

VOUS AVEZ DIT : CRISTAL ? JE PENSE : VERRE

Hervé Goix

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

trois modalités
de recueil des
conceptions
des élèves...

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

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

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

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

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

Le Q-Sort était présenté de la manière suivante :

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

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

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

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

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

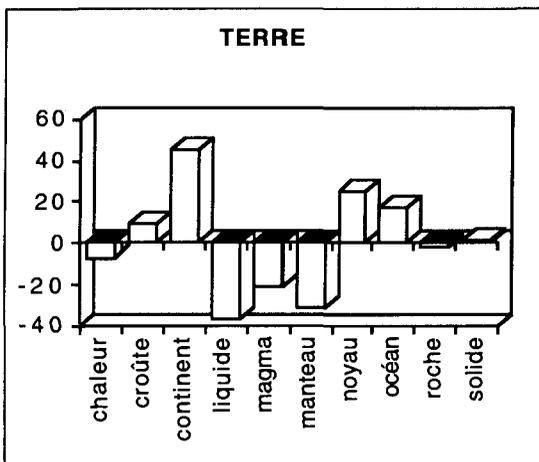
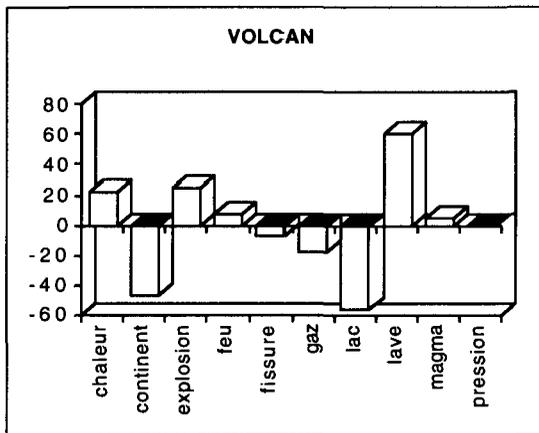
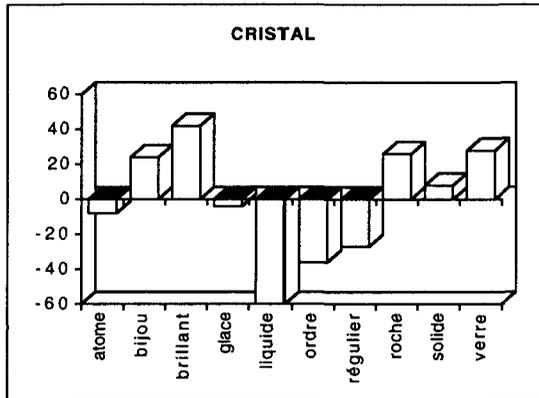
Dans le document 1 les valeurs apparaissant en "ordonnées" correspondent à la force de l'accord ou du rejet. Elles ont été calculées de la manière suivante : les mots ont été affectés d'un coefficient "+2, +1, -1, -2" selon qu'ils étaient fortement associés, moyennement associés, moyennement rejetés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

Ces résultats appellent plusieurs remarques.

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

* une Terre avec un noyau

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

un test qui a ses limites

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

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

(3) voir pages suivantes

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

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

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

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

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

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

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

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

• Du volcan-soupape au volcan-sec

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

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

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

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

trois types
principaux de
volcans

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

• Durcissement ou cristallisation ?

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

le basalte :
du magma figé
ou de la lave
séchée

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

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

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

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

• Mécanisme de l'éruption

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

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

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

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

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

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

1.3. Le cristal : poupée gigogne ou objet composite ?

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

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

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

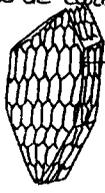
L'analyse des productions d'élèves (document 2, ci-dessous) montre deux types principaux de réponses.

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

du cristal, défini par sa forme...

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

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



molécule
de
carbonate
de
calcium

Jean-Joseph

Alexandre

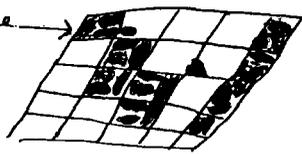


cristal de
calcite

ensemble
des
molécules
de
calcite

autres
matières

Aurore



cassure
de

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

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

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

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

des résistances à
une évolution
conceptuelle

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

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

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

1.4. La Terre : un globe à structure de pêche

la Terre, une
boule en fusion...

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

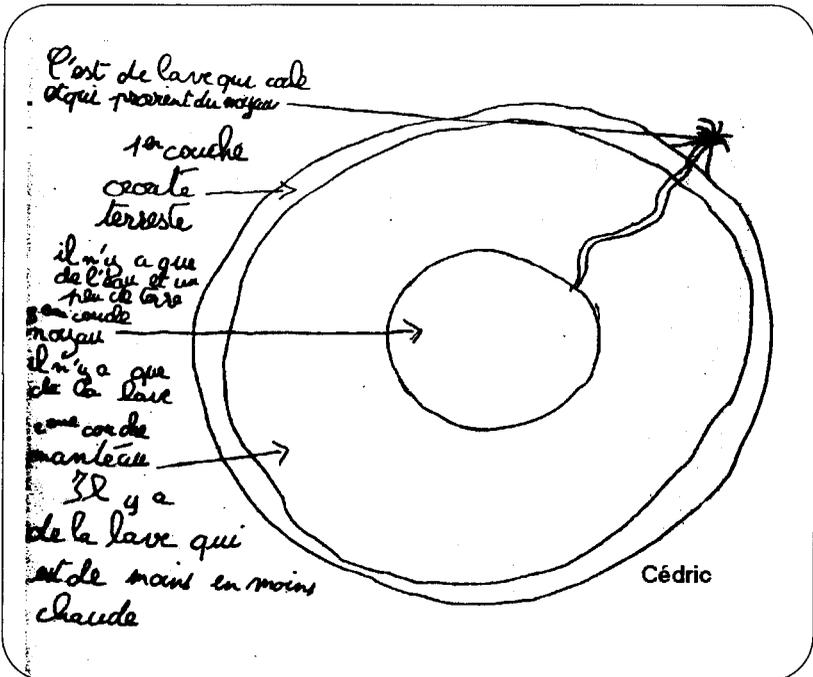
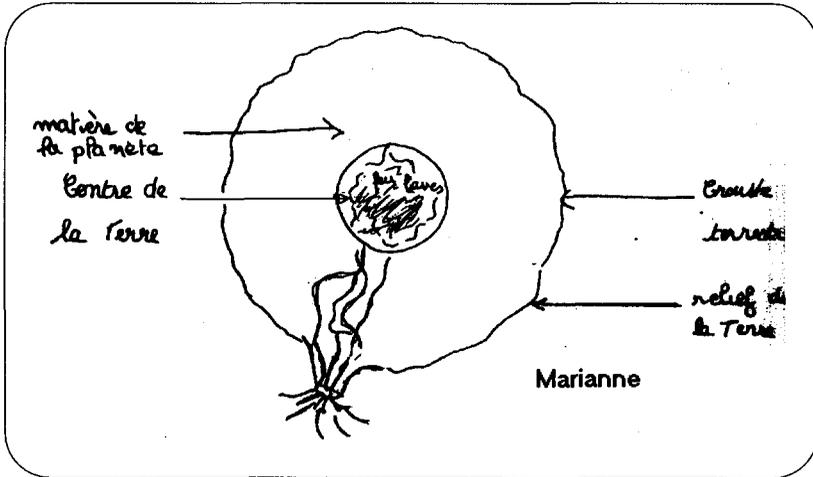
Les représentations graphiques réalisées par les élèves sont complémentaires de ce que nous avons vu au niveau du Q-Sort. Il y a bien cohérence dans les conceptions relevées. Le globe terrestre apparaît souvent composé de trois parties : une écorce, un noyau et entre les deux une zone parfois appelée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

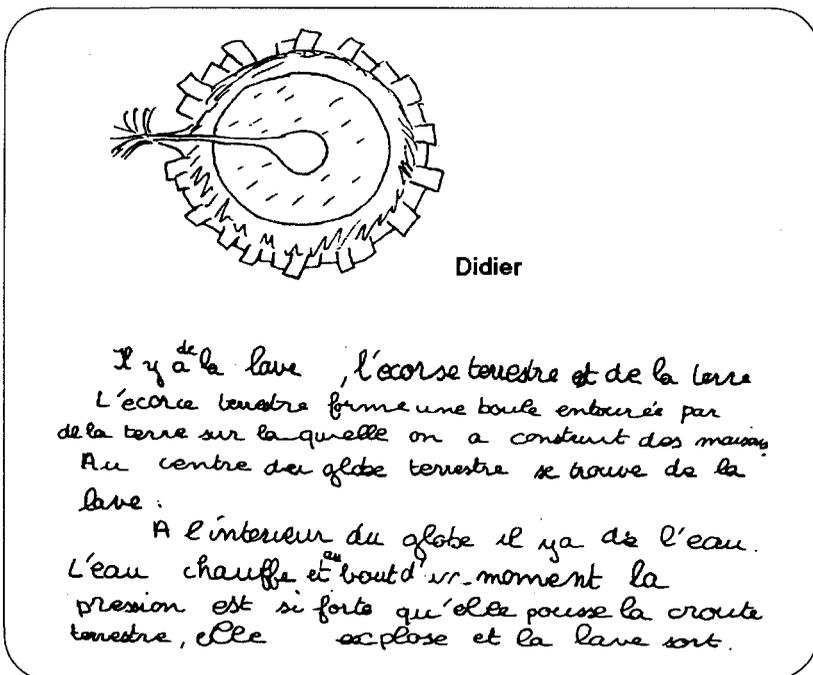
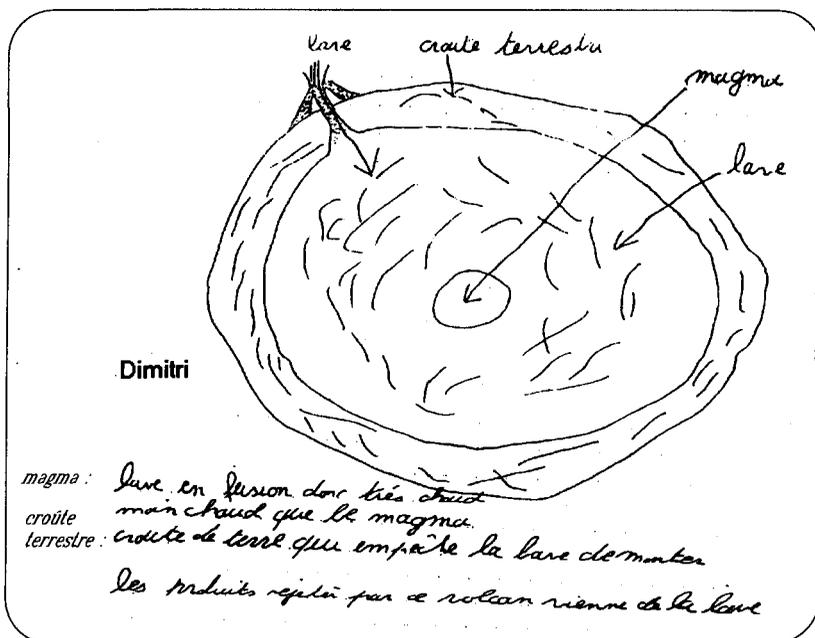
- Le noyau est soit une boule de feu (Marianne), soit une réserve de lave (Marianne, Didier, Dimitri).
- Le "manteau", liquide, est constitué soit par du magma (ou de la lave), soit par de l'eau.
- L'écorce a pour rôle de "protéger" la Terre ou "d'empêcher" la lave de s'échapper.

...avec des
volcans,
soupapes de
sécurité

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

Document 3. Exemples de représentations de la Terre en coupe





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

2. DES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES AUX OBSTACLES

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

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

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

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

2.1. Des formulations ponctuelles aux obstacles transversaux

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

l'enseignement
comme moyen
de modifier des
représentations

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

Ces obstacles sont de plusieurs ordres.

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

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

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

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

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

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

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

des obstacles
variés...

...présents dans
divers domaines
des sciences

2.2. Les conceptions relèvent d'un fonctionnement cognitif

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

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

trois formulations
qui résistent

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

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

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

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

des questions de
manuels scolaires
en dehors du
questionnement
des élèves

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Document 4. Conceptions, aides et obstacles

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Continents, océans, structure du Globe.

Tectonique globale.

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

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

Une roche granitique (gisement, structure).

Si nous situons l'analyse précédente par rapport au libellé des programmes, nous pensons que l'objectif de l'enseignant, en quatrième, pourrait être de faire évoluer les conceptions des élèves par rapport aux trois grands types que nous avons formalisés plus haut :

bâtit une trame qui tienne compte des programmes et des élèves

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

3.1. Les cristaux ne correspondent pas à une organisation précise de la matière

Les élèves en sont souvent à un niveau que nous avons qualifié d'a-scientifique. Pour eux, les cristaux ne sont pas un objet d'étude géologique. Ils résultent du travail de l'homme (taille, moulage), ils sont beaux (brillants), on les trouve dans les grottes. Il en est de même du verre qui n'est qu'un produit industriel, transparent, dont on se sert pour obturer les fenêtres tout en laissant passer la lumière. Il faut sortir l'élève de cet artificialisme prégnant.

construire une formulation du concept de cristal...

Quelle formulation des concepts de verre et de cristal vise l'enseignant ? **Un cristal est un solide formé par refroidissement lent d'un liquide ou par précipitation à partir d'une solution ; le verre est un solide obtenu par refroidissement rapide d'un liquide.** Il y a donc une grande marge séparant les conceptions des élèves du niveau conceptuel visé par l'enseignant. Il semble difficile de combler cet écart, difficulté d'autant plus grande que nous y voyons trois obstacles en interaction entre eux :

- difficulté de considérer ces deux matières comme différentes à l'échelle moléculaire ;
- difficulté de penser qu'une même matière (liquide par exemple) peut donner du cristal et du verre par refroidissement ;
- difficulté de considérer les cristaux comme une classe d'objets aux critères bien définis.

L'objectif de l'enseignant sera donc de lever ces obstacles.

...en considérant les cristaux comme une classe d'objet

Une première difficulté, liée au niveau a-scientifique des élèves à leur entrée en quatrième (5) est l'absence de questionnement relatif aux cristaux. Elle est renforcée par l'idée que ces objets ne font pas partie d'une classe identifiable par des caractères communs. Nous avons noté les différentes idées persistant au sujet des cristaux. Sans progrès par rapport à cela, l'élève en restera toujours à expliquer de manière artificielle la présence de cristaux. Dépasser cet obstacle pourrait consister à le rendre capable de faire la liste des caractères spécifiques des cristaux et de ceux qui les distinguent des autres matières non cristallisées (verre, liquide, êtres vivants). Au niveau quatrième, ces caractères seraient : **solide, limité par des faces planes, possédant**

(5) Ce niveau que nous qualifions ainsi peut exister même si les élèves, dans les classes précédentes ont travaillé de manière scientifique, à partir de situations-problèmes définies. Ce passage à un autre sujet d'étude ne s'accompagne pas, spontanément, d'un transfert des compétences précédemment acquises.

des plans de clivage, se casse en donnant des fragments de formes identiques.

...en opposant
cristal et verre

La difficulté de considérer ces deux matières comme différentes est renforcée par le fait que cristal et verre (le quartz hyalin et la vitre par exemple) peuvent avoir la même apparence, par la confusion verbale entre les deux termes : dans l'expression verre en cristal, verre désigne l'objet, cristal désigne la matière. Par contre nous avons vu que ne pas faire de différence entre les deux concepts amène l'élève à ne pas pouvoir expliquer la différence de cassure entre un cristal (qui donne généralement des formes géométriques identiques) et du verre (qui donne une cassure conchoïdale). L'objectif du professeur, par rapport à cet obstacle, pourrait donc être de rendre l'élève capable d'expliquer cette différence des formes obtenues. À ce niveau, la formulation du concept peut être la suivante : **la forme du cristal correspond à une disposition régulière des particules qui le composent (molécules en quatrième), l'absence de forme caractéristique des fragments de verre correspondant à une disposition désordonnée de ces particules.** Pour cela l'élève doit savoir que la matière est constituée de particules, que les cristaux sont des solides généralement limités par des faces planes et présentant souvent des plans de clivage contrairement au verre.

...en sachant
que cristaux et
verre sont
composés de
particules
présentes dans le
liquide originel

La difficulté de penser qu'un même liquide peut donner soit du verre soit des cristaux, est renforcée par l'idée qu'ils rencontent généralement ces matériaux indépendamment les uns des autres. Ils n'ont pas alors l'occasion de confronter leur origine. De plus cela renforce leur conception que ce sont des substances différentes. Ils n'ont jamais eu l'occasion, au cours de leur scolarité et dans la vie de tous les jours, de s'intéresser à cette distinction. Dépasser cet obstacle suppose avoir compris que la structure de ces deux états de la matière solide est liée à une organisation particulière précise, que l'on retrouve les mêmes particules dans le solide et dans le liquide, avoir observé des exemples de liquides donnant en fonction de la durée du refroidissement les deux types de structure. Le concept visé pourrait alors être formulé ainsi : **les cristaux résultent du refroidissement lent d'un liquide qui donnerait, par refroidissement rapide, du verre.**

3.2. Une roche n'a pas d'histoire

Comme précédemment, nous retrouvons un niveau de formulation que nous pourrions qualifier de a-scientifique : les roches sont des éléments du paysage au même titre que les fleuves, les arbres, les maisons... Les élèves ne se posent pas de ces questions au sujet de ces objets inertes qui les entourent. À cette formulation sont associées les réponses (6) d'élèves suivantes :

-
- (6) Il leur avait été demandé d'indiquer à quels mots ils associaient le mot roche.

dépasser l'idée
qu'une roche n'a
pas d'histoire...

"les roches se trouvent dans les champs"

"une roche est un caillou, un roc, un rocher ..."

"les carrières laissent voir des roches"

"les montagnes sont faites de roches"

"elles servent de maison ou de cachette pour les animaux".

C'est l'aspect perceptif qui domine, aspect qui n'est pas générateur de questionnement. Il est "naturel" et en ce sens "normal" de voir des roches dans son entourage.

Or que vise l'enseignant des Sciences de la Vie et de la Terre ? Il veut faire acquérir aux élèves l'idée suivante : **les roches ont une structure et un mode de gisement précis qui témoignent des conditions dans lesquelles la roche s'est formée.** Cette formulation s'actualise ensuite en fonction des roches étudiées (roches d'origine magmatique, sédimentaire ou métamorphique). Si c'est une roche d'origine magmatique nous associerons un refroidissement, en deux temps, du magma à la structure microlitique, si c'est une roche d'origine sédimentaire cristallisée, la précipitation et le dépôt à partir d'une solution sursaturée. Les élèves doivent alors avoir intégré les concepts de cristal et de verre, de sédimentation.

Comment passer de cet état a-scientifique, qui correspond souvent à l'esprit des élèves à l'entrée en quatrième, au niveau conceptuel visé ?

Nous avons repéré deux obstacles qui s'opposent à ce changement conceptuel, dont un commun avec l'étude précédente :

...en les
considérant
comme une
classe d'objets

- difficulté de considérer les roches comme une classe d'objets ;
- difficulté de considérer les roches comme le résultat de transformations physiques (changement d'état, déformation, précipitation) ou chimiques, et la surface de la Terre, à une époque antérieure, différente de celle que nous connaissons actuellement.

La difficulté de considérer les roches comme une classe d'objets est renforcée par les observations courantes auxquelles font écho les réponses des élèves. De plus, beaucoup de roches sont classées en fonction de leurs qualités comme matériaux de construction. Lorsque l'on débute le cours de quatrième, les roches sont souvent abordées par ce biais. Veiller à ne pas en rester aux qualités ou défauts de matériaux de construction mais proposer une explication de ces propriétés à partir de la structure des roches utilisées peut être un moyen de dépasser ce stade. Dans le cas contraire, on reste en deçà de l'obstacle que l'on pensait traiter, c'est-à-dire que l'on n'aura pas fait progresser l'élève par rapport à l'idée de roches - "classe d'objets". Au niveau de la quatrième, les caractères spécifiques des objets de cette classe pourraient être les suivants :

...en ne
s'arrêtant pas
aux seules
observations
actuelles

- **solides ;**

- **non-vivants ;**
- **constituent le sous-sol de la Terre ;**
- **composés d'éléments variés (grains, pâte homogène, fossiles) ;**
- **ont un mode de gisement précis (massif, couches...).**

Le deuxième obstacle est renforcé par le fait que les roches sont solides : il est donc difficile de les imaginer sous un autre état. De plus, elles sont aujourd'hui à la surface de la Terre, donc dans des conditions thermodynamiques différentes de celles du milieu dans lequel elles se sont formées. Et cela d'autant plus que la surface actuelle résulte, elle aussi, de phénomènes qu'ils n'ont pas vus se produire. Autre fait qui renforce cet obstacle : les transformations qu'ils connaissent se déroulent dans un temps très court alors que les roches résultent de processus lents.

3.3. La Terre est un globe contenant une énorme réserve de magma

Nous avons vu que cette idée pouvait se présenter sous deux aspects : le magma occupe tout l'intérieur de la Terre ou le magma en occupe seulement le noyau. La formulation visée par l'enseignant est : **le magma est créé en certains endroits du manteau ou de la croûte**. La différence entre les deux conceptions, celle de l'élève et celle de l'enseignant, est que, dans le premier cas le magma existe et l'élève ne se pose pas la question de son mode de formation, alors que dans le second cas le géologue met en relation la formation du magma et certains phénomènes liés à la tectonique globale (zones de divergence ou de convergence de plaques lithosphériques, points chauds). L'histoire des sciences nous a montré que l'idée d'une Terre solide (à l'exception du noyau externe), admise par les géologues, est finalement très récente : elle date de ce siècle. Plus symptomatique encore, est le fait que les géophysiciens l'ont admis bien avant les géologues, à partir de l'analyse de la propagation des ondes sismiques. Certains géophysiciens, sous la bannière de H. Jeffreys, se sont même opposés à la théorie de Wegener parce qu'ils considéraient que la Terre était plus rigide que l'acier.

Trois obstacles peuvent être mis en évidence.

- Le premier se traduit par la difficulté de sortir d'un cycle de phénomènes qui, comme son nom l'indique, "boucle" à la manière d'un programme informatique dans lequel on aurait oublié d'insérer une instruction permettant de sortir d'une procédure. C'est la recherche de la "bonne forme" citée par J.-P. Astolfi et B. Peterfalvi (1993). En effet, pour ces élèves, le centre de la Terre est assimilé à un feu (peut-être sans flamme) qui chauffe le noyau et rend liquide ses constituants. Ces derniers remontent pour donner de la lave ou bien chauffent le reste des roches de la Terre, qui fondent,

penser que le magma n'a pas toujours existé...

...en dépassant
les idées sur la
transmutation

ce qui donne de la lave qui remonte à la surface. Tout est très cohérent dans ce système.

La résistance au changement conceptuel est renforcée par l'idée de transmutation, phénomène bien ancré dans l'esprit des élèves, qui permet de transformer une substance composée de nickel et de fer en d'autres substances composées de silice, d'aluminium et autres cations. Elle est également renforcée par des connaissances qu'ils ont depuis longtemps (ils savent qu'il y a dans le monde de nombreux volcans qui rejettent de la lave, ce qui va dans le sens d'un intérieur liquide) ou des faits qu'ils ont découverts depuis peu (l'analyse des ondes sismiques S indique la présence d'une zone liquide à 2 900 km de profondeur). Enfin le déplacement des plaques, les courants de convection mantellique, qui supposent, à leurs yeux, un substrat fluide, accentuent encore cette idée de Terre liquide, parfois renforcée par ce qu'on lit dans certains manuels : les plaques flottent sur l'asthénosphère.

Le dépassement de cet obstacle est lié à l'acquisition, par les élèves, de l'idée que des atomes ne peuvent pas se transformer en d'autres atomes. Cela est-il possible en quatrième ? Rien n'est moins sûr car tout dépend de l'ordre dans lequel le programme de chimie aura été traité par nos collègues de sciences physiques. Cependant, il peut être possible de construire avec les élèves un modèle alternatif, qui ne réfute pas celui-ci, mais soit aussi confortable d'un point de vue intellectuel : c'est la formation de magma à partir de matière solide composant la croûte ou le manteau. Il y aura évidemment compétition pendant un certain temps entre ces deux explications.

...en sortant
du couple
solide/liquide

• La difficulté de différencier le comportement des matériaux à long terme, de celui qu'ils ont à court terme, semble être un deuxième obstacle à l'évolution conceptuelle. Cet obstacle est renforcé par le primat de la perception et est donc en relation avec le premier obstacle. Il est également renforcé par l'usage exclusif du couple de termes *solide/liquide*. Ces termes opposent bien sûr les continents et l'eau des océans, la lave et les roches, mais servent aussi souvent de référence pour qualifier la lithosphère et l'asthénosphère même si des nuances sont apportées : dans les manuels scolaires, la lithosphère est souvent qualifiée de solide par rapport à l'asthénosphère considérée soit comme visqueuse, soit comme "majoritairement solide avec une faible proportion de liquide" (1 à 2% selon les manuels). Ce dernier terme attire généralement l'attention des élèves qui trouvent une explication au comportement fluide. Ne faut-il pas alors créer une rupture dans la façon d'envisager le problème et décrire la lithosphère et l'asthénosphère en terme de comportement cassant/ductile ? Ce dernier pourrait être considéré comme un comportement liquide à l'échelle des temps géologiques. La formulation obtenue pour opposer les deux zones du globe serait : **le déplacement de la lithosphère est provoqué par la déformation de l'asthénosphère duc-**

tile. Ce changement sera possible si l'élève est habitué à manipuler des objets comme la cire qui peut se déformer sous l'action de contraintes faibles mais qui se casse sous l'action de fortes contraintes appliquées dans un temps très court, et à étudier des déformations de matériaux dans des conditions de température variées : il permet de montrer la nécessité de changer de critères pour qualifier des matériaux solides.

la fusion ne
résulte pas
toujours d'un
chauffage

• Un troisième obstacle existe : pour les élèves, c'est le chauffage seul qui est capable de transformer le manteau ou la croûte en liquide. C'est le modèle de la vie courante : pratiquement toutes les fusions se produisent par chauffage, ce qui renforce cette idée. Par contre elle ne permet pas de rendre compte de liquéfaction ou de vaporisation à température constante : changement d'état du butane liquide en gaz par exemple. La rupture à introduire serait que **la fusion peut se produire par chauffage et/ou par décompression**. Nous avons bien conscience du fait que les élèves de quatrième n'ont pas encore de connaissances précises relatives au concept de pression puisqu'ils ne l'aborderont qu'en troisième. La représentation qu'ils ont de ce concept est généralement la suivante : "c'est une action (parfois une substance en mouvement) qui tasse la matière" (7). C'est d'ailleurs comme cela que certains d'entre eux expliquent l'état liquide du butane dans un briquet ou une bouteille. En enrichissant l'éventail des conditions dans lesquelles peut se produire un changement d'état, on peut les amener à reconsidérer leur explication initiale de la fusion qui deviendra possible sans variation de température mais avec une diminution de pression : l'exemple du briquet dans lequel on observe le butane à l'état liquide devenir gazeux quand on ouvre la valve est un exemple de ce qu'il est possible de faire observer aux élèves. Ce niveau de formulation permet d'expliquer le changement d'état qui se produit dans l'asthénosphère au niveau des zones de divergence.

4. LES NIVEAUX DE FORMULATION POSSIBLES DES CONCEPTS ANALYSÉS EN QUATRIÈME

élaborer
une trame
conceptuelle à
partir du savoir
"savant", des
programmes
officiels et des
conceptions
des élèves

Analyser le "savoir savant", afin de construire une séquence d'enseignement, ne peut donc se faire uniquement à partir des manuels universitaires mais en le mettant en relation avec les conceptions des élèves et les obstacles qu'elles entraînent, en plus des textes des programmes officiels. C'est ce que précise De Vecchi (Giordan, 1994) : "À notre sens, les niveaux de formulation doivent être construits à partir d'une analyse précise du concept ("savoir savant"), de l'utilisation qui en est faite et des obstacles que les appre-

(7) Ce qui ne signifie pas que l'élève pense molécules ou atomes.

nants rencontrent en construisant leur propre savoir.” En une année, le niveau de formulation d’un concept, tel que celui de *roche* ou de *magma*, s’enrichit à la lumière des obstacles surmontés.

Les documents 4, 5, 6 proposent trois trames montrant différents niveaux de formulation d’un même concept en classe de quatrième. Ces différents énoncés ont été disposés dans des cadres dont les bords sont rectilignes, les conceptions des élèves à prendre en compte pour un niveau de formulation donné sont dans un cadre à fond gris. Les flèches matérialisent le changement conceptuel d’un niveau à l’autre. Une flèche traverse généralement un cadre-conception, montrant ainsi qu’il faut dépasser cette conception. L’ensemble forme un réseau car bien souvent plusieurs concepts ou sous-concepts interviennent dans la construction du concept envisagé. C’est par exemple le cas à propos du concept de *roche* qui suppose qu’à un moment les élèves aient construit le concept de *cristal*. Ces énoncés ont été écrits sous une forme opératoire qui permette d’expliquer des phénomènes géologiques envisagés en classe.

Si nous prenons le cas du concept de *roche*, nous retrouvons les différents attributs que nous avons cités précédemment. Ils pourront être abordés ensemble ou séparément selon la progression établie. Une des formulations proposées pourrait être que la *roche* est un constituant du sous-sol (niveau 1). Le niveau supérieur sera qu’une *roche* est constitué de *grains* (niveau 2). Ce n’est plus la dureté ou la cohérence qui est importante, c’est le fait qu’elle est composée d’éléments distincts. Le fait que la *roche* a une histoire pourrait être l’objectif suivant. Les formulations sont le résultat d’activités de classe dans le cadre de leçons différentes. Elles sont donc opératoires. La notion de *roche* n’est pas étudiée sous la forme d’une monographie mais constitue un des fils conducteurs des séquences de géologie. La progression ne se fait pas toujours par emboîtement d’un niveau à un autre. Elle peut se faire par intégration de connaissances nouvelles. Ainsi passe-t-on de la formulation *la roche est constituée de grains (soudés ou non)* à la formulation *la roche est composée de cristaux et/ou de verre* après avoir construit le concept de *cristal*, ce qui correspond toujours au niveau 2 que nous avons défini plus haut.

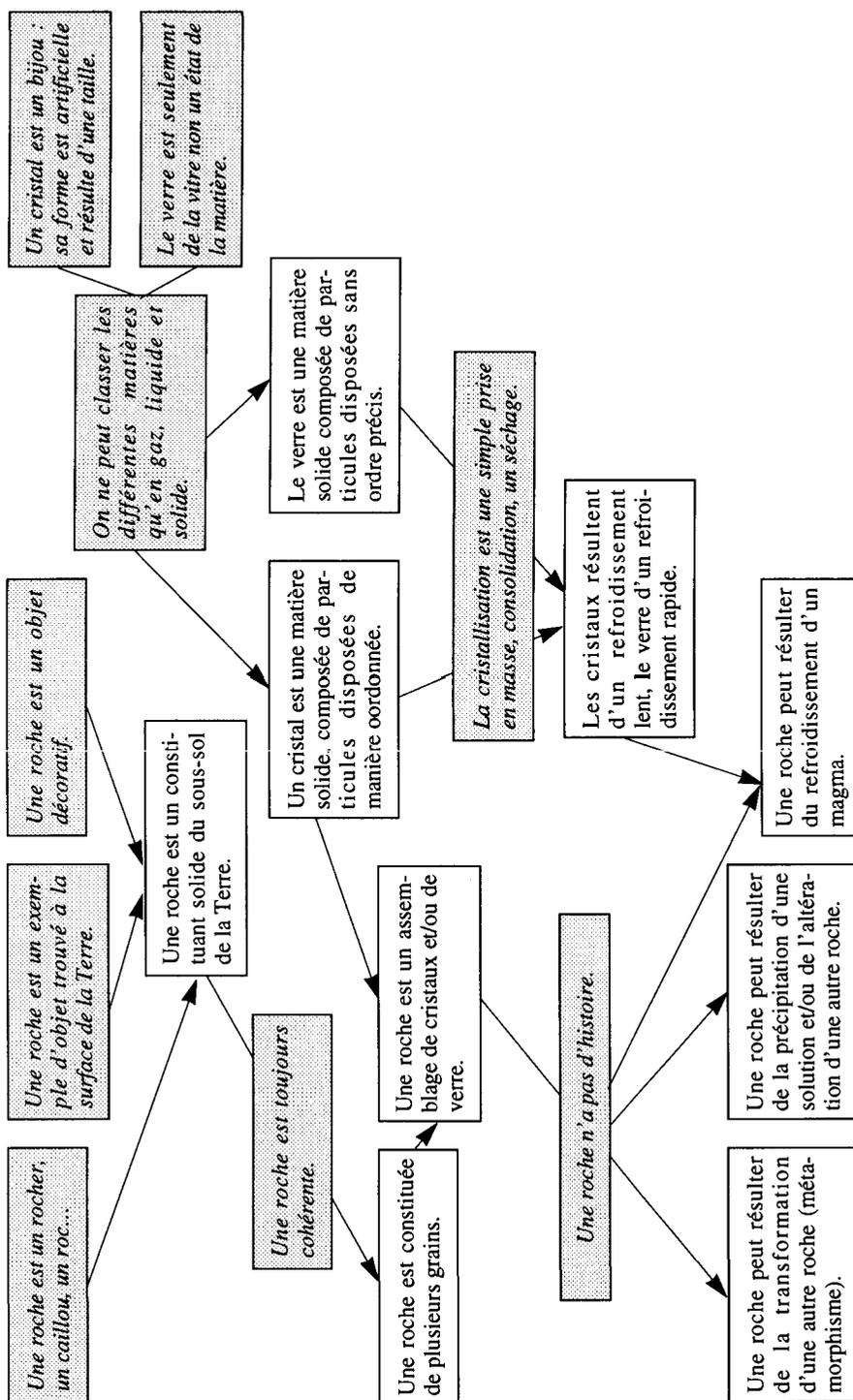
plusieurs niveaux
de formulation
pour un concept

Dans un deuxième temps, ces formulations ont été mises en regard des conceptions des élèves. Le changement de niveau se fait par modification des connaissances initiales. Ainsi passer de l’idée que la *roche* est un assemblage de cristaux à l’idée qu’une *roche* peut résulter du refroidissement d’un *magma* suppose avoir dépassé l’obstacle “*une roche (matière inerte) n’a pas d’histoire*”, ou encore, le passage de l’idée que *cristal* et *verre* sont deux solides identiques à l’idée que le *cristal* est composé de particules ordonnées alors que le *verre* est composé de particules disposées sans ordre précis, se fera si les élèves ont dépassé le stade de la pensée catégo-

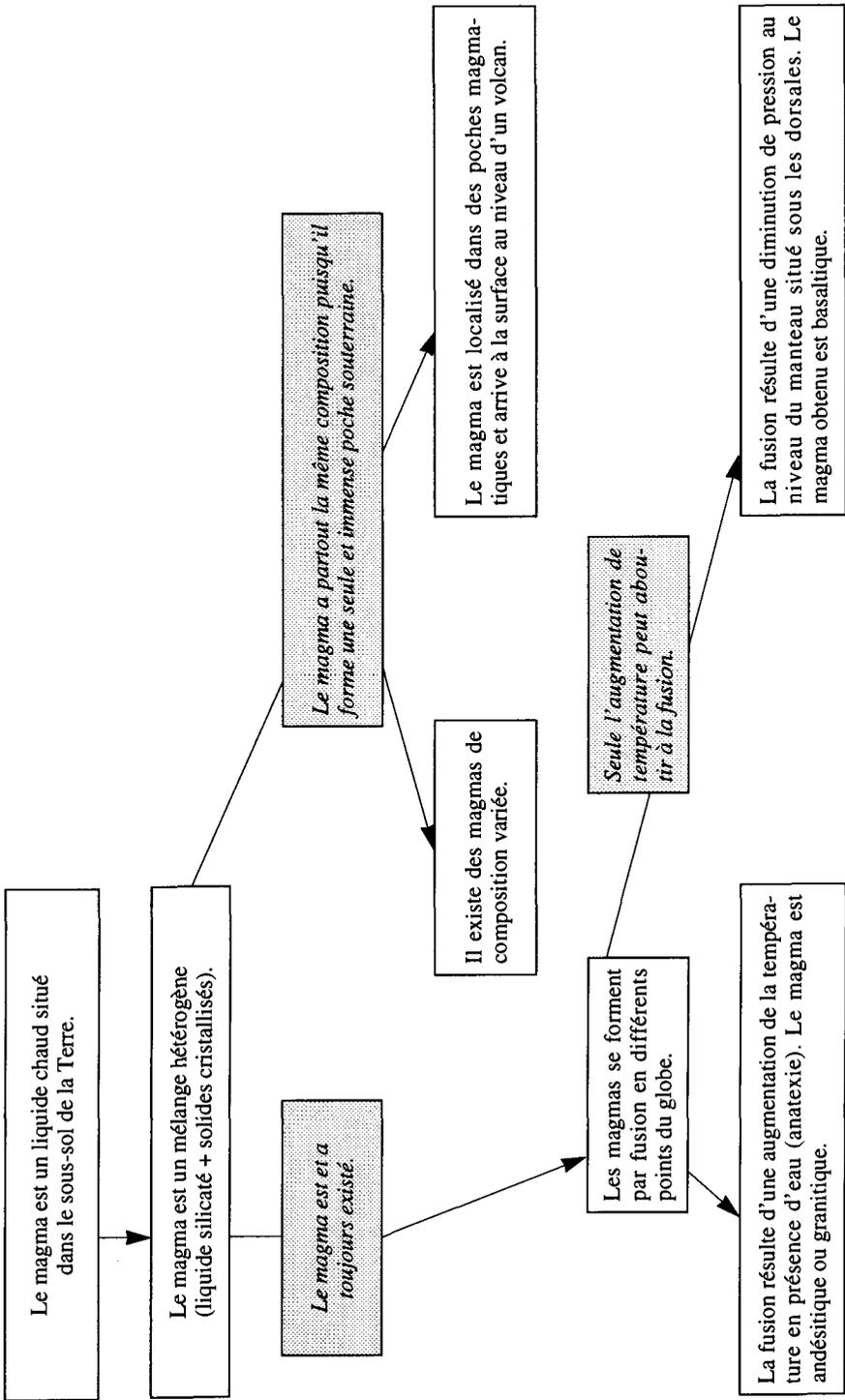
rielle qui les entraîne à considérer que toutes les substances qui appartiennent à la classe des solides ont la même structure.

De ce fait le développement des connaissances scientifiques se fait en relation avec ce que l'élève pense et non dans l'absolu. Nous retrouvons, ainsi, une définition du concept de G. Canguilhem (1983) "*un concept est une dénomination et une définition, autrement dit un nom chargé de sens, capable de remplir une fonction de discrimination dans l'interprétation de certaines observations*" (8). Cela signifie qu'il ne s'agit pas seulement d'un mot accompagné de sa définition.

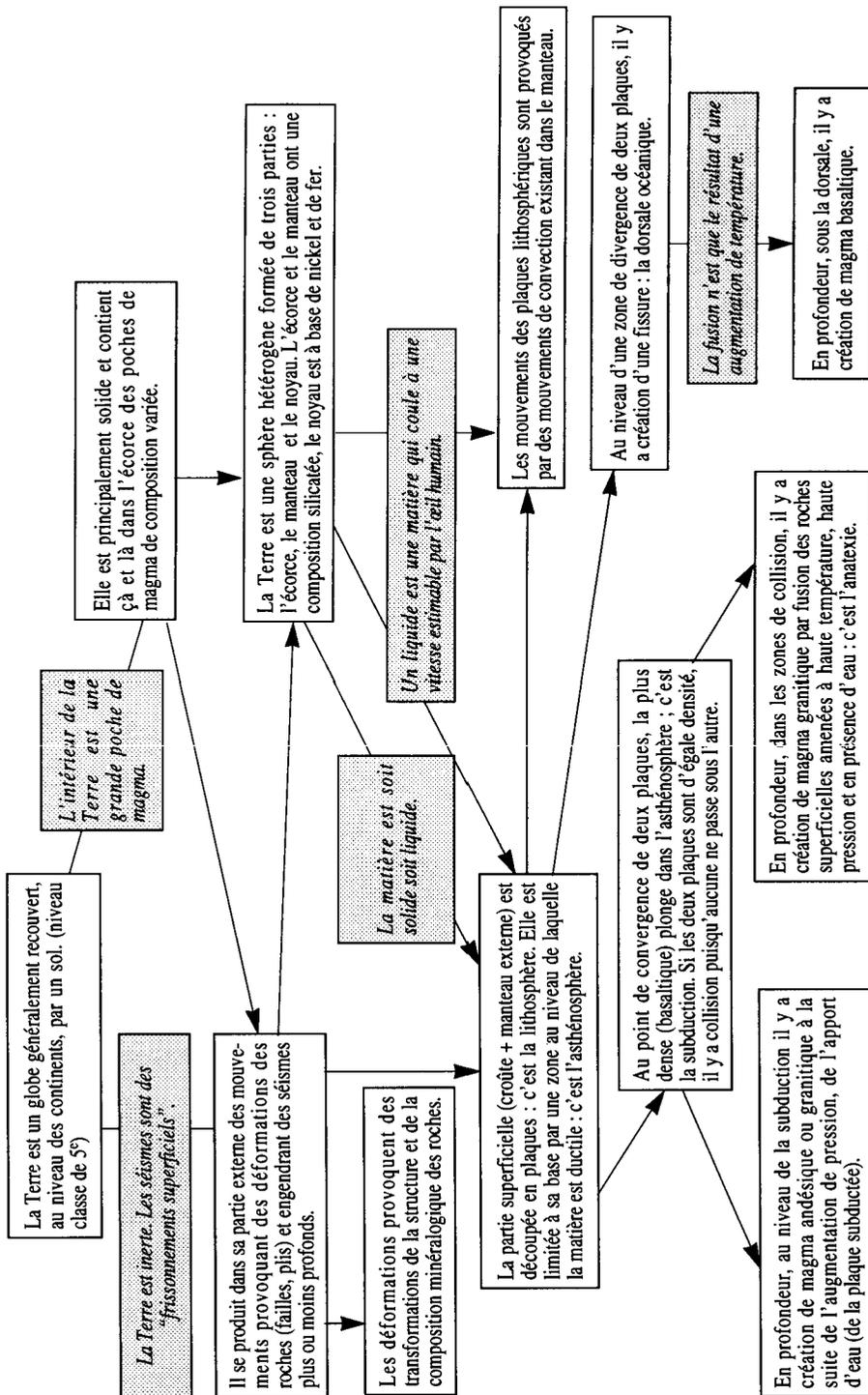
(8) Les mots ont été mis en caractères gras par nous-mêmes.



Document 4. Trame "roche, cristal, verre"



Document 5. Trame "magma"



Document 6. Trame "Terre"

5. CONCLUSION

Enseigner la géologie selon un mode constructiviste suppose une connaissance des conceptions des élèves. Beaucoup sont connues de la majorité des enseignants. Encore faut-il vouloir les faire évoluer et non pas croire que la simple déclaration de définitions va permettre la modification des préacquis. Dans la perspective hélicoïdale (plutôt que spiralaire) des programmes, il serait intéressant que le travail effectué en quatrième aide l'élève à s'approprier des concepts fondamentaux de géologie : *roche, cristal, magma* par exemple. Cela aurait trois conséquences :

de bénéfiques à court terme et à long terme

- une, à court terme, qui serait la réutilisation des connaissances sur la structure de la matière dans d'autres domaines des sciences de la vie et de la Terre (l'assimilation en classe de troisième par exemple), tout en transférant des apprentissages de sciences physiques, et de mieux manipuler les concepts de magmatisme ou métamorphisme ;
- une, à long terme : cela éviterait aux professeurs de première S de repartir de zéro. Nous pouvons postuler en effet que si, en quatrième, le professeur a dérangé quelques conceptions (telles que les idées qu'*une roche n'a pas d'histoire, que les cristaux ne correspondent pas à une organisation précise de la matière, que la Terre, étant solide, ne peut pas être animée de mouvements internes*), l'élève s'en souviendra quand on réactivera ses connaissances ;
- une autre, à long terme : une meilleure compréhension de notre discipline. Les élèves sont souvent gênés par le langage qu'il faut utiliser, la rigueur du raisonnement dont ils ne voient pas l'intérêt. Si les cours de sciences sont considérés par l'enseignant comme un moyen de faire évoluer les conceptions des élèves, ces derniers deviendront vraiment les acteurs de ce changement et les cours, de véritables situations de recherche et non des situations-gadgets.

Hervé GOIX
Collège de St Just en Chaussée (Oise)

BIBLIOGRAPHIE

ASTOLFI, Jean-Pierre, PETERFALVI, Brigitte, (1993). "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", *Aster*, n°16, p.103-141.

ASTOLFI, Jean-Pierre, et al., (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*, Paris, INRP.

BETTELHEIM, Bruno, (1976). *Psychanalyse des contes de fées*, Paris, Laffont.

CANGUILHEM, Georges, (1983). *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin.

CLÉMENT, Pierre, (1994). "Représentations, conceptions et connaissances", in *Conceptions et connaissances*, GIORDAN A., GIRAULT Y. et CLÉMENT P. (dir.), Berne, Peter Lang.

DE LAPPARENT, A., (1901). *Traité de géologie*, Paris, Masson.

DE VECCHI, Gérard, (1994). "Élaborer des "niveaux de formulations" prenant en compte des conceptions des apprenants", in *Conceptions et connaissances*, GIORDAN A., GIRAULT Y. et CLÉMENT P. (dir.), Berne, Peter Lang.

DEUNFF, Jeannine, LAMEYRE, Jean et al. (1990). *Contribution à la définition de modèles didactiques pour une approche de la géologie à l'école élémentaire et dans la formation des maîtres*, Paris, Direction des écoles, réédité (1995) au CRDP Poitou-Charentes.

GIORDAN, André, DE VECCHI, Gérard, (1987). *Les origines du savoir*, Paris, Delachaux & Niestlé.

GIORDAN, André, HENRIQUES, Andrroula, VINH BANG (dir.), (1989). *Psychologie génétique et didactique des sciences*, Berne, Peter Lang.

PETERFALVI, Brigitte (coord.) (1992). *Recherche ROOSA (Objectifs-obstacles et situations d'apprentissage autour du concept de transformation de matière)*, document n°3, Paris, INRP (document interne).

VÉRIN, Anne, PETERFALVI, Brigitte, (1985). "Un instrument d'analyse des modèles implicites de l'enseignement scientifique chez les enseignants", *Aster*, n°1, p. 7-28.