

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

Jean-Charles Allain

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

séismes et
éruptions
volcaniques

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

1. LE CHAMP NOTIONNEL

1.1. Un cadre de référence

dans les
programmes et
instructions
officielles

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

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

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

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

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

- Tectonique globale."

1.2. Des problèmes de transposition didactique

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

ne pas donner
une image trop
caricaturale de
la théorie

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

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

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

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

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

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

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

comment traduire sans trahir

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

deux familles d'éruptions

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

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

2.1. Méthodologie

recueil des conceptions initiales

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

repérer les stratégies mentales

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

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

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

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

2.2. Conceptions à propos des volcans

description
stéréotypée

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

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

prégnance des
aspects
spectaculaires et
catastrophiques

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

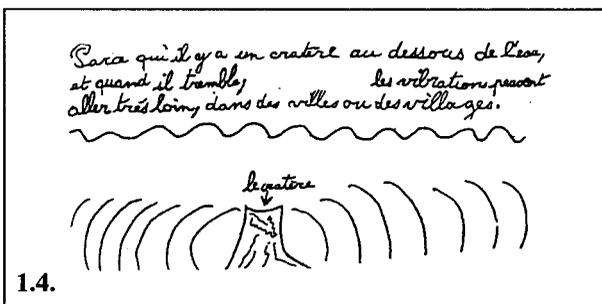
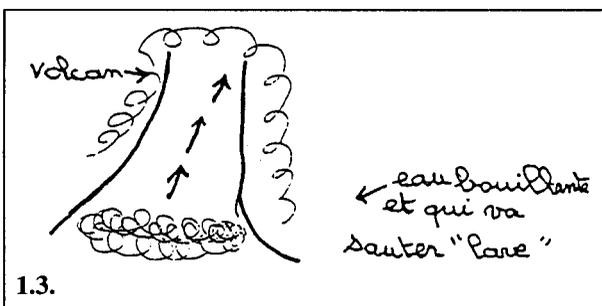
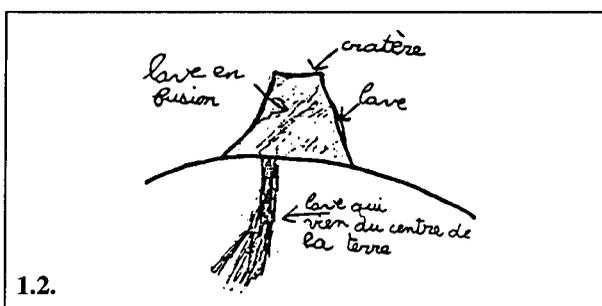
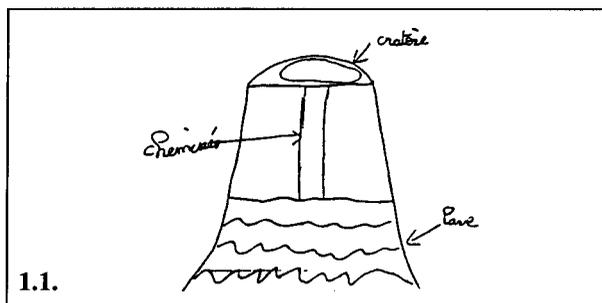


Figure 1. Quelques exemples de conceptions initiales sur les volcans et les causes des tremblements de terre (Cours Moyen)

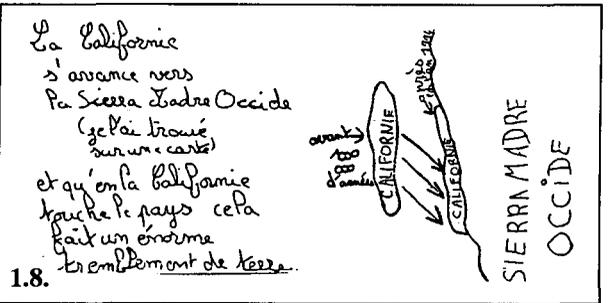
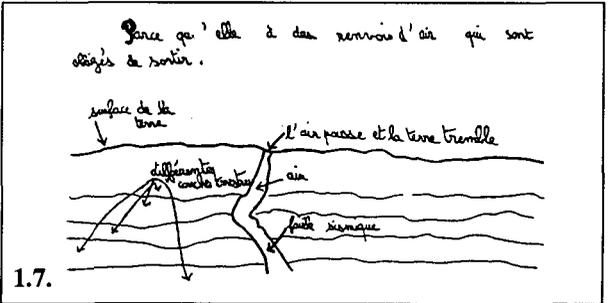
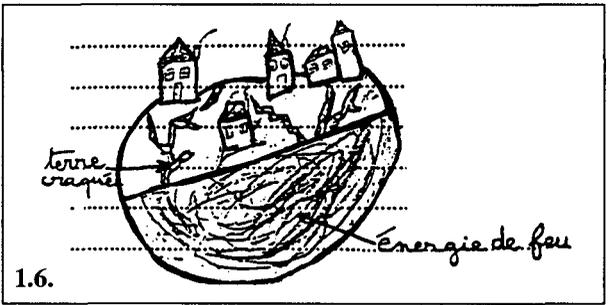
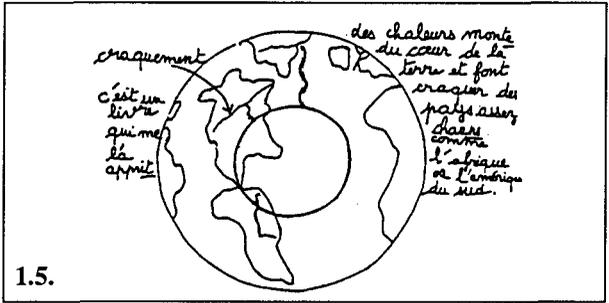


Figure 1 (suite). Quelques exemples de conceptions initiales sur les volcans et les causes des tremblements de terre (Cours Moyen)

des tentatives
d'explication de
nature physique

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

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

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

2.3. Conceptions à propos des séismes

des conceptions
variées...

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

mais des
catégories
constantes

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

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

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

les volcans

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

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

chaleur, feu,
vibrations
internes, air

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

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

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

- **Des causes atmosphériques**

vent, climat
chaud ou froid...

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

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

... pollution
atmosphérique

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

• **Des causes tectoniques**

causes
tectoniques
locales...

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

ou à grande
échelle

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

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

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

• **La rotation de la Terre**

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

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

- **Des causes humaines**

plus rarement
des causes
humaines

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

- **Des causes extra-terrestres**

les météorites

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

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

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

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

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

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

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

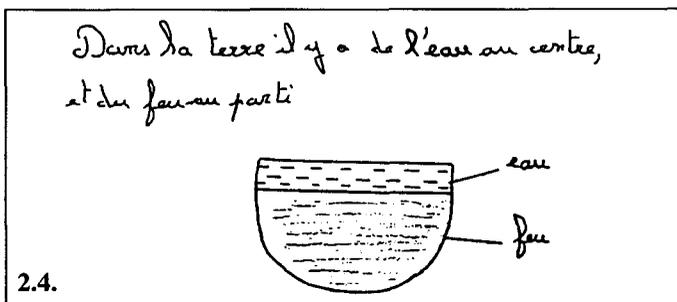
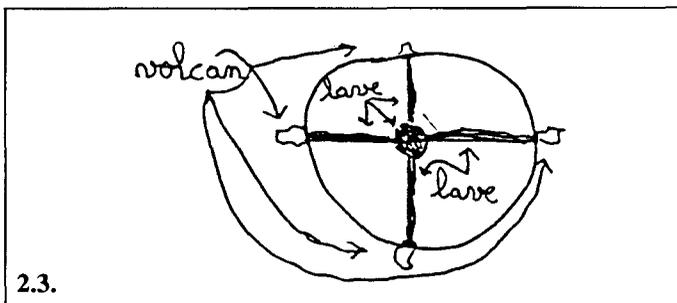
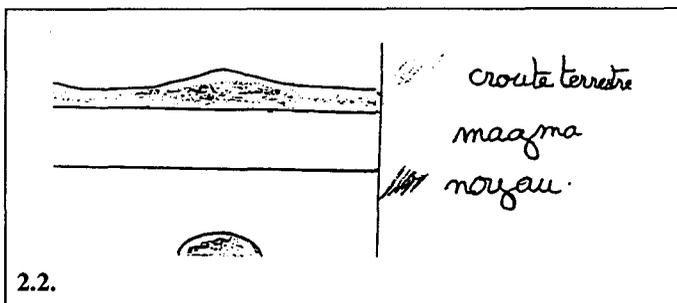
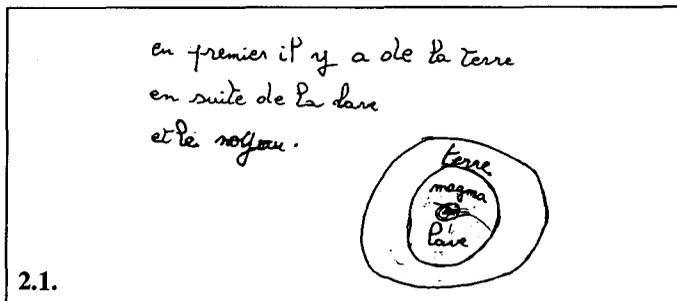


Figure 2. Quelques exemples de conceptions initiales à propos de l'intérieur de la Terre (Cours Moyen)

une couche
uniforme de
magma

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

des difficultés

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

2.5. Analyse

des conceptions
variées et
hétérogènes

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

recours à des
causes naturelles

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

un stade
précurseur ?

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

• *Des systèmes explicatifs efficaces provisoirement*

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

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

passages
obligés ?

• Des sources de difficultés

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

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

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

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

des adhérences
anthropo-
morphiques peu
fréquentes

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

influence de
l'actualité

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

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

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

difficulté pour
dépasser
l'échelle humaine

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

Des confusions existent dans le vocabulaire :

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

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

des
protoconcepts
remodelables...
plutôt que des
obstacles forts

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

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

un monde
fascinant

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

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

des sources
multiples

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

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

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

impact des
apports
télévisuels

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

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

des erreurs,
des confusions

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

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

2.7. Résistance au changement conceptuel

quelques
conceptions
résistent...

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

mais la plupart
évoquent...

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

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

... avec
une approche
didactique
utilisant
des images

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

Là, les images peuvent être efficaces...

CONCLUSION

faire évoluer les
conceptions

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

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

plusieurs façons
de changer de
conceptions

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

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

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

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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