orogenèse et une érosion aient pu se produire ;
- le défaut de notions de chimie, qui empêche de s'imaginer des transformations chimiques de type fermentation, dissolution ou précipitation de carbonate de calcium ;

(2) ASTER (Équipe de recherche), *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*, Paris, INRP, 1985, p. 208.

- la non-connaissance ou la méconnaissance de la formation des roches sédimentaires, qui empêche d'imaginer l'enfouissement sous des sédiments.

Pour essayer de mieux comprendre ce qui fait obstacle à la construction d'un concept, divers auteurs (3) se sont appuyés sur l'analyse de la construction historique de ce concept. Cette démarche nous a paru intéressante et nous l'avons appliquée au cas du concept de fossile. En effet, l'analyse que propose l'histoire des sciences peut aider à identifier la nature des obstacles repérés chez les élèves.

2. LE DÉBAT SUR L'ORIGINE DES FOSSILES

Étymologiquement, fossile vient du latin *fossilis* et désigne tout ce qui est tiré de la terre, aussi bien les roches et minerais que les *animaux pétrifiés* ; progressivement ce terme ne s'est plus appliqué qu'aux restes d'êtres vivants.

2.1. Des explications contradictoires

L'existence des fossiles est connue depuis l'Antiquité et il semble que, dès le VIIème siècle avant notre ère, l'école grecque, représentée par des auteurs comme Thalès et Anaximandre, ait imaginé le déplacement des mers sans toutefois se baser sur des observations précises. Les mêmes idées se retrouvent au VIème siècle avant J.-C. chez les Pythagoriciens mais il s'agit là encore d'opinions, reprises plus tard par Ovide dans un style poétique. D'autres auteurs anciens (Hérodote, Straton de Lampsaque puis Strabon) ont apparemment compris l'origine des fossiles mais leurs idées furent oubliées, malgré les efforts de quelques savants comme Albert le Grand (1193-1280). Il faut en effet attendre le XVIIème siècle pour que la nature des fossiles soit véritablement démontrée et le XVIIIème siècle pour que leur origine soit définitivement admise. Auparavant, diverses interprétations des fossiles, souvent contradictoires, ont été avancées et ont parfois coexisté ; nous en donnons ici quelques exemples, empruntés aux ouvrages de G. Gohau (4) et d'Ellenberger (5).

plus de vingt siècles pour comprendre l'origine des fossiles

- Ce sont des animaux qui ont vécu jadis et qu'une vertu minéralisante a changés en pierre (d'après Avicenne).

---

(3) Citons par exemple les travaux de Marie Sauvageot-Skibine sur la digestion, ceux de Guy Rumelhard sur la génétique, ou ceux de Patricia Schneeberger sur la régulation et bien d'autres encore.

(4) GOHAU G., *Une histoire de la Géologie,* Paris, Éditions La Découverte, 1990.

(5) ELLENBERGER F., *Histoire de la Géologie,* Paris, Technique et Documentation - Lavoisier, 1988 (tome 1) et 1994 (tome 2).

des interprétations variées

- Les Glossopètres (en réalité dents de requin isolées) seraient tombées du ciel lors des éclipses de lune (d'après Pline).
- Les nummulithes (dont la vraie nature ne sera connue qu'au XIXème siècle) étaient considérées comme les restes pétrifiés de la nourriture des ouvriers qui ont construit des édifices avec les pierres sur lesquelles on observe ces fossiles (c'était le cas des pyramides d'Égypte).
- Ce sont des espèces perdues parce que trop pêchées (Bernard Palissy).
- Ce sont des coquilles disséminées sur la Terre au moment du Déluge.
- Ce sont les reflets d'antiques insuccès du Créateur (ou même des créations de Satan).

Certaines de ces explications paraissent fantaisistes à nos yeux mais, exprimées par des hommes de grand renom dont les écrits ont eu beaucoup d'influence, elles faisaient autorité auprès de leurs contemporains. Si ces idées nous font maintenant sourire c'est parce que nous les trouvons simplistes : leur fragilité nous semble évidente. Aujourd'hui en effet, la récolte de coquilles d'animaux marins loin des rivages actuels est considérée comme le moyen le plus convaincant pour démontrer les anciens mouvements de la mer et l'expliquer à un public même profane.

2.2. Les grandes options sur l'origine des fossiles

À partir du Moyen Âge, plusieurs interprétations des fossiles, défendues chacune par des auteurs différents, sont en concurrence. On trouve dans les écrits de Fracastoro (1517) le premier exposé de cette controverse.

• *L'explication diluvienne*

les fossiles comme vestiges de l'invasion des eaux

Le mythe du Déluge est omniprésent dans beaucoup d'esprits depuis l'Antiquité et son influence s'est renforcée du fait de la place qu'il occupe dans les Écritures. Le respect des textes sacrés, considérés comme scientifiquement exacts, a conduit de nombreux auteurs à admettre l'existence du Déluge qui constituait une des deux grandes étapes de l'histoire de la Terre et des êtres vivants, l'autre étant la Création. Selon cette conception, on expliquait la présence de coquilles d'animaux marins sur la terre ferme, en les tenant comme les vestiges de l'invasion des eaux qui pendant cent cinquante jours, d'après le Livre de la Genèse, recouvrirent entièrement les continents.
L'explication diluvienne, qui aurait été introduite par Ristoro d'Arezzo au XIIIème siècle, aura curieusement peu d'adeptes avant l'explosion diluvianiste de la fin du XVIIème siècle. Réfutée par Léonard de Vinci puis par Bernard Palissy, cette conception trouve en Luther un ardent partisan au XVIème siècle mais elle est défendue ensuite par Descartes et rencontre encore beaucoup de succès au XVIIIème siècle. Nous verrons plus loin qu'en imposant des durées courtes, la réfé-

rence au Déluge constitua un obstacle pour comprendre la formation des roches sédimentaires.

• *La thèse de la génération spontanée*

les fossiles comme jeux de la nature

Pour expliquer les différences entre les coquilles trouvées dans les roches et celles des animaux actuels, certains auteurs ont prétendu que les fossiles étaient non pas des restes d'êtres vivants mais des *lapides sui generis* c'est-à-dire des formations minérales spontanées. Au début du XVIème siècle, la thèse de la génération spontanée des fossiles connaissait un grand succès ; elle s'exprimait avec une terminologie variable dont l'étude fait apparaître les multiples formes de cette croyance, inspirée de la philosophie néoplatonicienne.
Cette opinion est combattue par Léonard de Vinci qui s'appuie sur des observations précises des gisements fossilifères. Bernard Palissy a tenté, cinquante ans plus tard, d'expliquer la présence de coquilles sans homologues actuels en avançant l'idée que *"leur genre s'est perdu"* (intuition géniale qui sera reprise et débattue par la suite). L'argumentation utilisée par ces deux contradicteurs, fondée sur une axiomatique biologique, n'a apparemment pas suffi à convaincre leurs contemporains. Il est vrai que la thèse de la génération spontanée s'est longtemps appliquée non seulement aux fossiles mais également aux cristaux et aux êtres vivants eux-mêmes. Durant le XVIIème siècle, de nombreux auteurs expliquent les ossements fossiles en les attribuant à la génération spontanée.
La thèse de la formation *in situ* des fossiles renaît en plein âge des Lumières avec Langius en 1708 et Elie Bertrand en 1752, deux auteurs suisses qui préfèrent retenir cette option alors que l'origine organique semblait avoir été établie grâce aux travaux de Sténon. Cet exemple montre qu'en dépit des découvertes géologiques et paléontologiques, qui semblaient clore le débat sur la signification des fossiles, des résistances ont persisté dans les mentalités des savants.

des résistances dans les mentalités

• *L'explication par l'ancien séjour naturel de la mer*

Depuis l'Antiquité, on postulait que des mers s'étaient asséchées pour expliquer la présence de coquilles sur le continent et Léonard de Vinci, reprenant les idées des auteurs anciens, a exprimé une vision comparable en cherchant à préciser le mécanisme de la fossilisation. Bernard Palissy a lui-même reconnu l'origine organique des fossiles mais sans admettre le déplacement des mers, dont il semble refuser l'idée (sans doute par respect de l'Écriture).
Les partisans de l'explication par le déplacement lent des mers sont peu nombreux au XVIème siècle. Un des ses détracteurs, Goropius, prétend que, contrairement aux allégations des Anciens, elle ne permet pas d'expliquer la présence de coquilles fossiles dans les plus hautes montagnes

les fossiles comme témoins du déplacement des rivages

car pour lui les rivages sont immuables. La nature organique des fossiles ne sera admise que plus tard et il faudra attendre deux siècles pour que l'explication diluvienne de l'origine des fossiles recule devant l'affirmation argumentée du déplacement des mers. Voltaire lui-même était réfractaire à la thèse de l'ancien séjour naturel de la mer pour expliquer la présence de fossiles d'animaux marins sur les continents ; il exprima son désaccord dans un texte connu sous le nom de "lettre italienne" qui fut sévèrement critiqué par Buffon.

S'opposant aux autres interprétations des fossiles, la solution qui paraît à nos yeux la plus naturelle ne s'est pas imposée sans difficultés. L'apparente naïveté de certaines explications, aujourd'hui abandonnées, peut être en partie attribuée au fait que les auteurs qui les ont exprimées ne disposaient pas des éléments qui ont permis de comprendre la signification générale des fossiles. Pour que la construction du concept de fossile soit possible, plusieurs conditions sont en effet nécessaires et nous essayerons de les définir plus loin. Cependant, nous avons vu que certaines conceptions fausses ont continué à être affirmées pendant longtemps alors que des travaux sérieux permettaient de récolter des données et d'établir des théories qui allaient à l'encontre de ces idées. Ce constat montre, avec d'autres, que la construction du savoir est complexe et l'histoire des sciences permet de rendre compte des obstacles qu'il a fallu dépasser pour que certaines théories soient acceptées.

2.3. Obstacles et conditions de possibilité

L'idée d'obstacle, issue des ouvrages de G. Bachelard, est abondamment illustrée dans les travaux de Canguilhem à propos de l'histoire de quelques concepts de biologie (hormone, régulation...). Dans le cas qui nous intéresse, l'histoire des sciences montre que la signification générale des fossiles s'est établie lorsqu'on a pu dépasser l'emprise de certaines opinions qui s'étaient imposées, parfois défendues avec autorité.
Par ailleurs, l'histoire des sciences permet de repérer les conditions qui ont rendu possible l'émergence de certains concepts en favorisant des idées nouvelles ou des théories oubliées. En ce qui concerne le concept de fossile, quels sont les obstacles et les conditions de possibilité qui ont jalonné son histoire ?

- ***La durée de la Terre***

La solution actuellement retenue pour expliquer la formation des fossiles suppose une durée longue du passé géologique, or pendant des siècles la chronologie courte biblique domina le sens commun. Héritage des Pères de l'Église, le temps biblique est centré sur l'Homme si bien que les durées courtes, passées et futures, s'imposent dès la Renaissance, remplaçant les cycles interminables des

forte influence des chronologies courtes

Anciens. Les temps géologiques sont d'abord évalués à 6 000 ans en suivant les affirmations de la Bible. Après avoir pris à la lettre les six jours de la Création, les croyants ont fini par accepter de les étaler sur une longue période mais la chronologie longue n'est acceptée qu'à la fin du XVIIIème siècle.

Un des premiers à oser s'écarter du récit de la Genèse fut Buffon et il lui en coûta quelques ennuis avec la faculté de théologie. Prudemment, il annonce une durée de 75 000 ans au lieu des trois millions d'années auxquelles l'avaient conduit ses spéculations mais ces valeurs étaient encore difficilement concevables à cette époque. Voltaire, quant à lui, ose avancer des millions d'années, cherchant avec d'autres à faire reculer la thèse des chronologies courtes. L'influence de l'esprit des Lumières aidant, l'affirmation des durées longues paraît moins subversive, d'autant plus que des opinions semblables sont exprimées un peu partout en Europe.

chronologie longue et rejet de l'anthropocentrisme

La victoire de la chronologie longue s'est effectuée sans rupture mais elle a nécessité (ou entraîné) un changement radical du rapport entre l'Homme et l'Univers conduisant au rejet de l'anthropocentrisme. Le progrès de la connaissance du terrain a certainement favorisé cette mutation, certains phénomènes (l'érosion en particulier) ne pouvant objectivement s'expliquer qu'en ayant recours aux durées longues.

- ***La séparation entre le monde vivant et le règne minéral***

En expliquant l'emprise qu'exerça jusqu'au XVIIème siècle la thèse de la génération spontanée des fossiles, F. Ellenberger (1988, p.152) évoque *"le refus de postuler une frontière tranchée entre le règne minéral et le monde vivant"*. D'ailleurs, la terminologie appliquée aux objets trouvés dans le sous-sol est basée essentiellement sur des ressemblances (Belemnites signifiant ainsi "qui a la forme d'une flèche") et ne distingue pas les véritables fossiles du reste du monde minéral.

la faculté d'organisation est propre à la vie

Sous l'influence du néo-platonisme, les auteurs du XVIème siècle attribuent volontiers la formation des fossiles à une force créative *(vis plastica)* de même nature que celle qui produit les plantes et les animaux. Césalpino postule au contraire que le règne vivant et le règne minéral sont deux mondes séparés et il rejette la thèse de la génération spontanée des fossiles. Posant en axiome que la faculté d'organisation est propre à la vie, Césalpino n'a pu convaincre ses contemporains qui voyaient dans les fossiles l'œuvre d'une force organisatrice capable de produire des imitations d'êtres vivants.

Plus tard (en 1667-69), Sténon a démontré l'origine organique des fossiles sur la base d'observations minutieuses, donnant raison à la clairvoyance de Césalpino.

• *La signification des couches du sous-sol*

La question de l'origine des fossiles est indissociable de nombreux autres problèmes et en particulier de celui de la formation des roches sédimentaires. Déjà, la science médiévale avait élaboré des théories explicatives audacieuses sur la formation des couches rocheuses en imaginant un lien entre l'érosion et la sédimentation marine mais les savants de la Renaissance n'ont pas repris ces idées. Léonard de Vinci avait compris que les terrains qui contiennent les fossiles se sont déposés au fond de l'eau mais, n'étant pas publiés, ses textes ne sont pas connus de ses contemporains, ni même des générations suivantes.

Pour expliquer la présence de coquilles au sein des roches à l'intérieur même des montagnes, Bernard Palissy fait appel à une *"substance salsitive et germinative"* apportée par la percolation des eaux de pluies. À cette époque en effet, la signification de couches du sous-sol n'a pas encore été établie et, le problème de l'origine des fossiles étant envisagé isolément, il paraissait sans doute plus simple d'imaginer une formation *in situ*. On sait d'ailleurs le succès que connut la thèse de la génération spontanée des fossiles, à laquelle Bernard Palissy était néanmoins opposé.

la théorie des strates : une véritable révolution conceptuelle

Grand fondateur de la géologie moderne, Sténon introduit dans les sciences de la Terre les termes *stratum* et *sedimentum* qu'il a empruntés à la chimie et à la médecine. On lui doit d'avoir compris et exposé clairement (en 1667) le principe de formation des couches du sous-sol par dépôts successifs au sein d'un fluide. Notons que Sténon se tait sur l'origine des sédiments argilo-sableux et ne lie pas la sédimentation à l'érosion. On peut penser qu'étant partisan de la thèse diluvienne, donc d'une chronologie courte, il ne s'autorise pas le recours à un processus qui exige des durées importantes. Plus tard un autre diluvianiste, Woodward, reprenant l'explication de Sténon, explique que le Déluge a dissous en masse l'ancienne terre et qu'ensuite a eu lieu une resédimentation en strates ordonnées. Les apports de Sténon restent néanmoins essentiels pour comprendre l'origine des fossiles présents dans les roches sédimentaires et surtout, en posant le principe de superposition des couches selon l'ordre d'ancienneté, ils rendent possible la reconstitution de l'histoire de la Terre sur la base d'observations de témoins du passé.

• *Immutabilité des faunes*

La succession des faunes est aujourd'hui reconnue par les scientifiques et admise par tous, ou presque. Cependant cette idée ne s'est imposée qu'à une époque relativement récente de l'histoire des sciences.
Bernard Palissy a reconnu comme d'anciens organismes, des formes n'ayant pas d'homologues vivants actuels, pensant qu'ils avaient disparu parce que trop pêchés. Même s'il rend ces animaux contemporains de l'Homme (ce qui peut

nous étonner quand il s'agit des ammonites), il a le mérite d'expliquer rationnellement ces fossiles. Le terme *"espèces perdues"* sera repris au XVIIème siècle par Hooke et Leibniz qui avancent des idées audacieuses sur les relations entre ces créatures et les formes actuelles.

Le principe de la succession chronologique des faunes dans le temps n'est pas compatible avec le dogme religieux de la Création unique selon lequel toutes les espèces seraient apparues sous leur forme actuelle et en même temps. Pendant longtemps, ce qui paraissait surtout inconcevable aux yeux des croyants et inacceptable pour l'Église c'est l'idée d'une transformation des espèces. Le premier qui, au XVIIIème siècle, eut l'audace d'affirmer l'existence d'une filiation entre les espèces, l'abbé Soulavie, fut contraint à se rétracter. Ses contemporains furent plus prudents et il faut attendre le XIXème siècle avec Lamarck pour que le transformisme puisse s'exprimer en opposition avec le fixisme qui domina le siècle précédent. On sait ce qu'il advint ensuite : l'accueil que reçurent les idées de Darwin et le développement qu'elles trouvèrent à travers les travaux de ses successeurs, ces derniers s'attachant à rechercher les mécanismes de l'évolution des êtres vivants.

accepter l'idée d'une succession de faunes

Avant de chercher une théorie expliquant la succession des faunes, il était nécessaire d'en accepter le principe et on peut penser que les efforts de muséologie du XVIème et du XVIIème ont favorisé ce changement des mentalités. En effet, la constitution de riches collections de fossiles a permis d'effectuer des comparaisons et de repérer les variations de faune d'une couche à l'autre.

- ***Le catastrophisme opposé à l'uniformitarisme***

Les partisans des chronologies courtes faisaient le plus souvent intervenir des cataclysmes, comme le Déluge, pour expliquer le modelé du relief ou la disparition des faunes anciennes. Certes, Aristote et Ovide avaient déjà pensé faire intervenir des causes lentes mais pour reconnaître la valeur de telles visions, on est obligé d'admettre des durées longues, ce que les fidéistes déclaraient incompatibles avec le texte de la Bible.

des changements brusques ou des causes lentes

L'actualisme ou uniformitarisme postule au contraire que les phénomènes géodynamiques passés s'expliquent par les mêmes causes que celles qui agissent aujourd'hui, excluant les grandes mutations évoquées par les catastrophistes. Cette théorie s'est imposée au XIXème siècle seulement, avec Lyell dont l'œuvre eut un succès considérable.

La querelle entre actualistes et catastrophistes est donc ancienne mais il faut reconnaître que si l'uniformitarisme est actuellement tenu comme un principe fondamental en géologie, les fondateurs de la stratigraphie paléontologique étaient au contraire partisans de changements brusques.

Ce dernier exemple montre la complexité de l'histoire de la construction du savoir dont le cheminement n'est pas

linéaire, contrairement à ce qu'on a tendance à croire lorsqu'on se réfère à l'idée de progrès. Ce rapide exposé ne prétend pas, bien évidemment, être exhaustif, et il faudrait citer bien d'autres obstacles et conditions de possibilité pour vraiment comprendre l'émergence de la signification des fossiles. Retenons simplement qu'ils furent de différentes natures, tant conceptuelle que théologique ou idéologique.

3. COMMENT AIDER LES ÉLÈVES ?

La didactique de la biologie a repris l'idée d'obstacle pour l'appliquer à l'apprentissage des concepts scientifiques. Après avoir repéré les obstacles à la construction du concept de fossile, il conviendra de trouver des situations pédagogiques permettant d'aider les élèves à les dépasser.

3.1. Quels sont les obstacles ?

Plusieurs auteurs (6) ont rapproché certains obstacles rencontrés auprès des élèves de ceux que révèle l'histoire des sciences : on pourrait faire de même pour les obstacles qui sont liés à la connaissance des temps géologiques. Cependant, pour les géologues anciens il s'agit seulement d'obstacles conceptuels (méconnaissance de l'âge de la Terre par exemple) alors que pour les enfants, ils se doublent sans doute d'une inaptitude à se représenter des durées relatives en géologie. D'autre part, il semble peu probable qu'à l'heure actuelle les enfants soient gênés par des considérations religieuses ; nous n'avons trouvé aucune réponse y faisant allusion. Néanmoins, il est certain que l'éclairage apporté par l'histoire des sciences est en mesure de nous aider à analyser les réponses des enfants.

les élèves ne peuvent revivre la construction historique des connaissances

Toutefois, malgré certaines similitudes (maîtrise des temps géologiques, modèle de fossilisation dont parfois l'idée de génération spontanée, fixisme), la construction du concept de fossile, en CM aujourd'hui, diffère donc de celle qui fit évoluer cette idée autrefois et on ne peut espérer faire franchir les obstacles aux élèves comme les scientifiques ont pu le faire (7).

3.2. Quelles situations peut-on proposer ?

- ***Obstacles que l'on peut espérer voir dépasser***

On donnera priorité, en CM, aux obstacles qui peuvent être surmontés, tels que ceux qui sont liés à la maîtrise du temps et à la compréhension de la formation des roches

(6) Voir note 3.

(7) SAUVAGEOT-SKIBINE M., "De la représentation en tuyaux au concept de milieu intérieur" in *Aster* n° 17, *Modèles pédagogiques 2*, Paris, INRP, 1993, p. 203.

sédimentaires. Il nous paraît donc nécessaire que l'enseignant se fixe un certain nombre d'objectifs-obstacles (le concept d'objectif-obstacle a été défini par Martinand) (8), c'est-à-dire d'objectifs précis qu'il essaiera d'atteindre pour aider les élèves à modifier leurs conceptions.

se repérer par rapport à l'échelle des temps géologiques

Il faudrait donc, pour aider les élèves à modifier leurs conceptions :

- leur faire prendre conscience de la durée des temps géologiques et les aider à se repérer par rapport à l'échelle des temps en géologie ;
- les aider à construire un autre modèle explicatif de la fossilisation en relation avec la sédimentation.

Ceci devrait permettre de passer au niveau de formulation suivant : les fossiles sont des témoins de la vie du passé ; ils sont parfois très anciens (plusieurs millions d'années) ; ils se sont formés en même temps que la roche qui les contient, c'est-à-dire par enfouissement dans des sédiments ; les plus anciens sont (sauf bouleversements ultérieurs) dans les couches de terrain les plus profondes.

savoir que les fossiles sont contemporains de la roche qui les contient

Il va de soi que, dans une perspective constructiviste de l'apprentissage, il conviendrait de partir des conceptions des élèves afin de générer, par le biais de la confrontation, un conflit socio-cognitif susceptible de faire douter certains élèves et de les aider à faire évoluer leur système explicatif. Pour atteindre ces objectifs, on pourra passer par des situations qui conduiront vers des réalisations concrètes et compléter par des activités de documentation.
Nous allons proposer trois types d'activités susceptibles, nous l'espérons, de faire progresser la connaissance des élèves sur les fossiles et la fossilisation.

• *Faciliter la représentation des temps géologiques*

Le simple examen de la figuration des temps géologiques que proposent les manuels ne suffit généralement pas pour que les élèves se représentent correctement les durées et l'échelle. Très souvent, les ères sont représentées par des bandes de couleurs et largeurs variables sans qu'aucune échelle ne soit mentionnée ; presque toujours, cette échelle est variable elle aussi, et l'ère quaternaire peut apparaître aussi longue que l'ère primaire si l'on ne prend la peine de calculer les durées de chacune. Nous avons souvent fait l'expérience de demander à des enfants quelle est la plus longue ; les réponses obtenues sont majoritairement influencées par la largeur des bandes de couleur et peu d'enfants, même au CM2, pensent à calculer la durée à l'aide des nombres qui marquent les débuts de ces ères. De plus, l'ère quaternaire dont ils connaissent un certain nombre d'événements à travers l'étude de l'histoire ne peut,

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

savoir que l'humanité vient juste de naître

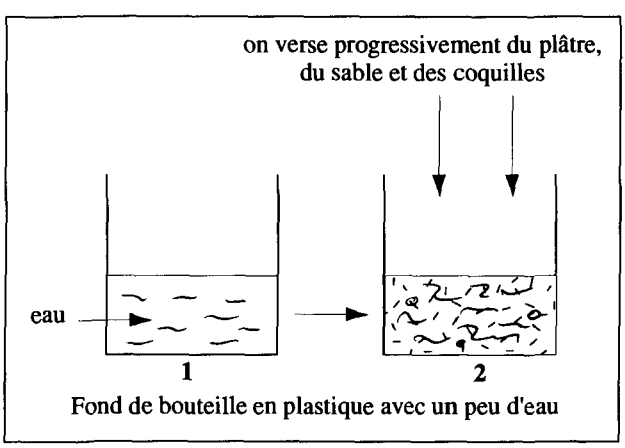
à leurs yeux, qu'être très longue, en regard des autres ères sur lesquelles ils n'ont pas d'information. D'autre part, le remède qui consiste à inciter les élèves à calculer les durées des ères ne suffit pas, nous en avons souvent fait l'expérience, pour modifier leur représentation des durées en géologie.

Nous proposons de faire construire une échelle des temps géologiques plus concrète, c'est-à-dire à l'aide d'une pelote de grosse ficelle. Le protocole que nous allons décrire est celui qui nous est apparu le plus efficace parmi ceux qui sont parfois présentés dans des documents (par exemple dans le document établi par le Muséum d'Histoire Naturelle de Bordeaux).

passer par la représentation concrète des temps géologiques

On choisira comme unité pour représenter le temps (l'unité en géologie étant le million d'années : MA), une unité de longueur de ficelle : 1 cm par exemple. Ensuite on calculera puis l'on mesurera les longueurs correspondant à des durées marquantes (ères par exemple) et l'on pourra placer des repères et des étiquettes aux points correspondant à des événements connus (début d'ères, apparition ou disparition de certains groupes d'êtres vivants...). Ce travail qui nécessite plusieurs dizaines de mètres de ficelle est plus facile à réaliser dans la cour. La construction de cette "ficelle chronologique" par les enfants nous paraît nécessaire pour leur faire prendre conscience des durées relatives et de l'échelle des temps géologiques. On peut aussi y replacer la période historique afin de leur en montrer la faible durée relative. Ceci permet aussi de repérer que les Dinosaures avaient disparu bien longtemps avant l'apparition de l'Homme.

- ***Aider à modéliser la sédimentation***



Les enfants ayant compris, pour la plupart, que les fossiles sont des restes minéralisés d'animaux (on ne peut aborder les transformations chimiques à l'école élémentaire) ou des moulages de ces parties dures, on peut leur proposer de rechercher, comme on le ferait en technologie, toutes les solutions possibles pour réaliser des moules et des moulages (de coquilles par exemple), ce qui correspond à un choix de matériaux et de protocole à suivre. On va donc les amener à envisager d'autres possibilités que l'utilisation d'un matériau mou ou meuble dans lequel on obtiendrait un moulage uniquement par pression, mais on peut les inciter à choisir un matériau

fabriquer des "faux fossiles"

qui passerait de l'état "liquide" à l'état solide. Le matériau le mieux adapté à ce genre d'opération paraît être le plâtre de Paris que l'on peut faire tomber en pluie dans l'eau et dans lequel on peut à intervalles de temps connus, introduire du sable, des coquilles ou autres ossements, jusqu'à absorption totale de l'eau. Ainsi, on recrée le processus de sédimentation et on fait une première approche de la stratigraphie ; on peut même colorer le plâtre. On pourra ensuite casser le plâtre pour trouver les moules et empreintes et dater (ou plutôt minuter) les différentes couches : la plus ancienne étant toujours au fond. On peut espérer qu'ainsi les enfants comprendront mieux comment ont pu se former certains types de fossiles : coquilles, moules et moulages.
Cette activité a le mérite de donner à l'expérience une place authentique par rapport à la démarche scientifique. En outre, comparée à la simple réalisation de moulages en pâte à modeler, elle montre la contemporanéité des fossiles avec le plâtre (donc la roche) dans lequel on les trouve ; les moulages en pâte à modeler ne font, en effet, que conforter l'idée que la roche existait déjà (plus ou moins longtemps) avant. Un inconvénient persiste cependant à cette représentation du modèle explicatif de la fossilisation sous forme de "modèle réduit" ; en effet les durées sont elles aussi très réduites, cette procédure va donc plutôt à l'encontre du franchissement de l'obstacle "du temps" en géologie. Il est par conséquent indispensable de travailler en parallèle sur la représentation des temps géologiques (comme il est expliqué plus haut).

montrer l'étroite relation entre la fossilisation et la formation d'une roche

- ***Exploiter la visite d'une exposition et/ou lire des documents***

Ayant travaillé, avec des maîtres sur l'exploitation réalisée à partir de la visite d'une exposition sur les Dinosaures (9), exposition très médiatisée, nous nous sommes rendu compte que les élèves ont surtout été attirés par l'animation particulièrement prégnante des maquettes et tout le côté mythique que représentent ces animaux disparus de notre planète. Dans ce domaine, ils font rarement la différence entre réalité et fiction et ils sont prêts à accepter tout enseignement dogmatique.
Par ailleurs, ayant réalisé une enquête d'opinion auprès des élèves d'une classe à leur retour de l'exposition, nous nous sommes aperçues qu'ils ont moins été attirés par les connaissances scientifiques conceptuelles (comme la fossilisation des Dinosaures) que par des informations de type "encyclopédique" (telles que la taille ou le poids). Une des

(9) SCHNEEBERGER P., "Des Dinosaures à l'école ou : Et si on allait à l'Expo. ?" in *Actes des XVIèmes Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifiques et Industrielles,* Paris, A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg Éditeurs, 1994.

chercher des réponses dans une exposition

questions qui leur étaient posées par écrit, lors de cette enquête, était : *"As-tu appris des choses nouvelles ? Si oui, lesquelles ?"*. Le dépouillement des réponses recueillies dans une classe révèle que, sur 23 élèves en CM2 :

- 3 élèves seulement répondent en évoquant les processus de fossilisation ;
- 7 élèves disent avoir appris de nouveaux noms de Dinosaures ;
- 9 élèves ont apprécié les informations concernant la taille, le poids... et notamment les records (le plus long, le plus gros, le plus petit...) ;
- 5 élèves sont heureux d'avoir appris (!) ou entendu les cris ;
- 3 élèves seulement font référence à la période à laquelle ils vivaient.

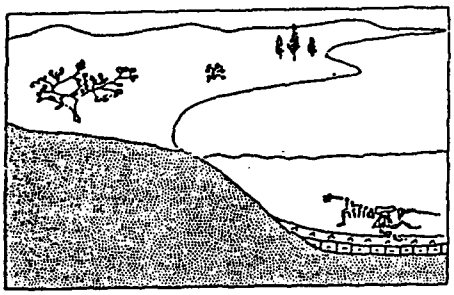
Il nous paraît donc indispensable, en ce qui concerne ces problèmes de fossilisation et d'échelle des temps géologiques, que tout travail de documentation (dans une exposition ou à l'aide d'autres documentaires) soit suscité par des questions précises et éventuellement des hypothèses formulées à la suite d'une première approche en classe ; approche au cours de laquelle on aura pris le soin de faire émerger les conceptions des élèves et où les réponses auront été confrontées afin de dégager toutes les idées à vérifier, en les reformulant au besoin, et toutes les questions restées sans réponses, en les précisant.

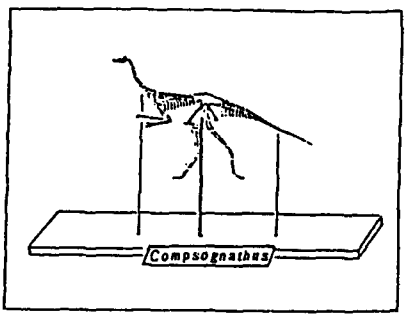
reconstituer une chronique

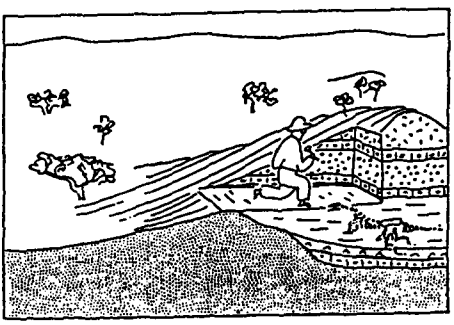
Avec ou sans visite d'exposition, la fossilisation peut être expliquée sous forme d'une bande dessinée (document 4) proposée par le Muséum d'Histoire Naturelle de Bordeaux et que certains maîtres utilisent avec les élèves de CM2 en la leur donnant dans le désordre. La remise en ordre chronologique des vignettes oblige les élèves à analyser et décoder complètement les images. C'est aussi un excellent exercice pour amener les élèves à établir des relations aussi étroites que possible entre les différentes images et pour appréhender ainsi les processus de la fossilisation.

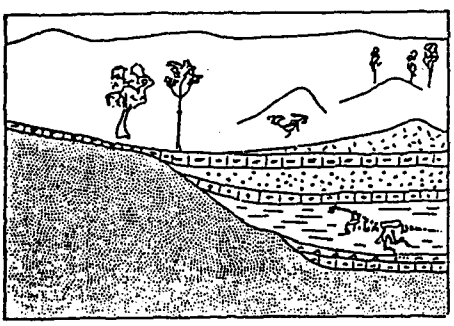
Les activités présentées ci-dessus ont été construites avec pour objectif d'aider les élèves à dépasser les obstacles relatifs aux temps géologiques et à la formation des fossiles. Il apparaît en effet nécessaire de proposer des activités adaptées rendant possible le franchissement de ces obstacles afin de permettre aux élèves de construire le concept de fossile.

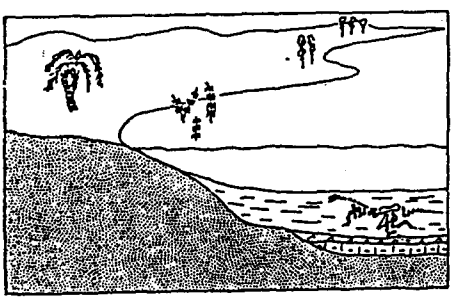
Document 4. Bande dessinée dans le désordre extraite d'un document du Muséum d'Histoire Naturelle de Bordeaux

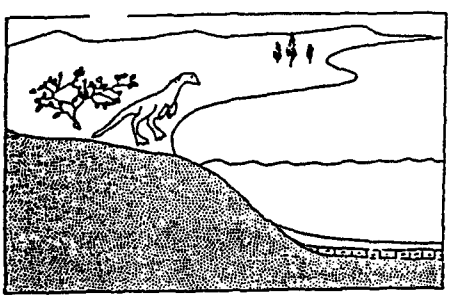


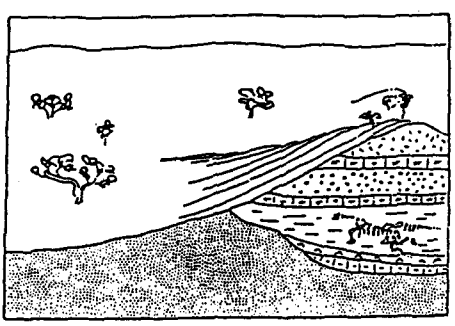












4. APPRENDRE À ENSEIGNER LES FOSSILES

Les développements qui précèdent ont fait apparaître les difficultés que doivent surmonter les élèves pour comprendre la notion de fossile et donc la nécessité de construire des situations pédagogiques adaptées. Ce simple constat ne suffit pas pour permettre aux enseignants d'organiser leur enseignement ; leur formation doit inclure à la fois une analyse du contenu et une réflexion sur l'apprentissage des concepts scientifiques avant de leur présenter des stratégies pédagogiques possibles.

4.1. Présentation du module de formation

Nous proposons ici une présentation chronologique des différentes étapes du module de formation que nous avons élaboré.

- ***Première étape : mise en situation***

Dans un premier temps nous demandons aux formés de faire état de leurs connaissances sur la question des fossiles, de leur nature, de leur origine, de leur mode de formation. Cet exercice peut être proposé par exemple à l'occasion d'une sortie au cours de laquelle des échantillons de roches ont été récoltés ou encore à propos de l'observation des roches utilisées dans les constructions traditionnelles de notre région (calcaire riche en fossiles).

une démarche identique à celle qui est proposée aux élèves

Cette situation permet aux formés d'apprendre à exprimer et à connaître leurs représentations mentales, ce qui constitue un de nos objectifs de formation. De plus, elle conduit à réfléchir aux situations de départ qu'il pourront proposer aux élèves et à la place qu'ils accorderont aux représentations de ceux-ci.

Au cours de l'échange qui suit cette mise en situation, il apparaît le plus souvent des incertitudes sur la signification des fossiles. Le formateur recense alors toutes les interrogations manifestées par les formés et reformule au besoin les questions qui feront l'objet d'une étude plus approfondie.

- ***Deuxième étape : analyse du contenu***

Le formateur propose de rechercher des réponses aux problèmes posés en travaillant par groupe et en utilisant différents moyens d'investigation : observation de fossiles variés, documentation, sortie sur un site géologique, visite d'une exposition ou d'un musée, manipulations.

Chaque groupe travaille sur une des questions retenues par le formateur et doit communiquer ses résultats aux autres, sous forme synthétique.

Exemples de questions soumises à une recherche

- Comment se forme un fossile ?
- Quelles sont les espèces que l'on peut reconnaître dans une collection de fossiles ?

- Quelles informations nous donnent les fossiles sur l'histoire de la Terre ?

Au cours de cette phase, les formés peuvent éventuellement corriger leurs erreurs sur la signification des fossiles et apprendre à mieux connaître les méthodes utilisées par les géologues.

À l'issue de ces travaux, le formateur demande de construire une trame conceptuelle (dont le principe est rappelé) qui fasse apparaître tous les éléments constitutifs du concept de fossile ainsi que les articulations logiques qu'on peut établir entre ces sous-concepts (le document 5 en présente un exemple). Le formateur peut alors aider les enseignants à effectuer cette tâche en leur proposant des phrases définissant les différentes notions constitutives du concept de fossile. Les enseignants en formation travaillent d'abord en groupe puis ils doivent présenter aux autres leur trame en précisant la logique qui a présidé à sa construction. Une discussion, organisée au moment de la confrontation des trames réalisées par les formés, permet de montrer l'intérêt de ce type d'outil qui donne une vue d'ensemble et fait apparaître les éventuels pré-requis relatifs à la compréhension de la notion de fossile. Ce qui importe surtout c'est le travail d'élaboration de cette trame qui nécessite de la part des formés une réorganisation de leur savoir. Dans cette perspective, l'analyse d'un contenu d'enseignement est considéré non plus comme une simple mise au point ou révision mais comme une réflexion à valeur pédagogique.

introduire une réflexion sur l'organisation du savoir

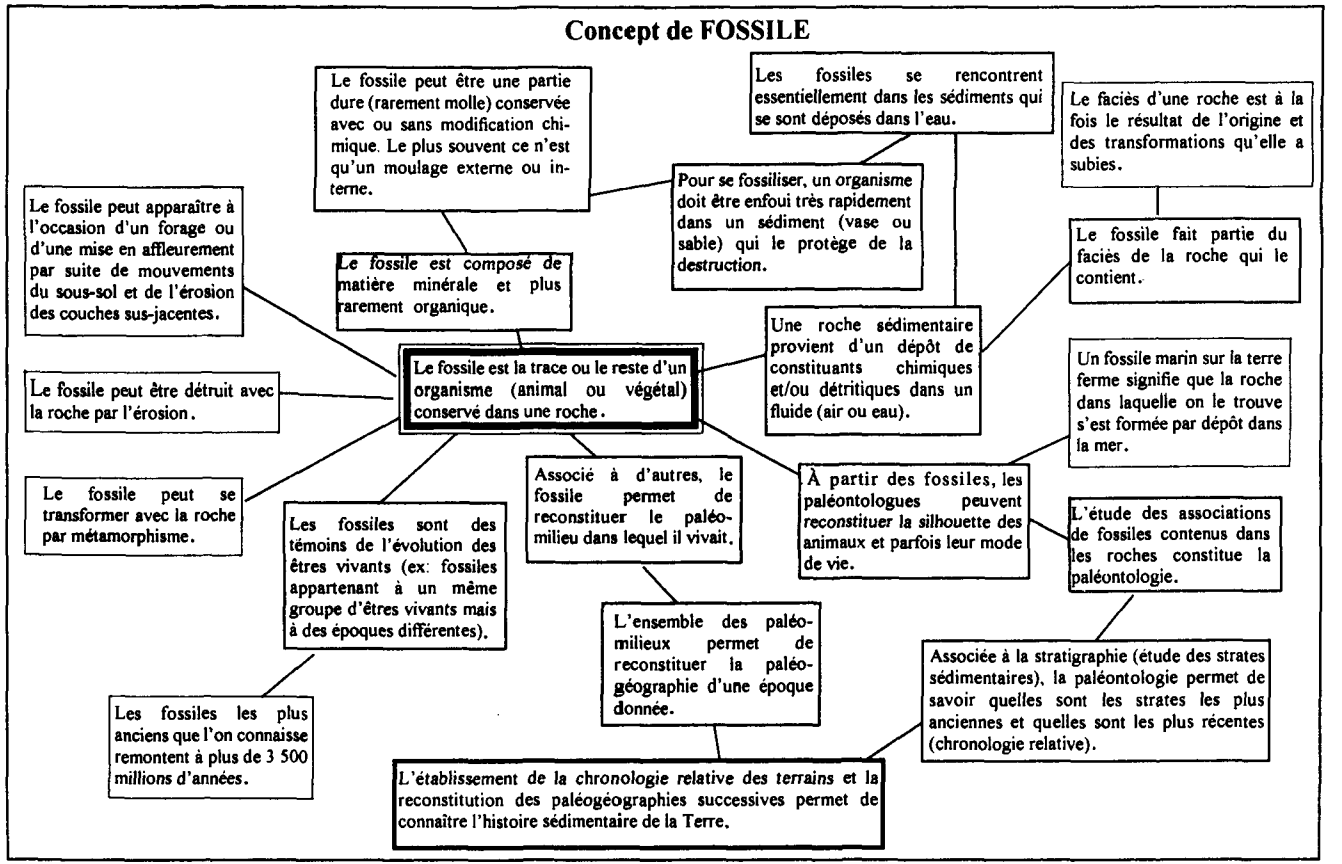
- ***Troisième étape : analyse des représentations des élèves***

Après avoir envisagé le contenu de l'enseignement, il s'agit d'étudier comment on peut aborder la notion de fossile à l'école primaire. Nous disposons d'enregistrements de séquences de classe au cours desquelles le maître commence par faire émerger les représentations des élèves pour essayer ensuite de les faire évoluer. La présentation de cette démarche, à l'aide d'un de ces films, permet de poser le problème de la diversité des représentations des élèves et de leur origine.

Nous proposons alors aux formés d'analyser les résultats obtenus à l'occasion d'études comme celles que nous avons présentées plus haut (en 1.) : ils doivent classer les réponses des élèves en repérant les représentations qu'elles permettent de révéler. La nature des modèles explicatifs utilisés spontanément par les élèves et leur rôle dans l'apprentissage font l'objet d'une discussion au cours de laquelle le formateur introduit l'histoire des sciences comme un outil pour appréhender les obstacles à la construction du savoir.

poser le problème de la diversité et l'origine des représentations

Document 5. Trame conceptuelle "fossile"



- ***Quatrième étape : éclairages apportés par l'histoire des sciences***

Il s'agit d'aider les formés à repérer quelques-uns des obstacles et conditions de possibilité qui ont jalonné la construction historique du concept de fossile, puis à mettre en relation ces données avec l'analyse des représentations des élèves.

l'histoire des sciences comme outil pour la formation

En utilisant des textes qui relatent quelques étapes de l'histoire de la formation du concept de fossile, nous essayons de montrer les difficultés qu'il a fallu surmonter pour aboutir à la conception actuelle. Transposée au cadre des situations de classe, cette réflexion permet de considérer les conceptions des élèves avec un regard différent et de comprendre en quoi elles peuvent constituer des obstacles à l'apprentissage.

- ***Cinquième étape : phase d'application***

apprendre à construire des situations pédagogiques adéquates

Le formateur présente une stratégie qui consiste à construire des situations visant à faire évoluer les représentations des élèves. Au cours de cette phase, illustrée par des exemples issus des travaux décrits plus haut (voir 3.), nous insistons sur la nécessité qu'il y a de bien définir les progrès que l'élève doit accomplir, de savoir se limiter dans ses exigences et d'évaluer l'évolution des représentations.

Les formés sont ensuite invités à construire des situations sur le même modèle en choisissant d'autres objectifs-obstacles et à les tester dans des classes.

4.2. Les réactions des formés

Les réactions du public varient selon que l'on s'adresse à des enseignants en stage ou à des futurs professeurs des écoles. En effet, dans le cadre de la formation initiale, nous présentons à plusieurs reprises, à propos de différents domaines d'enseignement, la démarche qui consiste à prendre en compte les représentations des élèves alors qu'elle est souvent nouvelle pour les stagiaires que nous rencontrons en formation continue.

L'idée d'utiliser l'histoire des sciences pour analyser les représentations des élèves, qui constitue la principale originalité de ce travail, est généralement perçue avec intérêt par les différentes catégories de formés. Cependant, cette méthode effraie souvent du fait de l'immense culture qu'elle suppose chez l'enseignant et du temps de préparation qu'elle exige. En effet, les ouvrages d'histoire des sciences existants s'adressent à un public averti et les données que l'on voudrait en extraire ne sont pas directement accessibles. Cette remarque paraît justifiée et ne saurait qu'encourager les chercheurs en didactique des sciences à poursuivre le travail déjà engagé dans ce domaine.

Il est bien évident, toutefois, que nous cherchons essentiellement à montrer aux formés les présupposés qui sont à la base de la démarche pédagogique à laquelle nous voulons les initier. En effet, cette démarche, parfois qualifiée de *nouvelle pédagogie* pour les sciences, peut être appréhendée comme une recette que certains enseignants utilisent comme une sorte de rite sans trop en voir l'intérêt et la portée. Ce module de formation est donc l'occasion d'expliciter à quelle épistémologie et à quelles théories de l'apprentissage cette pratique peut être rattachée.

mieux qu'une recette, un modèle pédagogique de référence

Par ailleurs, en ce qui concerne l'analyse du contenu, les formés sont souvent surpris par la méthode utilisée à cette fin et notamment par l'élaboration de la trame conceptuelle dont ils ne voient pas toujours l'intérêt, dans l'immédiat. Beaucoup d'entre eux rencontrent des difficultés dans ce travail car il les oblige à opérer un changement dans leurs modes de pensée. En effet, le plus souvent, l'image qu'ils ont des sciences s'apparente davantage à une accumulation de savoirs alors que ce que nous proposons relève d'une analyse systémique. Nous avons toutefois observé, chaque fois que nous avons proposé une telle situation, tant en formation initiale qu'en formation continue, que les formés s'impliquent dans la tâche demandée de façon très sérieuse. Eux-mêmes s'aperçoivent, *a posteriori*, du travail qu'ils ont accompli dans leur façon de percevoir la science.

se former, c'est changer de conceptions

Notons enfin que les formés interrogés déclarent, à l'issue de ce module, avoir découvert l'intérêt de l'enseignement de la géologie à l'école primaire et parfois remis en cause leur aversion pour la géologie. Donner le goût d'une discipline, et particulièrement de la géologie qui est souvent délaissée à l'école primaire, ne constitue-t-il pas un des objectifs de la formation ? Quant aux effets de cette formation sur les pratiques pédagogiques, ils restent à vérifier, même si les enseignants affirment qu'ils procéderont désormais différemment, en utilisant les résultats des analyses proposées.

CONCLUSION

La conception de l'enseignement des sciences qui semble encore prédominer aujourd'hui chez les enseignants tend à privilégier l'accumulation des connaissances pour expliquer la construction du savoir. S'il est vrai qu'un défaut de savoir peut représenter un obstacle, il ne suffit pas toujours à expliquer l'émergence tardive de certaines explications. L'exemple que nous avons choisi d'étudier, permet de montrer, en utilisant l'histoire des sciences, le parcours sinueux qui conduit à la construction d'un concept scientifique.

Dans le cadre de la formation, la référence à l'histoire des sciences est souvent appréciée par les enseignants qui la

considèrent comme un moyen d'enrichir leur culture. Du point de vue du formateur, l'histoire des sciences peut être utilisée comme outil pour éclairer l'enseignement d'un concept. C'est dans cette perspective que nous avons travaillé pour construire le module de formation présenté. La stratégie que nous utilisons à cette occasion permet de conduire une réflexion sur l'apprentissage des concepts de la géologie et d'envisager une pratique pédagogique basée sur le modèle constructiviste.

vers l'appropriation du modèle constructiviste

Ce module est en effet l'occasion de montrer de façon concrète, c'est-à-dire en se basant sur des situations de classe, comment prendre en compte les représentations des élèves et les faire évoluer. Les obstacles relatifs aux temps géologiques et à la formation des fossiles étant très fréquents en CM, il faut en effet aider les maîtres à construire un enseignement efficace qui permette aux élèves de progresser ultérieurement par rapport aux problèmes d'évolution et de stratigraphie.

Colette GOUANELLE
Patricia SCHNEEBERGER
IUFM de Bordeaux
Équipe de recherche en didactique de la biologie et de la géologie du LADIST