

# Éclairage scientifique

***La définition que je donne du risque majeur, c'est la menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, la menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassée par l'immensité du désastre.***

**Haroun TAZIEFF**

***Serait-ce donc à dire que la nature doit être soumise à nos lois et que, pour lui interdire un tremblement de terre en quelque lieu, nous n'avons qu'à y bâtir une ville?***

**Jean-Jacques ROUSSEAU**

# Mythes et légendes

Depuis toujours, les manifestations colériques de la terre telles que les volcans ou les tremblements de terre ont inspiré à l'humanité à la fois de la crainte et de l'admiration. La méconnaissance de ces phénomènes naturels, associée à l'ampleur des catastrophes sur les sociétés humaines, en a fait l'objet de mythes et de légendes.

## Sur les volcans

Sur tous les continents, et à des époques variées, les volcans ont été considérés comme des manifestations de forces surnaturelles ou divines, contribuant parfois à des pratiques rituelles telles que des sacrifices humains ou animaux.

Les mythes sont très nombreux, et variés, mais nous n'en évoquerons que quelques exemples.

### En Europe

C'est dans la mythologie romaine que le mot « volcan » trouve ses origines. Ainsi, Vulcain, fils de Jupiter et Junon, est le maître du feu, de la forge et des volcans. Rejeté par sa mère après sa naissance à cause de son physique ingrat, il fut recueilli par Thétys et Eurynomé. Pour certains, Vulcain installa ensuite ses forges dans les profondeurs d'un cratère appelé Vulcano, situé dans les îles Éoliennes, en Sicile. D'autres préfèrent le situer sous l'Etna. Il reçut en mariage Vénus, aussi belle que lui-même était laid. Vénus le méprisait et le trompait souvent, l'entraînant dans de terribles colères : les éruptions volcaniques.

Ce personnage est lui-même inspiré de la mythologie grecque, selon laquelle Hephaïstos s'était réfugié avec les Cyclopes dans les entrailles de l'Etna. Les éruptions volcaniques étaient associées à son travail qui consistait à forger les armes des dieux, notamment les foudres de Zeus.

### En Amérique du Nord

Les Indiens peuplant l'Oregon pensaient que le dieu du feu résidait dans le mont Masama et que le mont Shasta était la demeure du dieu de la neige. La rivalité existant entre le bien (la neige) et le mal (le feu) déboucha sur un conflit au cours duquel le dieu du feu fut vaincu et le mont Masama décapité, formant ainsi la caldeira de Crater Lake.

Sur l'archipel d'Hawaï, la légende de la déesse Pelé est très célèbre. Symbole de la jeunesse et de la beauté, elle s'est réfugiée sous le Kilauéa suite à de nombreuses querelles avec sa sœur Namakaokahai, déesse de l'océan. À la moindre contrariété, Pelé déverse des flots de lave et ouvre les cratères d'un simple coup de talon.

Le culte à la déesse Pelé est encore très présent chez les Hawaïens, qui voient ses cheveux jaillir des fontaines de lave et son corps se dessiner dans les coulées de lave. De nombreuses cérémonies continuent d'être organisées en son honneur.

### En Amérique du Sud

Pour de nombreux peuples d'Amérique latine, les volcans étaient des lieux sacrés, au sommet desquels des sanctuaires ont été édifiés et où l'on a retrouvé des corps de jeunes filles sacrifiées.

Les Aztèques considéraient les éruptions comme un signe des dieux qui protestaient contre les conquistadors accusés de profaner leurs lieux sacrés.

En l'an 1600, au Pérou, le volcan Huaynaputina entra en éruption. Pensant que les volcans étaient reliés par des galeries, les Indiens s'attendaient à ce que le volcan Misti, tout proche, entre lui aussi en éruption pour chasser les conquistadors. Il n'en fut rien, et cette absence de réaction du volcan fut interprétée comme une acceptation de la présence espagnole. Pour cette raison, le volcan fut rebaptisé du nom de San Francisco.

## 6 Éclairage scientifique

## En Océanie

Pour le peuple maori, trois grands volcans vivaient sur l'île de la Nouvelle-Zélande du Nord. Il s'agissait du mont Taranaki (aussi connu sous le nom de volcan Egmont), de son épouse Ruapehu et du volcan Tongariro. Une violente dispute éclata un jour entre les deux volcans mâles, Taranaki et Tongariro, tous deux amoureux de Ruapehu. Taranaki perdit le combat et s'enfuit vers l'ouest, créant ainsi la rivière Wanganui.

Aujourd'hui, Ruapehu et Taranaki, toujours amoureux, s'envoient parfois des panaches de fumée tandis que Tongariro fume et se consume de colère.

Les Maoris évitent de s'établir entre les deux volcans ennemis, de peur qu'une nouvelle querelle éclate un jour.

## En Asie

Dans l'île de Java, on raconte qu'il y a très longtemps, un couple vivait dans un village, à proximité du mont Bromo. Le couple, malheureux de ne pas avoir d'enfant, demanda au dieu résidant dans le volcan de leur donner une descendance. Le dieu accepta à la condition de sacrifier un enfant dans le cratère du mont Bromo. Ils acceptèrent, sans trop réfléchir, et donnèrent naissance à vingt-cinq enfants, qu'ils refusèrent de sacrifier tant ils les aimaient.

Si bien qu'un jour, le mont Bromo entra en éruption, causant beaucoup de victimes par ses nuées ardentes. L'homme et la femme se rappelèrent alors leur promesse et acceptèrent de sacrifier un des enfants, le plus jeune. Par la suite, ils firent régulièrement des offrandes au cratère.

Depuis, une fois par an, une cérémonie se tient sur les flancs du volcan, au cours de laquelle ont lieu des prières, des sacrifices et des offrandes : des animaux, des fleurs et de l'argent sont jetés dans le cratère.

## Sur les séismes

Les légendes concernant les séismes sont bien moins nombreuses que pour les volcans. Nous ne pouvons qu'émettre des hypothèses pour expliquer cette différence :

- un volcan laisse après une éruption un édifice majestueux... et un séisme rien du tout (à qui, et où faire des offrandes, dans ce cas?) ;
- une éruption est un phénomène assez long et très spectaculaire, tandis qu'un séisme ne dure que quelques secondes et se manifeste uniquement par des tremblements ;
- le principal danger, au cours d'un séisme, c'est l'effondrement des bâtiments. Cela devait être relativement rare et sans grande conséquence à une époque où la population était majoritairement rurale et très dispersée.

Le Japon, malgré tout, a développé des légendes autour des séismes, dont la plus répandue raconte que l'archipel repose sur le dos d'un poisson-chat géant, nommé Namazu. Celui-ci est surveillé par le dieu Kashima Daimyojin, le seul capable de le maîtriser. Qu'il relâche un tant soit peu son attention et le poisson-chat en profite pour bouger dans tous les sens, ce qui cause des tremblements de terre et occasionne de nombreuses destructions.

Il existe de nombreuses fresques racontant l'histoire de Namazu et de Kashima Daimyojin.

Il est à noter que les poissons-chats sont effectivement très sensibles aux signes avant-coureurs d'un séisme et que de nombreux témoignages relatent le comportement étrange de cet animal dans les heures précédant certains tremblements de terre.

Aujourd'hui, l'image du poisson-chat est utilisée dans les alertes retentissant sur les téléphones portables, les ordinateurs et à la télévision, ainsi que sur certains panneaux routiers signalant des routes fermées en cas de risque majeur de tremblement de terre.

## Sur les tsunamis

L'archipel de Santorin, aussi appelé Théra, est composé aujourd'hui de cinq îles distinctes, se situant au sud-est de la Grèce, dans la mer Égée. Il s'agit d'un véritable port naturel dont la forme circulaire correspond à une caldeira, effondrement de la partie centrale d'un volcan, qui entra en éruption et explosa à l'époque minoenne, aux alentours de 1500 av. J.-C.

Cette éruption, l'une des plus importantes de l'Antiquité, provoqua un cataclysme sur l'ensemble de la région méditerranéenne. L'explosion et l'effondrement du volcan provoquèrent en effet un gigantesque tsunami qui ravagea les côtes méditerranéennes, détruisant ainsi la civilisation minoenne en Crète.

Cet événement catastrophique fut sans doute à l'origine du mythe de l'Atlantide. On retrouve une trace de cette légende dans le *Timée*, de Platon. Critias le Jeune rapporte à Socrate une histoire qu'il a entendue :

*[...] dans le temps qui suivit, il se fit des tremblements de terre violents et des cataclysmes; dans l'espace d'un jour et d'une nuit funestes qui survinrent, [...] le peuple entier, en masse, s'enfonça sous la terre, et pareillement l'île Atlantide s'enfonça sous la mer et disparut. De là vient que de nos jours encore, là-bas la mer est impraticable et inexplorable, encombrée par les bas-fonds de vase que l'île a déposés en s'abîmant.*

## La planète Terre

### Une naissance tumultueuse

L'activité actuelle de la Terre est le fruit d'une histoire longue et mouvementée.

Notre planète naît il y a environ 4,6 milliards d'années dans le disque de matière qui entoure alors le Soleil en formation, disque dans lequel gaz et poussières s'agglomèrent en petits corps rocheux. Ces planétoïdes, en s'entrechoquant, s'agrègent pour finalement former un corps de plus en plus gros, la Terre.

Soumise à un intense bombardement météoritique pendant des dizaines de millions d'années, la planète est chauffée à plus de 4 000 °C, et se trouve donc entièrement à l'état liquide (c'est une « boule de magma »). Les éléments les plus lourds tombent au centre, pour former le noyau, tandis que les plus légers remontent à la surface.

La Terre se refroidit peu à peu, et une croûte se forme à sa surface, bloquant les échanges de chaleur avec l'extérieur. En conséquence, la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère se condense brutalement, donnant naissance aux océans. Les impacts météoritiques sont de plus en plus rares... mais d'une violence suffisante pour faire évaporer l'ensemble des océans et liquéfier une partie de la croûte... qui se reforme jusqu'à l'impact suivant. Ce manège durera plusieurs centaines de millions d'années.

### Un déséquilibre énergétique

La Terre d'aujourd'hui est, certes, plus calme, mais encore très active. Sous sa surface désormais refroidie, elle reste très chaude, avec un cœur à plus de 6 000 °C. Cette chaleur est produite par la radioactivité naturelle: des éléments lourds, tels l'uranium ou le thorium, se désintègrent au cours du temps et libèrent de grandes quantités d'énergie: environ 20 000 milliards de watts par an ( $20 \times 10^{12}$  W/an). Parmi tous les modes de transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement), seule la convection est assez efficace pour permettre à une telle quantité d'énergie de circuler. La matière est mise en mouvement, de la même manière que, dans une casserole, l'eau chauffée par le bas remonte à la surface où elle se refroidit avant de replonger. Dans le manteau terrestre, la matière est solide: ces mouvements de convection sont donc très lents, de l'ordre de quelques millimètres par an (cf. encadré ci-contre).

## 8 Éclairage scientifique

Ainsi, c'est ce déséquilibre énergétique entre un cœur chaud et une surface froide qui fait de la Terre une planète active, avec une tectonique, des volcans... et même une atmosphère et des océans! En effet, l'atmosphère primaire de la Terre s'est rapidement échappée vers l'espace, en raison de la faible gravité de notre planète. Si la terre est habitable, c'est parce que l'activité volcanique, en libérant de grandes quantités de gaz, a recréé une atmosphère (dite « secondaire ») et l'alimente toujours aujourd'hui. Sur Mars où la gravité est encore plus faible et où l'activité volcanique a progressivement disparu (la planète est plus petite et moins massive que la Terre, elle renfermait donc moins d'éléments radioactifs), cela a entraîné la raréfaction de son atmosphère secondaire. Aujourd'hui, la pression atmosphérique martienne est tellement faible qu'elle ne permet même plus à l'eau d'être liquide. Radioactivité, volcanisme, atmosphère, eau liquide, vie... tout est lié!

## Une structure en poupées gigognes

Comme nous l'avons vu plus haut, la Terre a connu un épisode de « différenciation », au cours duquel les éléments les plus lourds sont tombés au centre et les plus légers sont remontés vers la surface. C'est ce qui explique sa structure actuelle, en poupées gigognes :

### ● Le noyau (15% du volume de la planète)

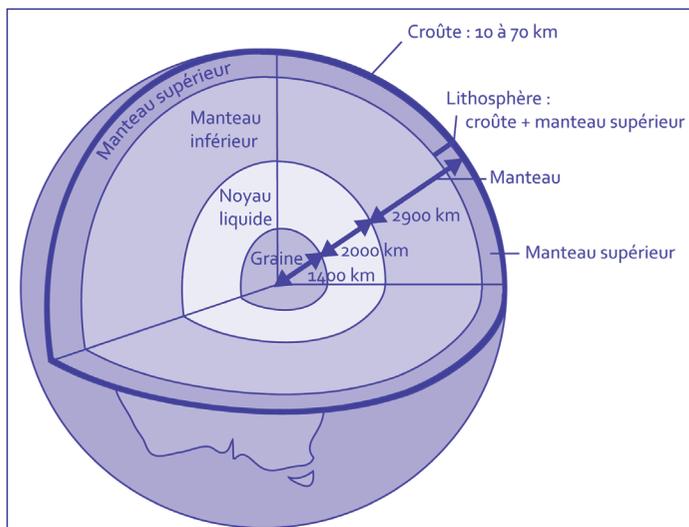
Essentiellement composé de fer et de nickel, le noyau est liquide à sa périphérie mais solide au centre, en raison de la très forte pression. On parle pour cette raison de noyau interne et de noyau externe. Le noyau externe est très fluide, siège d'écoulements de fer liquide à l'origine du champ magnétique terrestre qui, outre le fait qu'il oriente nos boussoles, nous protège des particules de haute énergie du vent solaire. Lorsque la Terre se sera suffisamment refroidie pour que son noyau soit entièrement solide, elle perdra son champ magnétique et la vie telle que nous la connaissons ne sera plus possible.

### ● Le manteau (84% du volume de la planète)

Le manteau est constitué de roches riches en fer et en magnésium. Bien qu'étant solide, il se comporte comme un liquide visqueux si on l'observe sur de longues périodes de temps (cf. encadré). Il est le siège d'importants mouvements de convection qui sont à l'origine de la tectonique des plaques et des points chauds.

### ● La croûte (1% du volume de la planète)

Principalement constituée de roches granitiques sur les continents, et basaltiques sous les océans, la croûte terrestre est peu épaisse (30 à 70 km sous les continents, 5 à 10 km sous les océans) et plus rigide que le manteau, car plus froide.



### Comment une matière solide peut-elle s'écouler ?

Solide, liquide... ces notions sont somme toute assez relatives et dépendent des échelles de temps auxquelles on s'intéresse. À l'échelle d'une vie humaine, le manteau terrestre est solide (c'est de la roche!). Observé à l'échelle du million d'années, il peut s'écouler comme un liquide très visqueux (100 millions de milliards de fois plus visqueux que l'eau). Il faut environ 200 millions d'années à une portion de manteau terrestre pour effectuer le cycle d'une cellule de convection.

On utilisera donc, dans cet ouvrage... et en classe, les mots « solide » et « liquide » en référence aux échelles de temps humaines. Ainsi, le manteau est solide... mais parfois, localement, il peut fondre et devenir liquide (le magma : voir plus loin, chapitre sur les volcans).

Les scientifiques parlent de manteau « plastique » pour désigner le manteau supérieur, tandis que le manteau inférieur est qualifié de « visqueux ». Ce changement de comportement (solide, puis plastique, puis visqueux) s'explique par l'augmentation de la température et de la pression au fur et à mesure que l'on s'enfonce vers le centre de la Terre, ainsi que par des changements dans la composition chimique des roches.

## Des plaques en mouvement

Les mouvements de convection ayant cours dans le manteau ont pour effet de craqueler la lithosphère (partie supérieure du manteau supérieur + croûte) en plaques, qu'on appelle «tectoniques» ou «lithosphériques», et qui sont en mouvement permanent les unes par rapport aux autres, avec des vitesses allant de 1 à 20 cm par an.

Cette activité est à l'origine du plancher océanique, des chaînes de montagnes, des éruptions volcaniques et des séismes :

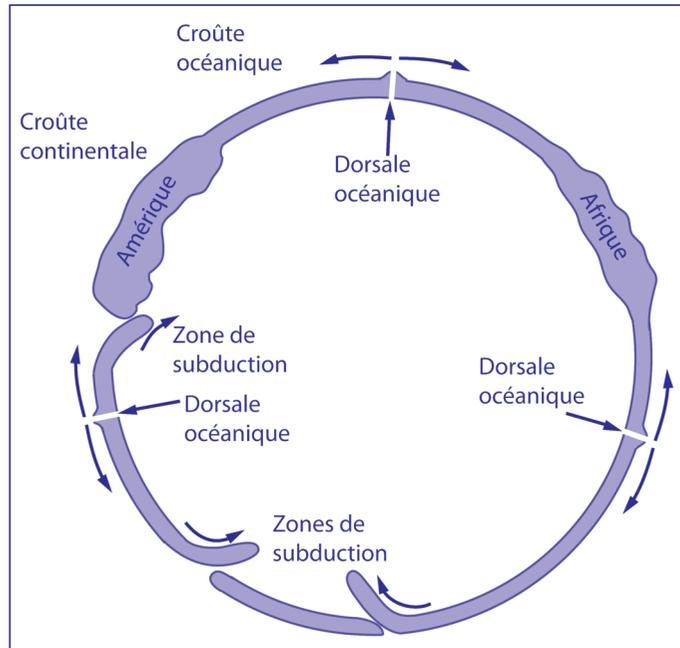
- Lorsque deux plaques s'éloignent l'une de l'autre, l'espace laissé entre elles est comblé par le magma, chaud et liquide, qui remonte à la surface. Ce volcanisme effusif (voir page 12), très actif, forme ce que l'on appelle les dorsales océaniques, à l'origine du renouvellement des fonds marins. L'Islande est l'un des rares endroits où ce volcanisme émerge, ce qui permet de l'observer facilement.

- Lorsque deux plaques se rapprochent l'une de l'autre, deux cas sont possibles :

- Si l'une des deux plaques est plus dense que l'autre, elle plonge dessous et s'enfonce profondément dans le manteau. Ce phénomène, appelé subduction, est à l'origine de forts tremblements de terre et d'un volcanisme explosif (voir page 12), à l'œuvre, par exemple, dans la ceinture de feu du Pacifique.

- Si les deux plaques sont de même densité, elles entrent en collision, l'une passant sous l'autre mais en restant plaquée par-dessous. Les roches et les sédiments sont plissés et soulevés, formant des chaînes de montagnes, comme l'Himalaya (à la frontière des plaques eurasienne et indienne) ou les Alpes (plaques eurasienne et africaine).

- Enfin, certaines plaques peuvent coulisser latéralement, l'une par rapport à l'autre, le long de « failles ». Ces déplacements produisent des séismes très violents, comme en Californie (faille de San Andreas, entre les plaques pacifique et nord-américaine).



## Volcans

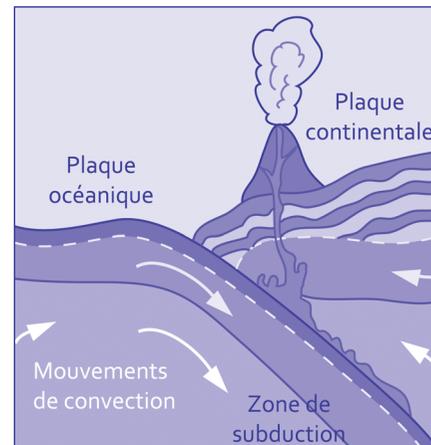
Le volcanisme est sans doute la manifestation la plus évidente de l'activité interne de la planète. Chaque année, on observe plus de 50 éruptions (aériennes), sans compter celles, permanentes, qui se déroulent le long des dorsales océaniques (éruptions sous-marines).

### Volcans de subduction

Comment la tectonique peut-elle engendrer des éruptions volcaniques ?

Lorsqu'une plaque océanique (faite de matériaux basaltiques denses) plonge sous une plaque continentale (faite de matériaux granitiques un peu moins denses), elle entraîne avec elle des sédiments riches en eau. Au fur et à mesure que la plaque s'enfonce, elle est soumise à des températures et des pressions de plus en plus importantes, si bien que les sédiments qu'elle contient perdent leur eau,

qui s'infiltré dans le manteau et provoque localement sa fusion (la température de fusion du manteau baisse très rapidement quand sa concentration en eau augmente). Le magma ainsi formé est moins dense que le reste du manteau, et monte donc vers la surface grâce à la poussée d'Archimède. En chemin, il s'enrichit d'autres minéraux (notamment des silicates) présents dans la croûte et finit par s'accumuler à quelques kilomètres de la surface, dans un réservoir qu'on nomme « chambre magmatique ».



## Volcans de point chaud.

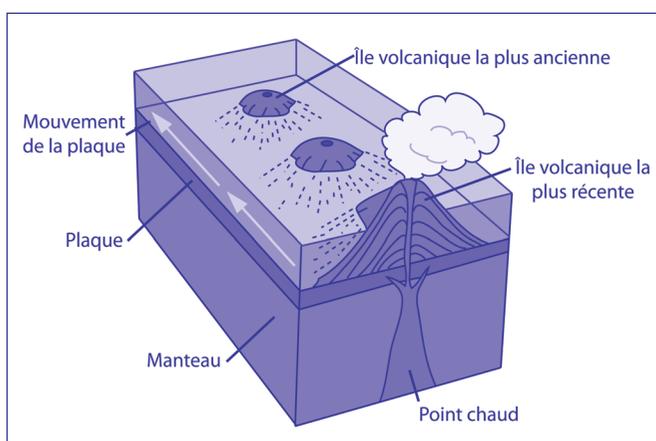
Certains volcans, assez rares (5 % de l'ensemble), ne se situent pas aux frontières mais à l'intérieur des plaques. On les appelle des volcans de « point chaud », ou volcans intraplaques. Le mécanisme de la formation du magma est très différent du cas précédent.

À l'origine, un panache de chaleur dans le manteau chauffe la base d'une plaque tectonique, et la « perce » comme un chalumeau en se frayant un chemin vers la surface, où il émerge, formant un volcan. Le point chaud est fixe... mais les plaques, en surface, se déplacent. Le volcan formé à l'aplomb du point chaud s'en éloigne donc petit à petit et finit par être coupé de la chambre magmatique. Il s'éteint, tandis qu'un nouveau volcan se forme au-dessus du point chaud.

D'une éruption à l'autre se forme ainsi, non pas un, mais plusieurs volcans, le long d'une chaîne. L'exemple le plus connu est l'archipel d'Hawaï, constitué d'une quinzaine d'îles volcaniques s'étalant sur plus de 2 500 km. C'est la chaîne de tous les records puisque le Kilauea est aujourd'hui le volcan le plus actif du monde (il est en éruption permanente depuis près de 30 ans), tandis que le Mona Loa est

le plus grand : il culmine à 4 206 m et repose sur des fonds marins à -5 500 m. Ainsi, sa hauteur totale dépasse 9 700 mètres!

Le piton de la Fournaise, sur l'île de la Réunion, est également un volcan de point chaud. Aujourd'hui un des plus actifs du monde, il est sur le point de s'éteindre, puisque déjà éloigné de plus de 400 km de son point chaud. Mais les réserves actuelles de sa chambre magmatique devraient l'alimenter pendant encore quelques milliers d'années.



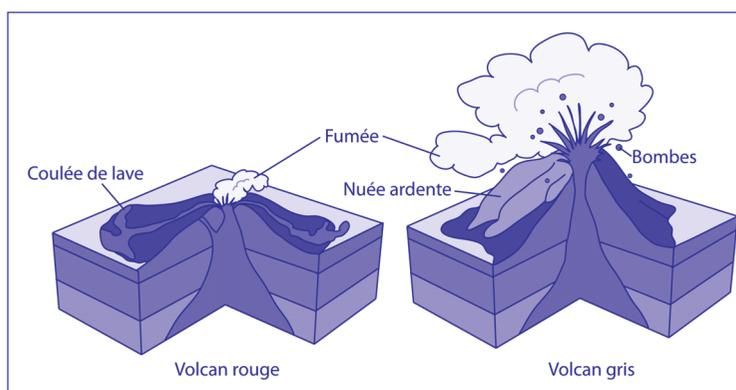
## Déclenchement d'une éruption

Le magma, on l'a vu, s'accumule peu à peu sous la surface, dans une chambre magmatique soumise à une intense pression. Arrivée à saturation, elle voit ses parois s'effondrer; la pression baisse alors brutalement, ce qui fait que l'eau, le dioxyde de carbone et le dioxyde de soufre dissous dans le magma reviennent à l'état gazeux, sous la forme de bulles. Ces bulles, en remontant vers la surface, entraînent le magma avec elles : c'est l'éruption.

## Volcans rouges, volcans gris

Dans un magma très fluide, les bulles de gaz circulent facilement, et montent alors rapidement vers la surface. Le magma, largement débarrassé de son gaz, remonte tranquillement et sort sous la forme de fontaines et de coulées de lave qui dévalent les pentes du volcan, mais ne présentent pas de dangers réels pour les populations, celles-ci ayant eu le temps d'être évacuées. Une telle éruption est qualifiée d'effusive, et un tel volcan est appelé « volcan rouge », en référence à la couleur de la lave. Les volcans rouges ont des éruptions fréquentes, mais peu violentes. Ce sont les volcans de point chaud ou les dorsales océaniques. La lave, étant très fluide, coule sur de grandes distances, ce qui donne à ces volcans des formes très étalées, en pente douce (on parle de volcans boucliers).

En revanche, dans un magma très visqueux, les bulles de gaz sont freinées et ne peuvent remonter vers la surface : elles restent « coincées » dans le magma, jusqu'à ce que la pression devienne trop forte et éjecte le mélange magma + gaz brutalement. On assiste alors à une explosion spectaculaire (qui peut parfois « décapiter » le volcan comme ce fut le cas lors de l'éruption du mont Saint Helens de 1980) et extrêmement dangereuse. Des bombes volcaniques (des fragments de roche plus ou moins solidifiés) sont éjectées, ainsi que des nuages



de cendres incandescentes, recouvrant des centaines de kilomètres carrés. Ces « cendres » sont en réalité des éclats microscopiques de roches fragmentées par l'éclatement des bulles de gaz qu'elles contiennent... et n'ont rien à voir avec de la cendre.

Parfois, un mélange brûlant de gaz, de cendres et de roches, appelé « nuée ardente », dévale les pentes du volcan à des vitesses pouvant atteindre 500 km/h et carbonise tout sur son passage. C'est ainsi que la montagne Pelée a rasé la ville de Saint-Pierre, en Martinique, en 1902, faisant 28 000 morts et ne laissant que 2 survivants.

D'autres facteurs peuvent alourdir encore le bilan de telles éruptions, notamment la présence d'eau, qu'il s'agisse de fortes pluies pendant ou après l'éruption, ou de neige fondue sous l'effet de la chaleur (bon nombre de volcans sont recouverts de neige ou de glaciers à leur sommet). Cette eau se mélange aux grandes quantités de cendres éjectées et provoque alors d'importantes coulées de boues (appelées « lahars »), qui peuvent être dévastatrices. C'est ce qui s'est passé en 1985 en Colombie, lors de l'éruption du Nevado del Ruiz : plusieurs villes, pourtant éloignées parfois de 80 km, ont été ensevelies sous les boues, causant plus de 25 000 morts.

De telles éruptions sont qualifiées d'explosives, et de tels volcans sont appelés « volcans gris », en référence aux cendres éjectées. Les volcans gris, au contraire des rouges, ont des éruptions peu fréquentes, mais très violentes. Ce sont les volcans que l'on trouve sur les zones de subduction. La lave, étant très visqueuse, coule sur de faibles distances, ce qui donne à ces volcans des formes peu étalées, à pente raide. Par ailleurs, les cônes volcaniques présentent souvent des cicatrices des anciennes explosions, rendant ainsi parfaitement reconnaissable ce type de volcans.

Notons que cette classification des volcans en deux catégories, rouge/gris, est un peu simpliste. Elle est cependant largement suffisante pour l'école primaire. Certains volcans « rouges » peuvent, parfois, connaître des éruptions explosives. C'est le cas par exemple quand une colonne de lave rencontre une nappe phréatique. La vapeur d'eau ainsi créée augmente fortement, et subitement, la pression des gaz dissous dans le magma, conférant un caractère explosif à l'éruption, même avec une lave peu visqueuse (cas fréquent dans le Massif central).

Les volcanologues définissent communément cinq types de volcans, en fonction de la viscosité de leur magma et de la quantité de gaz dissous. Du plus rouge au plus gris, on trouve les types hawaïen, strombolien, vulcanien, péléen et plinien.

## Le risque volcanique en France

Une centaine de volcans dans le monde sont considérés comme très dangereux et plus de 500 millions de personnes sont concernées par ce risque. En France, le risque volcanique concerne essentiellement les départements d'outre-mer (Guadeloupe, Martinique et Réunion) et, à un degré moindre, la Polynésie française ainsi que le Massif central.

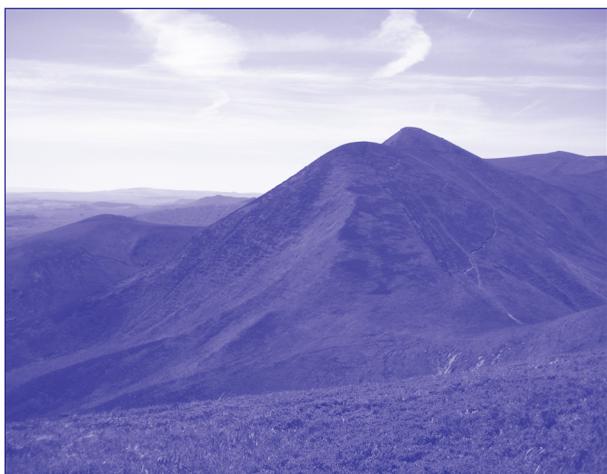
La seule éruption catastrophique survenue en France est celle de la montagne Pelée (Martinique) en 1902. Avec plus de 28 000 morts, c'est l'une des plus grandes catastrophes naturelles de l'histoire, et assurément la pire survenue en France depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle. Pour cette raison, la montagne Pelée est l'un des volcans les plus surveillés de la planète.

Un autre volcan potentiellement dangereux est celui de la Soufrière (Guadeloupe). La dernière éruption remonte à 1976, mais elle n'a fait aucune victime.

Le piton de la Fournaise (Réunion) entre en éruption quasiment chaque année, mais son caractère effusif ne cause pas de dégâts matériels ou humains importants.

La Polynésie française, tout comme la Réunion, est le siège d'un volcanisme de point chaud (donc effusif et peu dangereux). Outre des îles volcaniques, on y trouve de nombreux volcans sous-marins, dont le volcan MacDonald, qui n'est plus qu'à 27 mètres sous la surface et formera bientôt une nouvelle île.

En métropole, le Massif central offre de belles opportunités pour observer des volcans. Les chaînes



du Cantal et du Mont-Dore sont éteintes depuis longtemps, mais il n'en va pas de même pour la chaîne des Puys, composée d'une centaine de volcans plus récents. La dernière éruption date de moins de 7 000 ans (éruption au lac Pavin, en -4 700), alors qu'il faut 10 000 ans d'inactivité pour qu'un volcan soit considéré comme éteint. Ceci fait dire aux volcanologues que les volcans d'Auvergne sont en sommeil et que l'on pourrait assister un jour à leur réveil. Mais les stations de surveillance permettront de prédire cet événement plusieurs mois à l'avance.

## Les volcans sous surveillance

La plupart des volcans considérés comme dangereux sont désormais surveillés grâce au déploiement de nombreux observatoires volcanologiques. Les scientifiques cherchent à détecter les signes précurseurs des éruptions, comme des petits tremblements de terre (qui trahissent des remontées du magma), des variations minimales (quelques millimètres ou centimètres) dans la géométrie des pentes du volcan, des variations de la température des cours d'eau, des fumeroles, etc.

Ainsi, on peut espérer prévoir l'arrivée des éruptions avec de plus en plus de précision.

Cette surveillance ne suffit pas; encore faut-il être capable d'alerter rapidement les populations et de les évacuer (pour cela, il faut avoir identifié des zones sûres grâce à l'étude des coulées précédentes).

En 2000, une « Charte internationale espace et catastrophes majeures » a été initiée par l'Agence spatiale européenne (ESA) et le Centre national d'études spatiales (CNES). Ces membres fondateurs, rapidement rejoints par d'autres organismes du monde entier, s'engagent à livrer des données satellites

aux pays touchés par des catastrophes d'origine naturelle ou technologiques. Ces données, précieuses et délivrées quasiment en temps réel, permettent de connaître rapidement la nature de la catastrophe, son ampleur, les régions touchées, et ainsi de mieux coordonner les secours<sup>1</sup>.

La charte a été activée plus de 50 fois en 2010.

## Pourquoi vivre près des volcans ?

Le risque volcanique est connu depuis longtemps, mais cela n'a pas empêché les populations de s'installer près des volcans (l'explosion démographique qu'a connue le XX<sup>e</sup> siècle a d'ailleurs considérablement augmenté l'exposition des populations). Il faut dire que, si ces derniers possèdent une force destructrice considérable, ils peuvent aussi se révéler fort utiles.

Les roches et dépôts volcaniques constituent de très bons matériaux de construction, qu'il s'agisse des pierres ponces (isolantes, solides, faciles à travailler...) utilisées en Auvergne pour des habitations, ou pour des lieux de culte, ou qu'il s'agisse des cendres qui, déposées parfois sur des dizaines de mètres d'épaisseur et durcies puis érodées au fil des ans, offrent des abris naturels pour l'édification de véritables villes troglodytiques, comme on en trouve en Turquie (Cappadoce).

Les volcans fournissent quantité de métaux précieux (or, cuivre, argent, étain, soufre) qui sont bien évidemment exploités, mais également des minéraux comme le calcium, le phosphore ou le magnésium qui ensemencent la terre et rendent ces régions particulièrement fertiles. En Indonésie, on peut faire jusqu'à trois récoltes de riz par an sur les pentes des volcans, contre une seule ailleurs. Ces mêmes sels minéraux rendent les eaux islandaises particulièrement poissonneuses.

Outre ces richesses, les volcans constituent également d'importantes sources d'énergie gratuite, propre et renouvelable : sources thermales, et même centrales géothermiques, car les grandes différences de température entre le sous-sol et la surface peuvent être exploitées pour produire de l'électricité (comme sur le site de Bouillante, proche de la Soufrière, en Guadeloupe).

Enfin, ne négligeons pas les revenus dégagés par le tourisme dans ces régions fort prisées pour les activités de plein air (randonnée, alpinisme, ski, parapente...).

Pour toutes ces raisons, les zones volcaniques restent, malgré le risque, très attractives pour les populations locales.

## Séismes

La Terre est en permanence agitée de soubresauts, avec plusieurs millions de séismes enregistrés chaque année, dont la plupart passent inaperçus car trop faibles ou se produisant dans des régions inhabitées.

## Plaque contre plaque

Le mouvement des plaques les unes par rapport aux autres ne se fait pas sans heurts : il génère d'intenses frottements et impose de fortes contraintes de part et d'autre des frontières entre les plaques.

Les roches, en profondeur, se déforment alors progressivement et les contraintes s'accumulent ainsi pendant des années, voire des siècles, jusqu'à ce que le seuil d'élasticité de la roche soit dépassé. Cela conduit alors à une rupture brutale au cours de laquelle l'énergie accumulée est soudainement libérée et se propage sous la forme d'ondes, appelées ondes sismiques.

---

1. Plusieurs activités proposées dans le module pédagogique font appel à des données fournies par l'Agence spatiale européenne. Nous proposons également, en bibliographie, des pistes pédagogiques pour travailler autour de cette charte et exploiter d'autres données en classe.

Tout se passe exactement comme lorsqu'on tend un élastique, tout doucement, jusqu'à la rupture. Un séisme, ou tremblement de terre<sup>2</sup>, est donc dû au relâchement brutal d'une contrainte accumulée. Plus l'accumulation a été longue, plus grande sera l'énergie libérée.

Les séismes sont fréquents le long des failles, mais plutôt rares à l'intérieur des plaques elles-mêmes. Lorsqu'ils ont lieu, ils sont moins violents et résultent du jeu de certaines failles, correspondant à un réajustement de pression au niveau de la croûte terrestre.

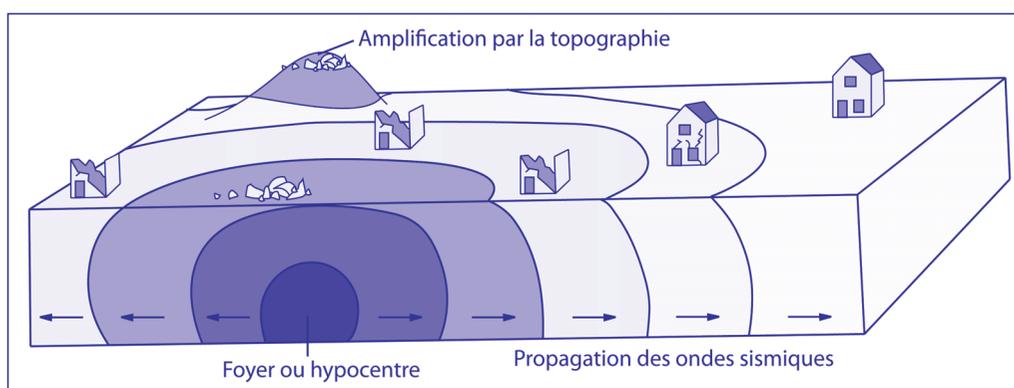
Les volcans eux-mêmes peuvent aussi être à l'origine de certains séismes ou microséismes, créés par exemple par le mouvement de la lave vers la chambre magmatique et vers la surface. De tels événements sont annonciateurs de l'imminence d'une éruption.

Enfin, certaines activités humaines, comme l'exploitation de gisements souterrains ou les essais nucléaires, peuvent engendrer des tremblements de terre modérés.

## Ondes sismiques

Les ondes sismiques sont un moyen pour la roche d'évacuer l'énergie lentement accumulée. Elles se propagent dans toutes les directions, vers la surface comme vers le centre de la Terre, formant des sphères concentriques.

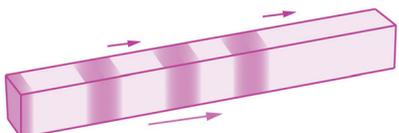
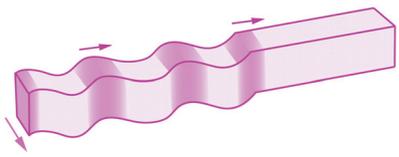
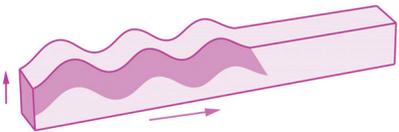
Lorsqu'on s'éloigne du centre, la surface d'une sphère croît très rapidement (elle est proportionnelle au carré du rayon): l'énergie évacuée est donc de plus en plus « diluée ». C'est pour cela que les dégâts causés par un séisme décroissent très vite dès lors qu'on s'éloigne du foyer (l'endroit, sur la faille, d'où partent les ondes)... ou de l'épicentre si l'on s'intéresse à ce qui se passe en surface. L'épicentre est situé à la verticale du foyer (le foyer est lui-même appelé « hypocentre » par les scientifiques).



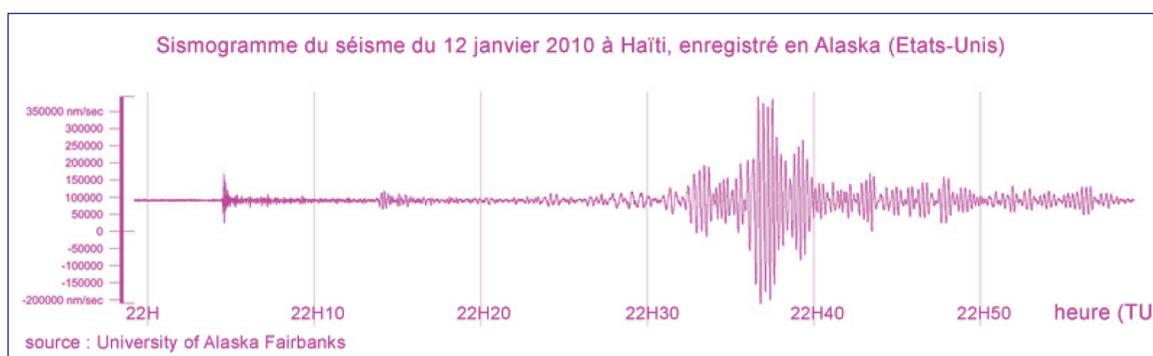
À la surface, les ondes sismiques forment donc des cercles concentriques autour de l'épicentre. En réalité, ces cercles et les sphères ne sont pas parfaits, car la vitesse de propagation des ondes sismiques dépend de la nature du sol et de sa topographie. Ces variations de vitesse engendrent des variations d'amplitude, avec des effets qui peuvent donc être localement amplifiés, comme le montre la figure ci-dessus.

Derrière le vocable « onde sismique » se cachent en réalité différents types d'ondes. Des ondes dites de volume (ou de fond), qui se propagent à l'intérieur de la Terre, et des ondes de surface.

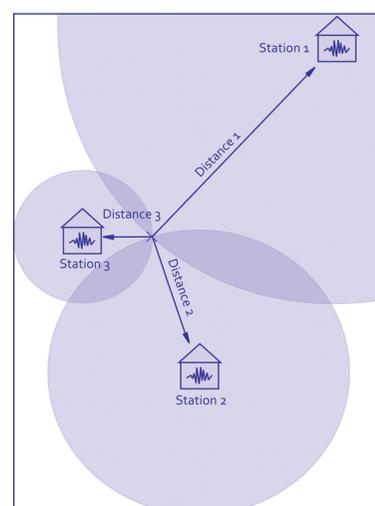
2. Si l'on souhaite être précis: le séisme correspond à la libération brutale de l'énergie accumulée, tandis que le tremblement de terre se définit par la propagation en surface des ondes générées lors du séisme. Ici, nous emploierons ces termes comme des synonymes.

<p>Les premières, appelées ondes P (comme « primaires »), sont des ondes de compression qui se propagent parallèlement au mouvement du sol, qui est alors comprimé puis dilaté. Ces ondes, qui sont les plus rapides, d'où leur nom de « primaire », ont la capacité de se propager dans n'importe quel type de matériau, liquide ou solide (ou même gazeux : le son est une onde de compression qui se propage dans l'air). Les ondes P sont des ondes de volume.</p>	
<p>Les ondes S (comme « secondaires ») sont également des ondes de volume, mais qui se déplacent plus lentement que les ondes P et ne se propagent que dans les matériaux solides. Les vibrations sont perpendiculaires au sens de propagation des ondes ; le sol est donc cisailé « latéralement », ce qui est particulièrement destructeur pour les bâtiments.</p>	
<p>Enfin, la dernière famille regroupe les ondes L (de « Love ») et les ondes R (de « Rayleigh »). Ces ondes, plus lentes que les précédentes, se propagent à la surface.</p>	

Il y a près de 2000 ans, les Chinois ont trouvé le moyen de détecter les tremblements de terre. Depuis Zhang Heng, qui construisit le premier sismographe (uniquement mécanique, à l'époque, comme on peut le voir sur la fiche 24, page 201), ces instruments se sont perfectionnés et informatisés. Le principe est simple : une bobine est fixée à un bras suspendu, isolée de toute vibration et plongée dans un aimant qui, lui, est solidaire du sol. Lorsque le sol tremble, l'aimant bouge autour de la bobine qui perçoit une variation du champ magnétique. Ces variations créent dans la bobine un courant électrique (proportionnel à la vitesse du sol) qui est transmis à un centre de surveillance. Le graphique obtenu s'appelle un sismogramme.



Comme les ondes P et S ne voyagent pas à la même vitesse, elles ne sont pas enregistrées au même moment. Ces temps de retard permettent de calculer la distance du foyer par rapport à la station de mesure (c'est exactement ce qu'on fait pour connaître la distance qui nous sépare d'un orage, en mesurant le décalage temporel entre l'éclair, qui voyage à la vitesse de la lumière, et le tonnerre, qui voyage à la vitesse du son). En utilisant des temps de retard mesurés en différents endroits, on localise le foyer, à l'intersection des sphères (le rayon de chaque sphère étant la distance entre le foyer et la station). Depuis que les stations ont été informatisées, ces données sont calculées en temps réel avec une grande précision, en raison du grand nombre de stations déployées.



### Utiliser les séismes pour connaître la structure interne de la Terre

Lorsqu'on trempe une paille dans un verre d'eau, on a l'impression que la paille est pliée en deux. Cette illusion vient du fait que la lumière ne se propage pas à la même vitesse dans l'eau et dans l'air, et se trouve donc déviée en passant d'un milieu à l'autre.

De la même manière, les ondes sismiques sont déviées lorsqu'elles traversent des milieux rocheux différents. L'analyse de la propagation de ces ondes permet donc de localiser les discontinuités dans la nature du sous-sol, et de déterminer certaines caractéristiques physico-chimiques de ces milieux. C'est comme cela que l'on a pu déduire la structure interne de la Terre (dont le centre se situe à plus de 6 000 km de la surface), alors même que le plus profond forage jamais réalisé n'a permis d'explorer que les 12 premiers kilomètres sous nos pieds.

## Magnitude, intensité

Les oscillations que l'on peut lire sur les sismogrammes permettent de calculer l'amplitude des mouvements du sol et, de là, l'énergie libérée par le séisme.

Cette grandeur s'appelle la magnitude, et se mesure sur l'échelle de Richter, du nom de son inventeur. L'échelle de Richter est une échelle dite « logarithmique » : augmenter la magnitude d'un degré revient à multiplier l'énergie libérée par 32. Un séisme de magnitude 8 libère donc 32 fois plus d'énergie qu'un séisme de magnitude 7, et environ 1 000 fois plus qu'un séisme de magnitude 6.

Contrairement à une idée reçue, cette échelle n'a pas de limite supérieure. Dans la pratique, un séisme de magnitude 9 est exceptionnel, et le plus important séisme jamais détecté est celui qui a frappé le Chili le 22 mai 1960, avec une magnitude de 9,5. Ce séisme correspond à la rupture d'une faille de 1 000 km de long.

Cette échelle est présentée plus en détail sur la fiche 25, page 202.

La magnitude est unique pour un séisme et indépendante du lieu où il est ressenti.

Bien sûr, un séisme de grande magnitude a plus de chance de faire des dégâts... mais ça n'est pas systématique, car d'autres paramètres entrent en ligne de compte : la profondeur du foyer (plus elle est grande, moins les effets sont importants) et le peuplement de la zone (en zone urbaine dense ou en plein désert, les dégâts ne sont pas les mêmes).

Pour cette raison, on utilise une autre quantité afin d'estimer les dégâts occasionnés par un tremblement de terre : l'intensité. L'intensité se mesure sur l'échelle EMS-98 (European Macroseismic Scale 1998), qui est une révision de l'ancienne échelle MSK<sup>3</sup>.

Cette échelle comporte 12 niveaux (numérotés de I à XII, en chiffres romains pour ne pas les confondre avec la magnitude). Pour une intensité égale à I, le séisme n'est détectable que par les sismographes, et ne peut pas être ressenti par les humains. Les cheminées des habitations tombent pour une intensité égale à V. À partir de IX, les dégâts sont très importants. À XI, la ruine est quasi totale (comme nous l'a montré le séisme d'Haïti) ; à XII, les paysages eux-mêmes sont modifiés. Dans la pratique actuelle, on ne distingue plus les intensités au-delà de X.

Alors qu'un séisme n'a qu'une seule magnitude, il possède plusieurs intensités, puisque cette quantité mesure les dégâts en un endroit donné. Sur une carte, on peut relier entre eux les lieux d'égale intensité par une courbe appelée isoséiste. Comme nous l'avons vu plus haut, ces courbes sont approximativement circulaires, l'intensité décroissant quand on s'éloigne de l'épicentre.

3. L'échelle MSK est toujours utilisée ; c'est celle à laquelle nous faisons référence dans le module pédagogique.

## Le risque sismique en France

Que l'on prononce le mot « séisme » autour de nous, et chacun se remémore la catastrophe d'Haïti en 2010, ou celle du Japon en 2011, tant nous avons été bouleversés par les images et les témoignages de ces événements récents.

À tel point qu'on en oublie que la France métropolitaine aussi a connu des tremblements de terre non négligeables, même si leur magnitude était bien plus faible que celle des deux exemples précédents. Le séisme le plus intense de notre histoire récente est celui survenu le 11 juin 1909 en Provence. D'une magnitude estimée à 6,2 et d'une intensité égale à IX près de l'épicentre, il fit de nombreux dégâts



et une cinquantaine de victimes, sans compter les blessés. En raison de la densification des habitations et des équipements, le même séisme, aujourd'hui, ferait un millier de morts et causerait plus de 2 milliards d'euros de dégâts.

Pour autant, la métropole, avec environ 20 séismes ressentis chaque année, est considérée comme ayant une sismicité moyenne en comparaison d'autres pays du pourtour méditerranéen, les risques se concentrant sur les Pyrénées,

les Alpes, la Provence et l'Alsace. Le zonage sismique du territoire est visible sur la fiche 26, page 203.

Les Antilles, en revanche, sont très fortement exposées au risque sismique. En 2007, un séisme de magnitude 7,4 (contre 7,3 pour celui qui a ravagé Haïti en 2010) a fait trembler la Martinique, heureusement sans faire trop de dégâts car le foyer était à plus de 150 km de profondeur. Depuis, les habitants attendent leur « big one », qui se produira un jour ou l'autre et fera des dégâts bien plus considérables. On estime qu'un séisme de magnitude 8 ferait 30 000 morts, soit 7 % de la population de l'île, en raison non seulement de la vulnérabilité des constructions (80 % des écoles, par exemple, ne sont pas aux normes), mais aussi de la mauvaise préparation de la population. Malgré les campagnes de prévention, seulement 30 % de la population a adopté un comportement adapté lors du séisme de 2007.

## Protéger les populations

Chaque année, on enregistre plusieurs millions de séismes dans le monde, dont 150 de magnitude supérieure à 6 et susceptibles de faire des dégâts importants.

Le danger, lors d'un séisme, n'est pas le tremblement en lui-même, mais l'effondrement des bâtiments. S'il est possible de prédire, statistiquement, l'arrivée d'un séisme majeur dans une région du monde, il est encore impossible de faire des prévisions à court terme qui permettraient d'évacuer les populations<sup>4</sup>. Dès lors, les seules solutions qui restent sont, d'une part, de construire des bâtiments résistants, et, d'autre part, de sensibiliser les habitants aux conduites à tenir en cas de tremblement de terre.

4. De nombreux phénomènes précurseurs sont enregistrés quelques minutes à quelques jours avant les séismes, comme des microséismes, des déformations anormales du sol, voire des courants électriques dans le sol, et peut-être même des perturbations électriques dans l'ionosphère comme l'a montré récemment le satellite *Demeter* lancé par le CNES. Mais la majorité des séismes ne montrent pas ces signaux précurseurs. Et surtout, de tels effets se produisent le plus souvent sans que de grands séismes surviennent à la suite, et donc une méthode de prédiction basée sur leurs observations risqueraient de produire bien trop de fausses alarmes.

Il existe de très nombreux textes réglementaires qui fixent des normes de construction selon la zone géographique et le type de bâtiment. On distingue :

- Les ouvrages à risque normal : ce sont les bâtiments pour lesquels les conséquences d'un séisme sont limitées à leur structure même et à leurs occupants. Ils sont classés en plusieurs catégories selon leur importance (du moins au plus important) :

- catégorie I : les ouvrages dont la défaillance ne présente qu'un risque minime pour les personnes ou l'activité socio-économique (exemple : hangars agricoles) ;

- catégorie II : risque moyen (exemple : maisons individuelles) ;

- catégorie III : risque élevé en raison du nombre de personnes qui peuvent être touchées (exemple : écoles, immeubles, centres commerciaux) ;

- catégorie IV : bâtiments dont la résistance est primordiale pour la sécurité civile (casernes de pompiers, hôpitaux...).

- Les ouvrages à risque spécial : ce sont les installations pour lesquelles des dommages résultant d'un séisme peuvent être lourds de conséquences sur une partie importante du territoire : barrages, centrales nucléaires...

Les règles de base de la construction parasismique sont :

- Au niveau de l'implantation :

- se protéger des risques d'éboulement et de glissement de terrain (s'éloigner des bords des falaises...);

- tenir compte de la nature du sol : sur un sol rigide, préférer des bâtiments souples et élancés ; sur un sol meuble, préférer des bâtiments rigides et massifs.

- Au niveau de la conception :

- préférer des formes simples et compactes ;

- mettre en place des contreventements horizontaux et verticaux (chaînage, voir page 206).

- Au niveau de la réalisation :

- utiliser des matériaux de qualité (béton armé, acier, bois) ;

- fixer les éléments non structuraux pour prévenir les chutes (éclairages, plafonds suspendus...).

La préparation des populations est un aspect essentiel, qui nécessite, d'une part, un effort d'éducation (des enfants, à l'école, mais aussi du grand public), afin que chacun ait conscience du risque, et, d'autre part, des exercices de simulation et d'évacuation.

## Tsunamis

### Toutes les grosses vagues sont-elles des tsunamis ?

L'emploi du terme « tsunami » s'est généralisé depuis l'événement dramatique de décembre 2004 qui fit plus 280 000 morts en Asie du Sud... mais sait-on vraiment de quoi il s'agit ? Qu'est-ce qui différencie un tsunami d'un raz de marée ou encore d'une série de très grosses vagues, comme on en voit par exemple lors de fortes tempêtes ?

L'expression « raz de marée » fait référence à une inondation marine dont l'origine est un phénomène météorologique, comme par exemple la conjonction malheureuse entre une très forte marée et une tempête, à l'instar de la tempête Xynthia qui s'est abattue sur la Vendée et la Charente-Maritime en février 2010.

Une tempête ou une forte houle peut donner naissance à des vagues impressionnantes de plusieurs mètres de hauteur. En revanche, la longueur d'onde de ces vagues est toujours assez courte. On le voit très bien sur la plage : même quand les vagues sont très fortes, elles ne sont jamais éloignées

les unes des autres de plus de quelques dizaines de mètres (100 mètres, à l'extrême, pendant une tempête). Dit autrement, quand une vague est passée, il suffit d'attendre quelques secondes avant que la suivante ne survienne (cette durée s'appelle la « période » de l'onde).

Un tsunami, en revanche, désigne une série de vagues bien particulières, dont la longueur d'onde est très grande, de l'ordre de 100 km au large, et 10 km près des côtes. Entre deux vagues successives, on attend facilement 20 minutes, voire plus.

Cette différence est fondamentale: un tsunami de 2 mètres de haut fera bien plus de dégâts qu'une houle de 4 mètres. Pour le comprendre, il suffit de s'intéresser à la masse d'eau déplacée. Imaginons une houle de 1 mètre de hauteur et de 10 mètres de longueur d'onde, qui déferle sur une plage de 100 mètres de large... et faisons l'hypothèse, pour simplifier, que cette onde est en forme de créneaux (c'est plus facile à calculer qu'avec des sinusoides!). Le volume d'eau contenu dans la vague qui va déferler est  $1 \times 10 \times 100 = 1\,000 \text{ m}^3$ .

Remplaçons cette houle de un mètre par un tsunami de un mètre. Tout est identique, sauf la longueur d'onde, qui vaut cette fois 10 km. Le volume d'eau qui déferle sur la plage est alors de  $1 \times 10\,000 \times 100 = 1\,000\,000 \text{ m}^3$ . Cette masse d'eau, gigantesque, possède une énergie cinétique 1 000 fois plus importante que dans le cas de la houle: rien ne peut y résister.



Le fait qu'un tsunami possède une grande longueur d'onde a une autre conséquence importante: il pénètre loin dans les terres. Si le terrain est en pente douce, une vague inonde une zone dont la dimension est comparable avec sa longueur d'onde. Ainsi, une

vague « normale » (houle... ou même tempête) va inonder le littoral sur quelques mètres ou dizaines de mètres... tandis qu'un tsunami va le faire sur plusieurs kilomètres, multipliant ainsi largement les dégâts occasionnés.

## Vitesse, hauteur, profondeur: tout est lié!

Ce qui rend la prévention si difficile, c'est la très grande vitesse à laquelle un tsunami se propage: jusqu'à 900 km/h au large (la vitesse d'un avion): on ne dispose que de très peu de temps. Pourtant, sur la côte, personne n'a jamais vu une vague, fut-elle un tsunami, s'approcher avec une vitesse supersonique! De fait, les tsunamis déferlent sur les côtes avec une vitesse allant de 30 à 40 km/h.

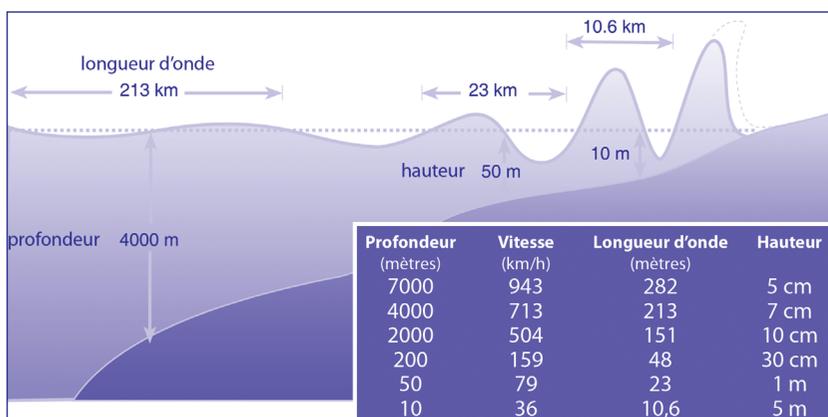
Pourquoi ce ralentissement?

Lorsqu'une vague se propage, elle peut être freinée par les frottements sur le fond, pour peu que la profondeur soit faible devant sa longueur d'onde. Pour un tsunami, c'est toujours le cas (longueur d'onde: 100 km, comparée à la profondeur moyenne des océans: 4 km). Ainsi, la vitesse d'une telle onde est directement proportionnelle à la profondeur. Au large, le tsunami se propage très rapidement... et près du rivage, la vitesse est divisée par un facteur 20. L'avant de la vague ralentissant très fortement, il se trouve rattrapé par l'arrière de la vague: l'onde se resserre.

Ainsi, un tsunami de 100 km de longueur d'onde au large n'aura plus que 10 km de longueur d'onde sur le rivage.

La conséquence est spectaculaire La vague s'est ressermée... mais elle contient toujours autant d'eau! Pour conserver cette quantité, il n'y a pas le choix: la vague doit prendre de la hauteur.

Ainsi, la conséquence du ralentissement du tsunami, c'est la diminution de sa longueur d'onde d'un facteur 10, qui elle-même entraîne mécaniquement l'augmentation de la hauteur de la vague. Voilà comment une vague de quelques centimètres, au large, peut se dresser à plusieurs mètres sur la côte.



Ce facteur d'amplification dépend de la géométrie des fonds marins. Une pente abrupte va «casser» la vague (amplification d'un facteur 2 seulement), tandis qu'une pente douce va l'amplifier d'un facteur 10, voire davantage. À titre d'exemple, le tsunami de Sumatra du 26 décembre 2004 a déferlé par endroits

avec une hauteur de 35 mètres, soit l'équivalent d'un immeuble de 10 étages! C'est le plus grave tsunami de l'histoire: 280 000 morts.

On retrouve cette propriété étonnante des tsunamis dans l'étymologie même du mot, qui signifie «vague portuaire» en japonais. C'est en effet une vague qu'on ne remarque pas au large, mais qui prend une grande amplitude en arrivant au port!

## À l'origine : un séisme

Pour créer un tsunami, c'est-à-dire un ensemble de vagues de grande longueur d'onde, il faut une perturbation elle-même de grande ampleur. Grand, là encore, signifie «grand» par rapport à la profondeur. Ainsi, jeter un rocher dans une mare est suffisant pour créer un tsunami dans cette mare, mais pour créer un tsunami dans l'océan (profondeur = quelques kilomètres), il faut une perturbation d'une toute autre importance.

Le plus souvent, les tsunamis sont créés par des séismes sous-marins. Si le séisme a une magnitude suffisante (6,3 minimum) et si son épicentre n'est pas trop profond (< 50 km), alors il peut déformer le fond marin sur une faille qui peut faire plusieurs kilomètres de longueur. Dans ce cas, toute la colonne d'eau, au-dessus de la faille, est mise en mouvement, ce qui forme des vagues de grande longueur d'onde: un tsunami est créé.

D'importants mouvements de terrain sous-marins, créés par exemple lors d'une éruption volcanique (parfois, un pan entier du volcan s'effondre dans la mer), peuvent avoir le même effet.

Enfin, l'impact d'une météorite, même s'il est très peu probable, peut également causer un grand tsunami.

## Reconnaître l'arrivée d'un tsunami

La très grande vitesse d'un tsunami rend difficile l'alerte des populations. Même si, depuis 2004, de très gros efforts ont été faits dans la détection des tsunamis et la coordination des centres d'alerte, la prévention passe nécessairement par l'éducation de la population.

L'arrivée d'un tsunami est le plus souvent précédée de signes avant-coureurs qu'il faut savoir reconnaître:

- retrait de la mer: celle-ci recule sur une distance inhabituelle (des centaines de mètres, voire des kilomètres), en quelques minutes seulement. C'est le creux de la vague: attention, la crête arrive bientôt!
- tremblement de terre ou grondement;
- comportement anormal des animaux (qui fuient vers les terres).

Si l'on observe l'un de ces phénomènes, il faut immédiatement quitter la côte et se réfugier sur les hauteurs. Quelques minutes après, la première vague arrivera... suivie d'un nouveau retrait de la mer... et d'autres vagues qui vont se succéder parfois pendant plusieurs heures.

## Le risque tsunami en France

On dénombre chaque année une dizaine de tsunamis dans le monde, dont un majeur. Toutes les mers sont concernées.

La France a la chance de posséder le deuxième plus grand domaine maritime du monde<sup>5</sup>, après les États-Unis. Cet atout économique et géostratégique considérable a cependant son revers, car il fait de la France un pays particulièrement concerné par le risque de subversion marine, qu'il s'agisse de tsunami ou de raz de marée.

Sans surprise, comme pour les volcans ou les séismes, le risque concerne surtout les DOM-TOM, d'une part en raison de leur propre activité sismique ou volcanique, et d'autre part en raison de leur situation géographique qui les rend vulnérables à des tsunamis générés dans l'océan Pacifique ou l'océan Indien. Les Antilles sont particulièrement menacées.

Le littoral métropolitain n'est pas à l'abri pour autant, avec un risque qualifié de « modéré », la région la plus sensible étant la Méditerranée, car plusieurs failles sous-marines courent entre l'Algérie et la Corse. L'histoire montre d'ailleurs que ce risque ne doit pas être négligé, puisque la métropole a connu 4 tsunamis depuis un siècle.

Un séisme d'une magnitude de 6 ou plus au large de l'Algérie (hypothèse pas du tout improbable, au regard de l'activité sismique de la région) provoquerait, une heure plus tard, un tsunami sur les côtes françaises qui, sans être aussi dévastateur que le tsunami de 2004, loin de là, entraînerait malgré tout des pertes humaines et matérielles importantes. Pour cette raison, un système de détection et d'alerte est en cours de déploiement pour les côtes métropolitaines, et devrait être opérationnel fin 2012.

## Les risques majeurs

Les dernières années ont été marquées par de très grandes catastrophes, largement médiatisées : la tempête Katrina sur la Nouvelle-Orléans en 2005, le séisme et tsunami en Asie du Sud-Est en 2009, les monstrueuses inondations au Pakistan et le séisme de Port-au-Prince en 2010, ainsi que le récent séisme et tsunami du Japon de 2011 constituent des exemples de ces événements qui ont frappé les esprits.

Si de nombreux chercheurs ont travaillé à une classification des risques en fonction de leur fréquence ou de leur gravité, une des meilleures définitions du risque majeur reste celle proposée par Haroun Tazieff, volcanologue, premier à s'être vu confier, en 1984, le tout nouveau secrétariat d'État aux Risques majeurs.

Risques naturels	Risques technologiques
Avalanche	Industriel
Cyclone/ouragan/typhon	Transport de matières dangereuses
Feu de forêt	Rupture de barrage
Inondation	Nucléaire
Mouvement de terrain	
Séisme	
Subversion marine (tsunami et raz-de-marée)	
Tempête	
Volcanisme	

« La définition que je donne du risque majeur, c'est la menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, la menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassée par l'immensité du désastre. »

En France, les risques majeurs sont répartis en deux grandes familles, avec d'un côté les risques naturels et de l'autre les risques technologiques.

5. Le domaine maritime français recouvre 11 millions de km<sup>2</sup> (dont 97% dans les DOM-TOM) et totalise près de 38 000 km de littoral!

La canicule, comme celle que la France a connue en 2003, constitue un risque naturel qui n'est pas encore couramment intégré dans cette classification. Selon les pays, d'autres risques peuvent être pris en compte, comme par exemple la sécheresse ou bien les insectes. Enfin, le réchauffement climatique n'est pas considéré comme un risque à proprement parler, mais il augmente à la fois l'ampleur et la fréquence de la plupart des risques naturels mentionnés plus haut, à l'exception des risques liés à la structure interne du globe (volcanisme et séisme).

## Aléa, enjeu, risque et catastrophe

Dans cet ouvrage, destiné à sensibiliser les élèves de l'école primaire aux risques naturels, nous avons volontairement simplifié la notion de risque en ne traitant pas de la vulnérabilité, et en nous concentrant sur deux notions importantes : l'aléa et l'enjeu. Cette approche nous semble suffisante pour faire comprendre la notion de risque et surtout transmettre cette notion fondamentale : sans enjeux, il n'y a pas de risque.

En effet, un séisme, même de forte magnitude, en plein désert, n'aura aucune conséquence... tandis que le même événement, dans une métropole comme Port-au-Prince, est une catastrophe.

Un aléa est la probabilité qu'un événement naturel se produise au cours d'une période déterminée. Les enjeux sont constitués par les personnes, les biens, les équipements et l'environnement menacés par un aléa. Le risque est donc la menace qui pèse sur les enjeux. Le danger est un état, le risque est sa mesure.

Dans cet exemple, l'aléa est la probabilité pour qu'au cours d'une période déterminée, plusieurs blocs se détachent et tombent en contrebas.	
Le village, ses habitants, ses commerces ainsi que tout son environnement (route, téléphone, eau ...) forment les enjeux menacés par l'aléa.	
On parle de catastrophe quand le risque survient.	

## Le risque naturel en France

Même si notre pays n'est pas le plus exposé dans le monde, les conséquences d'événements rares et extrêmes peuvent être catastrophiques. Par ailleurs, le réchauffement climatique doit nous faire anticiper une aggravation de tous les risques liés aux phénomènes météorologiques au cours des prochaines décennies.

Ci-dessous, nous survolons rapidement les risques naturels présents sur le territoire français, à l'exception des risques sismique, volcanique et de subversion marine (tsunami et raz de marée), qui ont été largement détaillés dans les chapitres précédents.

### Le risque inondation

C'est le risque le plus présent sur le territoire national, plus de la moitié des 36 000 communes étant concernées. Entre 1982 et 2010, les inondations ont causé plus de 200 victimes et généré plus de 6 milliards d'euros de dommages.

Pourtant, tout ceci n'est pas grand-chose au regard des très grandes crues de la Loire au XIX<sup>e</sup> siècle ou de la Seine en 1910 ! Aujourd'hui, de tels phénomènes affecteraient plusieurs centaines de milliers de personnes et provoqueraient une crise économique majeure.

On considère généralement qu'il existe 4 types d'inondation :

- **Les inondations de plaine**

La rivière sort de son lit mineur lentement et peut inonder la plaine pendant une période relativement longue. La rivière occupe son lit moyen et éventuellement son lit majeur.

- **Les inondations par remontée de nappe**

Lorsque le sol est saturé d'eau, il arrive que la nappe alluviale affleure et qu'une inondation spontanée se produise. Ce phénomène concerne particulièrement les terrains bas et peut perdurer.

- **Les crues torrentielles**

Lorsque des précipitations intenses tombent sur tout un bassin-versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, d'où des crues brutales et violentes dans les torrents et les rivières torrentielles.

- **Le ruissellement pluvial urbain**

L'imperméabilisation du sol en milieu urbain (bâtiments, voiries, parkings, etc.) limite l'infiltration des pluies, ce qui occasionne souvent la saturation des réseaux d'assainissement des eaux pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans les rues.

## **Le risque « feu de forêt »**

Les feux de forêt sont des sinistres qui se déclarent dans une formation naturelle qui peut être de type forestière (forêts de feuillus, de conifères ou mixtes), subforestière (maquis, garrigues ou landes) ou encore de type herbacée (prairies, pelouses, ...).

En France, si les départements du Sud et du Sud-Ouest sont les plus concernés, la plupart des autres régions peuvent également être touchées, notamment dans l'Ouest (Vendée et Bretagne).

Les feux se produisent préférentiellement pendant l'été, mais plus d'un tiers ont lieu en dehors de cette période. La sécheresse de la végétation et de l'atmosphère accompagnée d'une faible teneur en eau des sols est favorable aux incendies, y compris en hiver.

Avec plus de quinze millions d'hectares de zones boisées, la France est régulièrement soumise à des incendies de forêt : rien que sur le pourtour méditerranéen, ce sont 15 000 hectares qui partent en fumée chaque année.

La plupart des feux sont causés directement ou indirectement par l'homme ; par exemple par un fermier qui brûle la terre pour la rendre plus fertile, par une cigarette mal éteinte, par un feu de camp, sans parler des feux lancés par des pyromanes. Parmi les causes naturelles, la plus fréquente est la foudre.

Un feu peut prendre différentes formes selon les caractéristiques de la végétation dans laquelle il se développe.

- **Feu de sol**

Les feux de sol brûlent la matière organique contenue dans la litière, l'humus ou les tourbières. Leur vitesse de propagation est faible. Bien que peu virulents, ils peuvent être très destructeurs en s'attaquant aux systèmes souterrains des végétaux. Ils peuvent également couvrir en profondeur, ce qui rend plus difficile leur extinction complète.

- **Feu de surface**

Les feux de surface brûlent les strates basses de la végétation, c'est-à-dire la partie supérieure de la litière, la strate herbacée et les ligneux bas. Ils affectent la garrigue ou les landes. Leur propagation peut être rapide lorsqu'ils se développent librement et que les conditions de vent ou de relief y sont favorables.

- **Feu de cimes**

Les feux de cimes brûlent la partie supérieure des arbres et forment une couronne de feu. Ils libèrent en général de grandes quantités d'énergie et leur vitesse de propagation est très élevée. Ils sont d'autant plus intenses et difficiles à contrôler que le vent est fort et la végétation sèche.

## Le risque « mouvement de terrain »

Les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle ou humaine.

Les volumes en jeu sont compris entre quelques centimètres cubes et quelques millions de mètres cubes. Les déplacements peuvent être lents (quelques millimètres par an) ou très rapides (quelques centaines de mètres par jour).

Ces phénomènes sont souvent très destructeurs, car les aménagements humains y sont très sensibles et les dommages occasionnés souvent irréversibles. On distingue deux grandes catégories de mouvements :

### ● Les mouvements lents et continus

#### – Les tassements et les affaissements

Certains sols peuvent se tasser sous l'effet de surcharges ou en cas d'assèchement. Ce phénomène est à l'origine du basculement de la tour de Pise.

#### – Le retrait-gonflement des argiles

Les variations de la quantité d'eau dans certains terrains argileux produisent des gonflements (période humide) et des tassements (périodes sèches).

#### – Les glissements de terrain

Ils se produisent généralement en situation de forte saturation des sols en eau. Ils peuvent mobiliser des volumes considérables de terrain, qui se déplacent le long d'une pente.

### ● Les mouvements rapides et discontinus

#### – Les effondrements de cavités souterraines

Qu'il s'agisse de cavités naturelles lentement forgées par l'eau durant des millénaires ou de carrières souterraines ayant servi à l'extraction de minerai et de matériaux de construction, ces cavités ont un toit plus ou moins solide qui subit, au fil du temps, des contraintes dues à son poids, à son âge et à l'infiltration de l'eau et qui peut s'effondrer brutalement. En 1961, par exemple, à Clamart, en banlieue parisienne, plus de 8 hectares se sont effondrés en entraînant la mort de 21 personnes.

#### – Les écroulements et les chutes de blocs

L'évolution des falaises et des versants rocheux engendre des chutes de pierres, de blocs rocheux, voire des écroulements en masse (volume pouvant atteindre plusieurs millions de mètres cubes).

#### – Les coulées boueuses et torrentielles

Elles sont caractérisées par un transport de matériaux sous forme plus ou moins fluide. Les coulées boueuses se produisent sur des pentes, lors de grosses précipitations. Les coulées torrentielles se produisent dans le lit de torrents au moment des crues.

#### – L'érosion littorale

Ce phénomène peut en réalité être classé à la fois dans les deux catégories, puisqu'il conjugue une érosion lente des côtes sableuses par les vagues et courants marins, et un effondrement brutal des falaises (Nord-Pas-de-Calais, Normandie, côte basque). En France, 1 800 km de côte reculent chaque année d'une distance comprise entre 50 cm et 1 mètre.

## Le risque « tempête »

Les tempêtes concernent une large partie de l'Europe, et notamment la France métropolitaine. Une tempête correspond à l'évolution d'une perturbation atmosphérique, ou dépression, le long de laquelle s'affrontent deux masses d'air aux caractéristiques distinctes (température, humidité). Aux vents pouvant dépasser 200 km/h en rafales peuvent notamment s'ajouter des pluies importantes, facteurs de risques pour les populations et les activités humaines.

Les tornades sont considérées comme un type particulier de manifestation des tempêtes, singularisé par une durée de vie limitée et par une aire géographique touchée minimale par rapport aux tempêtes

classiques. Ces phénomènes localisés peuvent toutefois avoir des effets dévastateurs, compte tenu en particulier de la force des vents induits (vitesse maximale de l'ordre de 450 km/h).

L'essentiel des tempêtes touchant la France se forme sur l'océan Atlantique, au cours des mois d'automne et d'hiver (on parle de « tempête d'hiver »), progressant à une vitesse moyenne de l'ordre de 50 km/h et pouvant couvrir une zone de 2 000 km de large. Les tornades se produisent quant à elles le plus souvent au cours de la période estivale.

En France, ce sont en moyenne chaque année quinze tempêtes qui affectent nos côtes, dont une à deux sont particulièrement puissantes. Bien que ce risque concerne plus spécialement le quart nord-ouest du territoire métropolitain et la façade atlantique dans sa totalité, les tempêtes survenues en décembre 1999 ont souligné qu'aucune partie du territoire n'est à l'abri du phénomène. Elles ont également démontré l'ampleur des conséquences (humaines, économiques, environnementales) que les tempêtes sont en mesure de générer. Les tempêtes des 26, 27 & 28 décembre 1999 ont en effet été les plus dramatiques de ces dernières décennies, avec un bilan total de 92 morts et des dégâts estimés à plus de 15 milliards d'euros. Leur période de retour a été estimée de l'ordre de 400 à 500 ans. En février 2010, la tempête Xynthia s'est accompagnée de puissantes rafales de vent et de vagues hautes de plusieurs mètres. La conjonction de la tempête avec une marée de fort coefficient provoqua la rupture de plusieurs digues en Charente-Maritime et en Vendée et le décès de plus de 50 personnes.

### **Le risque cyclonique**

Les cyclones sont les phénomènes climatiques les plus puissants et sont chaque année à l'origine de bilans humains et économiques très lourds.

Ils représentent un risque majeur pour l'ensemble des zones tropicales (en particulier, pour la France, les DOM-TOM). Toutefois, la surveillance météorologique et l'information des populations permettent de limiter considérablement le nombre de victimes.

Les pertes financières générées peuvent se chiffrer à plusieurs dizaines de milliards d'euros, comme cela a par exemple été le cas pour le cyclone Katrina sur la Nouvelle-Orléans en 2005. Divers termes sont employés dans le monde pour désigner ce phénomène : typhon, cyclone, kamikaze, ouragan (ce dernier terme étant communément utilisé en Occident).

Perturbation atmosphérique tourbillonnaire, de grande échelle, due à une chute importante de la pression atmosphérique, le cyclone tire son énergie de l'évaporation de l'eau de mer et prend naissance au-dessus des zones chaudes des océans. Il se caractérise par des pluies diluviennes et des vents très violents (jusqu'à 350 km/h), tournant dans le sens des aiguilles d'une montre (dans l'hémisphère Sud) ou dans le sens inverse (dans l'hémisphère Nord). Les vents les plus violents se rencontrent à la périphérie de « l'œil du cyclone », l'œil étant lui-même une zone de calme.

### **Le risque « avalanche »**

Les avalanches sont parmi les catastrophes naturelles les moins meurtrières (une trentaine de morts en France). Les accidents majeurs restent exceptionnels, même si la catastrophe de février 1999 à Montroc (Haute-Savoie) montre toute la réalité de ce risque en France. L'imprudence est souvent la cause des accidents. Une avalanche correspond à un déplacement rapide d'une masse de neige sur une pente, provoqué par une rupture du manteau neigeux. Cette masse varie de quelques dizaines à plusieurs centaines de milliers de mètres cubes, pour des vitesses comprises entre 10 km/h et 400 km/h, selon la nature de la neige et les conditions d'écoulement.

On distingue trois types d'avalanches selon le type de neige et les caractéristiques de l'écoulement.

#### **● L'avalanche de plaque**

L'avalanche de plaque, le plus souvent générée par le passage d'un skieur, est due à la mauvaise cohésion entre une couche de neige superficielle récente, en général apportée par le vent, et une sous-couche plus ancienne et plus dure.

### ● **L'avalanche en aérosol**

Une forte accumulation de neige récente, légère et sèche (poudreuse), peut donner des avalanches de très grandes dimensions avec un épais nuage de neige (aérosol), progressant à grande vitesse (100 à 400 km/h). Leur puissance destructrice est très grande. Leur trajet est assez rectiligne et elles peuvent remonter sur un versant opposé. Le souffle qui les accompagne peut provoquer des dégâts en dehors du périmètre du dépôt de l'avalanche.

### ● **L'avalanche de neige humide**

Lorsque la neige se densifie et s'humidifie sous l'action de la fonte, au printemps ou après une pluie, elle peut former des avalanches qui entraînent l'ensemble du manteau neigeux. Elles s'écoulent à vitesse lente (jusqu'à 20 km/h) en suivant le relief en ses points bas (couloir, ravin, talus, etc.). Bien que leur trajet soit assez bien connu, elles peuvent être déviées par un obstacle et générer des dégâts dans des zones *a priori* non exposées.

## **La prévention des risques**

La prévention des risques naturels consiste à réduire l'intensité de certains aléas et la vulnérabilité des enjeux pour faire en sorte que le coût humain et matériel soit supportable par notre société.

La prévention couvre l'intégralité de la chaîne du risque et implique de nombreuses actions, parmi lesquelles il est difficile de choisir.

Ce choix repose non seulement sur les limites de la connaissance scientifique mais également sur nos choix de société :

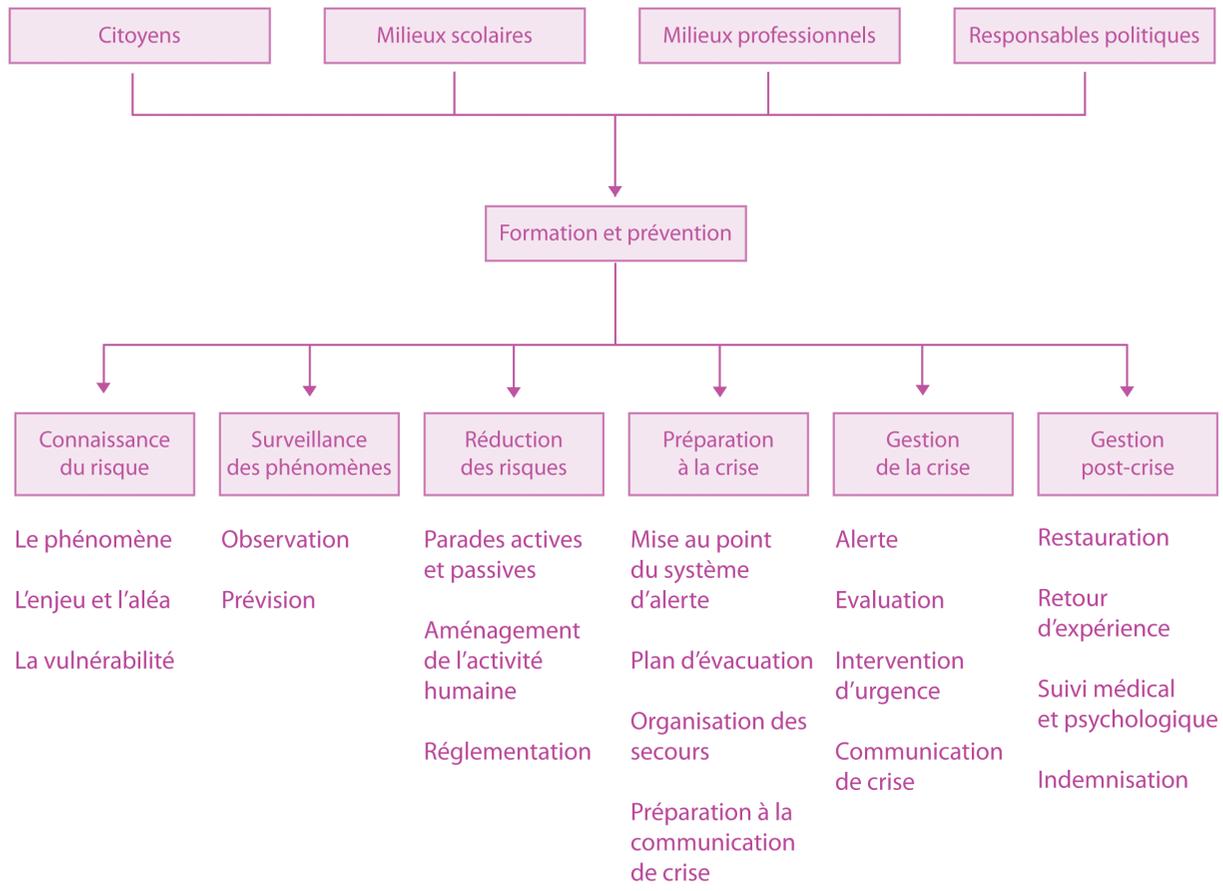
- Quel niveau de sécurité veut-on avoir ?
- Que sommes-nous prêts à payer pour atteindre ce niveau de protection ?
- Quelles sont les priorités ?

C'est en étudiant l'histoire de nos territoires que l'État réalise des Plans de prévention des risques naturels (PPRn) qui réglementent l'utilisation des sols en fonction des risques naturels auxquels ils sont soumis. Cette réglementation va de l'interdiction de construire à la possibilité de construire sous certaines conditions.

De plus, chaque maire d'une commune soumise à un PPRn a l'obligation légale de produire un Document d'information communal sur les risques majeurs (DICRiM) à l'intention des habitants. Ce document, qui doit être en libre consultation à la mairie, informe précisément les citoyens sur les risques et les mesures de sauvegarde.

Le ministère de l'Écologie a mis en place un site Internet qui permet à chacun de consulter les risques auxquels sa ville est exposée, et qui donne accès aux mesures prises localement pour prévenir et limiter ces risques : <http://macommune.prim.net>

# Prévention et gestion des risques



# Éclairage pédagogique

*On n'apprend bien que ce qui répond  
aux questions que l'on se pose.*

J.-J. Rousseau

*L'essence même de la réflexion  
c'est de comprendre qu'on n'avait pas compris.*

G. Bachelard

# Une approche pluridisciplinaire

L'éducation au risque comporte deux volets qu'il convient de bien distinguer, même s'ils sont très complémentaires :

## ● Le volet opérationnel

Ce volet comprend la sécurité des bâtiments scolaires, le Plan particulier de mise en sûreté (PPMS), l'apprentissage des gestes qui sauvent et les exercices/simulations.

Le volet opérationnel est historiquement le premier à avoir pénétré l'école. Issus des méthodologies développées par le génie civil et la sécurité/protection civile, ces savoir-faire sont bien maîtrisés et les résultats sont assez directement liés au temps investi et au montant des financements disponibles.

## ● Le volet culturel

Nous sommes dans le domaine de l'éducation scolaire.

Les objectifs sont de former les futurs citoyens à vivre avec les risques de la façon la plus responsable possible, et de donner aux élèves et au personnel de l'établissement scolaire une culture du risque qui les conduira à adhérer aux contraintes du volet opérationnel de la prévention.

Ce volet culturel est apparu plus tardivement dans les écoles.

Alors que l'éducation au développement durable (EDD) a fait ces dernières années une entrée remarquée dans le monde de l'école (le réchauffement climatique, les économies d'eau ou d'énergie, la protection de la biodiversité, le tri des déchets... sont des thèmes dont l'école s'est emparée), la prévention des risques y est encore peu ou pas représentée.

Pourtant, l'éducation à la prévention des risques est une composante indiscutable de l'EDD, comme l'ont montré les conclusions de la Conférence mondiale de l'UNESCO sur l'EDD<sup>6</sup> (Bonn 2009), ainsi que la feuille de route de l'UNESCO pour les cinq ans à venir<sup>7</sup>.

Nous proposons dans le cadre de ce projet d'adopter une approche éducative qui s'inspire de la réflexion et des méthodes de travail de l'EDD, telles que nous avons pu les développer dans de précédents projets de *La main à la pâte* (voir bibliographie) :

## ● pluridisciplinarité

Une compréhension globale de la prévention des risques nécessite à la fois l'étude de l'aléa (sciences de la terre) et l'étude des enjeux (géographie ou instruction civique), mais également une analyse de la vulnérabilité (approche sociale ou économique). Pour cela, le croisement des disciplines est indispensable. L'éducation au risque se situe ainsi à la croisée de l'enseignement des sciences (en particulier, mais pas uniquement, environnementales), de la géographie, de l'éducation civique, de l'éducation à la sécurité domestique, etc.

## ● « comprendre pour agir »

Il ne sert à rien d'opposer la théorie et la pratique, le savoir et l'action, tant ils sont indissociables. La théorie est importante en ce qu'elle permet aux enfants de comprendre quelle est la nature des phénomènes en jeu, quels sont les effets de tel ou tel paramètre, pourquoi telle ou telle situation présente un risque plus important. Cette compréhension leur permet ensuite de déterminer, par eux-mêmes (mais guidés par le maître, qui valide également les résultats obtenus), les gestes à adopter. Ces gestes, dès lors qu'ils sont le fruit d'une réflexion, d'un questionnement, d'une confrontation... sont bien mieux retenus, et intégrés dans leur comportement, que lorsqu'il s'agit simplement de consignes transmises par l'autorité (le maître, le maire, le livre, etc.).

6. <http://www.esd-world-conference-2009.org/fr/accueil.html>

7. <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001891/189145f.pdf>

### ● approche globale ET locale

L'EDD peut donner lieu à des études de phénomènes globaux, qui aident les élèves à comprendre les grands enjeux de société, mais elle doit également prendre sens dans leur environnement proche. Les élèves peuvent alors réinvestir leurs connaissances sur des phénomènes *in situ*, et évaluer les effets d'actions qu'ils peuvent mettre en œuvre.

Dans le contexte de l'éducation au risque, cela correspond au travail sur un risque local, sur lequel les élèves apporteront des éléments de prévention, notamment pour la diffusion d'une conscience du risque au sein de la communauté.

Dans le projet « Quand la Terre gronde », nous proposons, volontairement, différentes approches complémentaires : globales/locales, centrées sur les connaissances/centrées sur l'expérience vécue.

À travers les différentes séquences, nous convoquons des connaissances et compétences issues des sciences et de la technologie, mais aussi de l'histoire, de la géographie, des mathématiques, des TICE ou, de façon plus transversale, de la maîtrise du langage et de l'éducation civique.

Les sciences et la technologie, qui constituent la colonne vertébrale du projet, sont développées en conformité avec les **principes de La main à la pâte** (voir page 42). La pédagogie d'investigation est, dans ce contexte, bien établie... et fait l'objet d'une présentation détaillée dans la suite de cet éclairage pédagogique.

Pour les autres disciplines citées plus haut, certains éléments de cette pédagogie demeurent valides (par exemple, l'accent mis sur le questionnement). Dans ces disciplines, la notion de preuve n'y a pas nécessairement le même sens qu'en sciences.

Nous n'avons pas cherché à adopter une démarche uniforme tout au long du projet, démarche qui gommerait les spécificités disciplinaires. Au contraire, nous avons cherché à respecter cette diversité. C'est la raison pour laquelle nous précisons, dans chaque séance, quelle est la discipline dominante. Parfois, quelques abus de langage demeurent, comme dans l'emploi de l'expression « cahier d'expériences », qui prend tout son sens en sciences mais que nous avons gardé, par commodité, pour les autres disciplines.

## Pourquoi étudier les volcans, les séismes ou les tsunamis ?

Nous pourrions répondre « parce que ces thématiques sont dans les programmes » (ce qui est explicitement vrai pour les volcans et les séismes, et implicitement pour les tsunamis qui sont une des conséquences possibles des deux précédentes)... mais il existe d'autres raisons.

La première, c'est qu'un enfant né en métropole n'y restera pas toute sa vie. Il aura l'occasion de voyager dans les DOM-TOM ou à l'étranger et pourra alors être directement concerné par l'un de ces phénomènes. Nous avons vu, très récemment (lors du tsunami de Sumatra en décembre 2004), que l'éducation d'un enfant pouvait sauver des vies<sup>8</sup>.

La deuxième raison, c'est que, contrairement à ce qu'on croit souvent, même la métropole est concernée par le risque sismique (Pyrénées, Alpes), et par les tsunamis (Nice en a connu un il n'y a pas si longtemps...). Pour les classes des DOM-TOM, et en particulier des Antilles, l'exposition au risque est évidente.

La troisième raison, non moins importante, est que ces catastrophes naturelles sont de plus en plus médiatisées et que les enfants y sont fréquemment confrontés (télévision, radio, Internet, presse enfantine). Le discours dominant accorde une très grande place à l'émotionnel, et peu ou pas du tout à la compréhension, ce qui peut le rendre très anxiogène pour les enfants. Le travail de classe permet

---

8. Tilly Smith, jeune écolière anglaise, a reconnu le signe avant-coureur du tsunami (retrait de la mer), prévenu ses parents puis le directeur de l'hôtel, qui fit immédiatement évacuer la plage. Ce simple geste sauva la vie d'une centaine de personnes. Des histoires similaires nous sont venues du Népal ou du Japon.

à l'enfant de comprendre le monde dans lequel il vit, de se poser les questions pourquoi? comment? que faire? et ne le limite donc pas à la seule réaction d'horreur suscitée par les images dramatiques qu'il reçoit.

Volcans, séismes et tsunamis sont étroitement liés, tirant leurs causes de phénomènes géophysiques identiques; et c'est pour cette « unité conceptuelle » que nous les avons choisis dans ce projet. Leur étude repose essentiellement sur un travail en sciences et en géographie.

## Pourquoi étudier un risque local ?

Comme nous l'avons dit plus haut, l'ancrage sur le territoire est important, parce qu'il permet de s'appuyer sur l'expérience vécue par l'enfant ou par ses proches. Cet ancrage aide à développer ce qu'on peut appeler une « conscience du risque ».

Il s'agit d'une étape importante si l'on souhaite que l'enfant développe un comportement adapté et devienne responsable.

Un tel travail relève davantage de l'instruction civique et de la géographie. La démarche adoptée ne peut donc pas être directement calquée sur la démarche d'investigation scientifique, même si l'on peut s'en inspirer, par exemple en accordant toujours une grande importance au questionnement de l'enfant.

## L'un n'empêche pas l'autre !

Nous l'avons dit plus haut, il n'est pas question d'opposer le global et le local, ni la compréhension à l'action, mais bien de mêler les deux approches. Nous conseillons donc à l'enseignant qui se lance dans un tel projet d'adopter une démarche « composite », par exemple :

1. étude d'un phénomène géologique, au choix (volcan, séisme ou tsunami). C'est l'objet des séquences 1, 2 et 3 du module pédagogique. Ce travail permettra, entre autre, de s'approprier certaines notions propres à l'éducation aux risques (aléa, enjeu, etc.);
2. étude d'un phénomène local. C'est l'objet de la séquence 4, qui permet de réinvestir les notions abordées précédemment sur un autre territoire, avec un autre risque, plus proche de lui.

## S'approprier le projet « Quand la Terre gronde »

### Un projet clés en main...

Cet ouvrage présente une progression qui peut être considérée comme « clés en main » : toutes les séances ont été validées par des scientifiques et des didacticiens, puis testées dans une vingtaine de classes de différents profils (milieu rural/urbain, favorisé ou non, avec des enseignants débutants ou expérimentés...). La description des séances est suffisamment précise pour permettre à un enseignant, même peu familiarisé avec la démarche d'investigation, de savoir où il met les pieds. Chacune précise quelle est la durée approximative de l'activité, quel est le matériel nécessaire, par quel questionnement démarrer l'investigation, quelles sont les difficultés potentielles, quel type de conclusion est visé...

## ... un projet à s'approprier, puis à adapter !

S'approprier le module nécessite, dans un premier temps, d'en prendre connaissance. Pour cela il est indispensable de lire les différentes séances, de réaliser soi-même non seulement les situations expérimentales proposées, mais aussi d'autres tâches telles que la lecture de documents photographiques, de tableaux de mesures, la réalisation de graphiques... Les indications et commentaires qui ont paru suffisants aux auteurs ne le sont pas toujours pour le lecteur.

Un temps de réflexion et de maturation est souhaitable, ce qui entraînera peut-être des adaptations en fonction des élèves ou plus généralement du contexte (matériel disponible, vécu de la classe...). S'ouvrent alors diverses possibilités d'adaptations, au fur et à mesure de l'avancée du projet :

- exploiter les intérêts et questions des élèves, suscités par un échange d'arguments, une actualité locale, etc. ;
- tenir compte de difficultés de mise en œuvre imprévues, d'ordre matériel mais aussi de blocages des élèves ;
- répartir le module sur les trois niveaux du cycle, dans le cadre d'une programmation de cycle ou parce que vous avez une classe à plusieurs niveaux ;
- choisir de développer plus qu'il n'est initialement prévu une séance dans le cadre de la pluridisciplinarité (la répartition géographique des volcans et des séismes, les représentations graphiques en mathématiques, le vocabulaire et la syntaxe en français, etc.).

Cette nécessaire adaptation sera profitable à l'enseignant et aux élèves, sans pour autant perdre de vue l'idée principale : permettre la compréhension de phénomènes naturels tels que le volcanisme, les séismes, les tsunamis (ainsi que certains risques ancrés localement), et savoir comment réagir en cas de catastrophe.

## Comment mettre en œuvre une démarche d'investigation en sciences ?

Selon le sujet d'études, la nature des recherches, les réactions des élèves, le matériel et le temps disponible, les séances du module « Quand la Terre gronde » peuvent prendre des formes complètement différentes. Néanmoins, il s'agit toujours d'une investigation, qui passe en général par trois phases :

- un questionnement, initié par le maître ou les élèves ;
- une recherche qui peut être documentaire, expérimentale, observationnelle... ;
- une structuration des savoirs entraînant, à son tour, un nouveau questionnement, une nouvelle recherche, etc.

Il n'est pas rare cependant qu'une séance ne contienne pas l'ensemble de ces trois phases, mais que ces dernières soient réparties sur plusieurs séances traitant d'un même problème. Par exemple, pour la fabrication d'un sismographe, la première séance est consacrée à un questionnement relatif à la détection des séismes, autrement dit à la manière de concevoir un sismographe, tandis que la suivante est dédiée à la fabrication, aux tests ainsi qu'à une recherche documentaire. La fin de la dernière séance permet de replacer les différentes notions dans leur contexte et de structurer les connaissances acquises.

Les paragraphes qui suivent ont pour but de préciser, avec l'aide d'exemples concrets issus du module « Quand la Terre gronde », la place des écrits et le rôle du maître au cours des trois temps forts de la démarche d'investigation : questionnement, recherche, structuration des savoirs.

## La phase de questionnement

Le questionnement est le fil conducteur du module « Quand la Terre gronde ».

De la diversité des réponses fournies, de leur confrontation, voire de leurs divergences, va se dessiner un problème que les élèves auront à résoudre. Toute la difficulté pour l'enseignant est de conduire la discussion qui amènera les élèves à prendre conscience du problème, de ce qu'ils cherchent à savoir ou à montrer. Pour cela, il encourage la communication entre les élèves et les guide dans leur réflexion : « Et vous, que diriez-vous ? Qu'en pensez-vous ? »

La séance 1.1, « L'histoire du dieu Vulcain », en est un bon exemple. À travers la lecture d'un texte relatant des éruptions volcaniques assimilées aux colères de Vulcain, les élèves vont être amenés à exprimer certaines de leurs conceptions sur ce type de phénomène naturel. La confrontation de celles-ci permettra alors de dégager un ensemble de questions qui guideront par la suite les investigations des élèves : « Un volcan peut-il se réveiller ? Peut-on prévoir une éruption ? Comment un volcan se forme-t-il ? Où se trouvent les volcans ? Etc. »

## La formulation des hypothèses

En s'appuyant sur son expérience ou ses connaissances, l'élève donne des explications exactes ou non. Ainsi, lors de la séance 2-4, la plupart des élèves de l'école primaire n'ont en général pas d'idée précise de l'origine des secousses sismiques. Ils peuvent rattacher l'origine à une cause volcanique ou météorologique (par exemple, la chaleur fait craqueler le sol), ou encore à une origine humaine (guerres/bombes...). C'est donc en passant par l'investigation, via une recherche documentaire et/ou une expérimentation, que les élèves vont pouvoir renoncer à ce postulat de départ. L'expérience vient alors, non pas comme une fin en soi, mais comme une nécessité permettant de tester la pertinence d'une hypothèse.

La formulation des conceptions ou des hypothèses des élèves (ce qu'ils pensent savoir, ce qu'ils pensent comprendre et pouvoir expliquer d'un phénomène) peut être faite de façon individuelle ou collective :

- **À l'écrit sous la forme :**

- d'un dessin légendé, comme dans la deuxième séance sur les volcans lorsque le maître demande de dessiner une éruption volcanique correspondant au texte proposé ;
- d'un texte argumenté, comme lors de la séance 3-1 sur les tsunamis au cours de laquelle les élèves, après avoir observé deux photographies (avant et après tsunami), doivent décrire et expliquer ce qui a bien pu se produire ;
- d'une liste lorsqu'il interroge les élèves, dans les séquences 2 et 3, sur les conduites à tenir et les gestes à adopter en cas de tremblement de terre ou de tsunami.

- **À l'oral**, et prendre la forme d'une discussion collective argumentée entre les élèves : « *qu'est-ce qu'une catastrophe naturelle ?* », puis « *qu'est-ce qu'un risque naturel ?* »

## La phase de recherche

Lors de cette phase, toujours guidé par l'enseignant, l'élève s'investit dans la recherche de solutions au problème posé. Il s'agit de mettre à l'épreuve les « hypothèses » retenues.

Le maître veille à ce que les modalités de recherche soient trouvées par les élèves eux-mêmes, ceux-ci ne devant pas être de simples exécutants. Il peut parfois les aider, en cas de blocage, en leur présentant par exemple le matériel disponible.

Lorsque l'expérience n'est pas possible, la recherche documentaire, la modélisation, l'interview permettent aux élèves de valider ou réfuter les hypothèses précédemment émises.

Le module « Quand la Terre gronde » offre une grande variété de moyens d'investigation. En voici quelques exemples :

- **Expériences** : Pourquoi certains cônes volcaniques sont-ils plus pentus que d'autres ? Comment une secousse sismique se propage-t-elle ? Quelle est l'origine d'une secousse sismique ? Comment créer une vague ? (séances 1-5, 2-3, 2-5, 3-2)
- **Recherches documentaires** : Où sont localisés les volcans ? Comment se protéger du risque volcanique ? Où sont localisés les séismes ? (séances 1-4, 1-8, 1-11, 2-4)
- **Modélisation** : Quelle est l'origine du cône volcanique ? Comment construire des bâtiments résistants ? (séances 1-4, 2-10 et 2-11)
- **Construction** : Construction d'une maquette de volcan. (séance 1-6)
- **Interview** : À quel risque ma commune est-elle confrontée ? (séance 4-2)
- **Observation** : Sortie sur le terrain pour identifier les risques existants. (séance 4-3)

Notons que certaines modélisations ou études documentaires peuvent être réalisées par le biais d'animations multimédias, comme c'est le cas, par exemple, quand nous cherchons à modéliser différents types d'éruptions volcaniques en faisant varier plusieurs paramètres (pression des gaz, viscosité de la lave), ou quand nous regardons une animation relatant l'histoire des catastrophes naturelles. (séances 1-12 et 1-2)

## La structuration des savoirs

On a vu combien le questionnement tenait une place essentielle tout au long de l'investigation, qu'il s'agisse de poser un problème, d'interpréter le résultat d'une expérience, de confronter des points de vue... Il faut parfois plusieurs allers-retours entre questionnement et recherche avant de pouvoir répondre au problème et construire ainsi de nouvelles connaissances.

C'est lors de la phase orale collective que la classe construit véritablement un savoir commun. Le débat y tient une place primordiale. Cette mise en commun ne doit pas être vue comme un dialogue entre élèves et enseignant, mais comme un dialogue entre élèves, facilité par l'enseignant.

Toute la classe participe à l'élaboration d'une trace écrite collective, qui fait consensus et qui résume ce qui a été appris et compris. Cette conclusion permet également de prendre de la distance avec l'activité réalisée afin de pouvoir commencer à généraliser et conceptualiser. La précision du vocabulaire devient ici centrale. Ainsi, pour l'élève, le terme de plaque tectonique (élément géologique) ne désignera plus un continent (élément géographique). De même, la distinction sera faite entre le magma (mélange de roche en fusion et de gaz présent dans les conduits volcaniques) et la lave (roche en fusion qui sort à la surface). Cette trace écrite collective est souvent textuelle, mais peut s'agrémenter d'autres formes de présentation : graphique, schéma...

La conclusion de la classe fait consensus... mais cela ne signifie pas qu'elle soit valable ! On peut être tous d'accord et tous se tromper ! Une étape essentielle, souvent oubliée, de l'investigation est la nécessaire confrontation du savoir construit en classe (nos conclusions) avec le savoir établi (ce que savent les scientifiques). Cette confrontation se fait à l'aide de livres, documents... ou même avec le maître qui est, lui aussi, dépositaire du savoir établi.

Dans le module pédagogique « Quand la Terre gronde » sont présentées des conclusions-types à la fin de chaque séance. Il s'agit bien entendu d'exemples (basés sur des tests réalisés en classe) destinés à guider l'enseignant. Il serait cependant regrettable que ces conclusions soient utilisées telles quelles. Nous recommandons aux maîtres de laisser leurs élèves élaborer leurs propres conclusions, basées sur le travail effectivement réalisé en classe.

## Les rôles du maître

Dans la démarche d'investigation, où l'activité de l'élève est prépondérante et favorisée, le maître a un double rôle, essentiel. Il n'est plus seulement celui qui transmet des connaissances, mais aussi celui qui aide les élèves dans un cheminement vers la construction, par eux, de connaissances et l'acquisition de savoir-faire et de savoir-être.

Pour cela, il s'appuie sur la connaissance qu'il a des capacités de ses élèves et aussi de l'état de la progression de l'ensemble de la classe. Il est attentif à l'atmosphère générale comme au rythme de travail de chacun ou des groupes, apporte son soutien ou relance la réflexion quand cela est nécessaire, décide ou non de passer à une autre activité, à des moments de recentrage ou de généralisation. Pour tout cela, il est dit « tuteur » de la classe.

Mais il a un autre rôle, moins classique, et qui apparaît à certains moments des interactions entre maître et élèves ou entre élèves. Par exemple, lorsqu'il questionne les propositions des élèves: « *Et toi, à ton avis...* », « *Que pensez-vous de l'avis de votre camarade? Êtes-vous d'accord avec ce qui a été dit?* », plutôt que de juger en vrai ou faux. Ou encore lorsqu'il donne aux élèves des occasions de discuter, d'argumenter, étant arbitre ou modérateur. C'est bien lui qui est le garant des « faits » observés, de leur normalité, en tant qu'intermédiaire entre la science « officielle » (celle des savants) et les élèves. Il décide aussi de la prise en compte ou non des propositions des élèves en se justifiant, de leur traitement et, finalement, en tant qu'expert ou référent, de la qualité scientifique des résultats des travaux de la classe. Et pour cela, il est dit « médiateur » scientifique de la classe.

## Sciences et maîtrise des langages

La communication orale ou écrite est présente tout au long du projet « Quand la Terre gronde ». Le cahier d'expériences, en particulier, est un outil précieux dont les usages méritent d'être détaillés.

Pourquoi les élèves écrivent-ils ?

L'écrit invite à mettre à distance, à clarifier et à formuler ses pensées afin de les rendre compréhensibles par tous. Les élèves non familiers des démarches d'investigation écrivent peu spontanément. Cette activité nécessite donc un apprentissage, qui sera effectif si les élèves en comprennent l'utilité. Tous les écrits, dans leurs formes les plus diverses (dessins, schémas, légendes, textes descriptifs ou explicatifs), contribuent à la construction des apprentissages.

### ● L'élève écrit pour lui-même

L'écrit permet à l'élève d'agir (préciser un dispositif, faire des choix, planifier, anticiper sur des résultats), de mémoriser (garder trace d'observations, de recherches, de lectures, revenir sur une activité antérieure) et de comprendre (organiser, trier, structurer, mettre en relation des écrits antérieurs, reformuler des écrits collectifs).

### ● L'élève écrit pour les autres

L'écrit lui permet de transmettre ce qu'il a compris, de questionner les autres élèves, mais aussi des personnes extérieures à la classe (autres classes, familles...), d'expliquer ce qu'il a fait ou compris, de synthétiser...

Le cahier d'expériences peut être organisé en deux parties : individuelle et collective.

Les **écrits individuels** constituent un espace personnel de l'élève, qui y écrit ses premières réponses aux questions posées, décrit les activités qui lui permettraient de répondre à ces questions, note ses prévisions, rédige ses comptes rendus. Ces écrits peuvent prendre la forme de textes, mais aussi de schémas, dessins, graphiques... Ils servent de moteur de réflexion et de trace de l'action : à ce titre, ils sont pour le maître un moyen de suivre les progrès et le cheminement personnel de chaque enfant. Il est important que le maître n'intervienne pas d'autorité sur ces écrits personnels (pour en corriger les erreurs, par exemple). Il pourra par contre aider l'enfant à les structurer petit à petit. Des écrits

initialement peu élaborés et peu structurés vont s'enrichir petit à petit d'une description des dispositifs expérimentaux (liste du matériel, protocole, schéma ou dessin), d'une écriture des résultats et de leur interprétation, de conclusions...

Les **écrits collectifs** sont le fruit d'un véritable effort de confrontation d'idées et de propositions. Ils ont alors le statut d'écrits « validés », et doivent donc veiller à respecter les règles orthographiques et syntaxiques, et à s'enrichir d'un lexique précis.

## Évaluer les acquis des élèves

Comment évaluer les connaissances et les compétences développées par les élèves au cours d'un projet comme celui-ci ? La réponse à cette question dépend avant tout de l'usage qui sera fait de cette évaluation. Aussi, pour répondre à cette préoccupation, chaque situation d'évaluation proposée en fin de séquences a été conçue avant tout comme une évaluation diagnostique afin de permettre aux enseignants de récolter des informations pertinentes concernant les capacités des élèves à mobiliser les ressources dont ils disposent, autrement dit les éléments de savoir et les procédures qu'ils possèdent. Diagnostique pour permettre à l'enseignant de savoir si les élèves ont bien acquis telle notion ou telle compétence, dans le but de les noter (évaluation sommative), et diagnostique dans une perspective d'aide et de régulation des apprentissages (évaluation formative).

Les situations proposées sont pour cela constituées de situations complexes ou situations problèmes qui vont, pour leur résolution, nécessiter de la part de l'élève la mobilisation des ressources dont il dispose, et permettre par conséquent à l'enseignant de mesurer le niveau de maîtrise des compétences de chacun de ses élèves. C'est ainsi que dans l'évaluation sur les séismes, les élèves sont amenés, à travers différents documents, à raisonner sur un événement sismique précis ainsi que sur un protocole expérimental qui n'a pas été mis en œuvre dans la classe. Pour résoudre ce problème, les élèves, guidés par des questions, doivent mobiliser un certain nombre de connaissances sur les séismes, ainsi que des savoir-faire relevant de différents domaines :

### ● **Culture scientifique et technologique**

- Pratiquer une démarche scientifique ou technologique.
- Pratiquer une démarche d'investigation : savoir observer, questionner.
- Manipuler et expérimenter, formuler une hypothèse et la tester, argumenter, mettre à l'essai plusieurs pistes de solutions.
- Exprimer et exploiter les résultats d'une mesure et d'une recherche en utilisant un vocabulaire scientifique à l'écrit ou à l'oral.

### ● **Maîtrise de la langue française**

- LIRE : Repérer dans un texte des informations explicites.
- LIRE : Inférer des informations nouvelles (implicites).
- ÉCRIRE : Répondre à une question par une phrase complète à l'écrit.

### ● **Culture humaniste**

- Avoir des repères relevant du temps et de l'espace.
- Connaître les principaux caractères géographiques physiques, les repérer sur des cartes à différentes échelles.

Dans une perspective d'évaluation formative, le croisement des informations apportées par l'évaluation permettra à l'enseignant de cibler les difficultés éventuelles des élèves (difficultés relevant exclusivement des connaissances, des compétences ou bien de la mise en synergie des deux) et à l'élève de se repérer dans les apprentissages.

Enfin, constater qu'un élève est à même de résoudre une situation est intéressant, mais cela ne permet pas en soi de dire qu'il est compétent. En effet, la compétence ne consiste pas à résoudre une situation-

problème spécifique et particulière, mais à pouvoir résoudre différentes situations qui ont des caractéristiques communes. Si ces caractéristiques communes sont suffisamment définies et qu'on évalue un élève à travers deux ou trois situations différentes mais réunissant ces caractéristiques, alors on pourra conclure à sa maîtrise ou non de la compétence. Ceci peut donc s'inscrire dans un processus d'évaluation continue.

Par conséquent, pour être précise, fiable et utile, une évaluation des connaissances et des compétences se complète avantageusement par l'observation régulière du comportement de l'élève, de son travail individuel ou en groupe et des traces écrites consignées dans son cahier d'expériences.

Une telle évaluation, menée au fur et à mesure du déroulement du projet, permet d'en adapter la progression. Ainsi, si le maître constate que certains élèves butent sur une notion, il pourra consacrer quelques minutes ou une séance entière à une autre activité. Cette situation de détour permettra d'aborder d'une manière différente la notion qui était mal assimilée par certains élèves, sans pour autant ennuyer les autres.

Le cahier d'expériences s'avère être un excellent outil pour l'évaluation formative, dès lors que les élèves l'utilisent systématiquement pour écrire ce qu'ils pensent du problème étudié (leurs idées, conceptions, prévisions, suggestions ou hypothèses), explicitent par quel moyen ils vont résoudre ce problème (protocole expérimental, par exemple), rendent compte de leurs résultats, expliquent sous forme de conclusion ce qu'ils en ont compris, individuellement, avant d'élaborer et rédiger une synthèse collective au sein de la classe.

L'observation du cahier d'expériences et de l'élève en activité permet ainsi à l'enseignant d'évaluer les capacités et compétences attendues dans le socle commun :

- Pratiquer une démarche scientifique ou technologique :
  - savoir observer, questionner ;
  - savoir formuler une hypothèse et la tester, mettre à l'épreuve plusieurs pistes de solutions ;
  - savoir exprimer et exploiter les résultats d'une expérience, d'une mesure ou d'une recherche.

- Les compétences civiques et sociales :

être capable de communiquer et de travailler en équipe, savoir écouter, faire valoir son point de vue, négocier, rechercher un consensus, accomplir sa tâche selon les règles établies en groupe.

Que ce soit pour l'évaluation sommative ou formative, il est extrêmement important que l'enseignant identifie bien ce qu'il attend des élèves. Pour l'y aider, le module pédagogique « Quand la Terre gronde » précise les objectifs notionnels et les compétences travaillées pour chaque séance et présente le scénario conceptuel de l'ensemble du projet, page 46 et suivantes.

## Liens avec le socle commun

Au regard des programmes 2008, le projet « Quand la Terre gronde » permet, par la diversité des contenus et des démarches utilisées, d'acquérir des connaissances et compétences conformes aux attentes du socle commun.

Afin de faciliter la mise en relation de ce module (aspects disciplinaires et transversaux) avec les programmes de l'école, nous présentons ci-dessous :

- la liste des connaissances visées et des compétences travaillées tout au long du module, conformément aux piliers du socle commun. Les piliers sont présentés dans l'ordre des dominantes du projet ;
- des extraits du socle commun et du livret personnel de compétences.

Extraits du socle commun :

*Il s'agit de donner aux élèves la culture scientifique nécessaire à une représentation cohérente du monde et à la compréhension de leur environnement quotidien...*

*Des approches concrètes des sciences, faisant notamment appel à l'habileté manuelle, aident les élèves à comprendre les notions abstraites.*

Compétences du cycle 3	
<b>Les principaux éléments de mathématiques et la culture scientifique et technologique</b>	<p style="text-align: center;"><b>Mathématiques</b></p> <p><b>Nombres et calcul</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimer un ordre de grandeur d'un résultat</li> </ul> <p><b>Géométrie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconnaître, décrire et nommer les figures et solides usuels</li> </ul> <p><b>Grandeurs et mesures</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser des instruments de mesure</li> <li>• Utiliser les unités de mesure usuelles</li> </ul> <p><b>Organisation et gestion de données</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lire, interpréter et construire quelques représentations simples : tableaux, graphiques</li> <li>• Savoir organiser des informations numériques ou géométriques, justifier et apprécier la vraisemblance d'un résultat</li> <li>• Résoudre un problème mettant en jeu une situation de proportionnalité</li> </ul>
<b>Sciences et technologie</b>	<p><b>Pratiquer une démarche scientifique ou technologique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pratiquer une démarche d'investigation : savoir observer, questionner</li> <li>• Manipuler et expérimenter, formuler une hypothèse et la tester, argumenter, mettre à l'essai plusieurs pistes de solutions</li> <li>• Exprimer et exploiter les résultats d'une mesure et d'une recherche en utilisant un vocabulaire scientifique à l'écrit et à l'oral</li> </ul> <p><b>Maîtriser des connaissances dans divers domaines scientifiques et les mobiliser dans des contextes scientifiques différents et dans des activités de la vie courante</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le ciel et la terre <ul style="list-style-type: none"> <li>– Volcans et séismes, les risques pour les sociétés humaines</li> </ul> </li> <li>• La matière <ul style="list-style-type: none"> <li>– États et changements d'état</li> <li>– Mélanges et solutions</li> </ul> </li> <li>• L'énergie <ul style="list-style-type: none"> <li>– Exemples simples de sources d'énergies</li> </ul> </li> <li>• Les êtres vivants dans leur environnement <ul style="list-style-type: none"> <li>– L'adaptation des êtres vivants aux conditions du milieu</li> </ul> </li> <li>• Les objets techniques <ul style="list-style-type: none"> <li>– Circuits électriques alimentés par des piles</li> <li>– Leviers et balances, équilibres</li> <li>– Objets mécaniques, transmission de mouvements</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Environnement et développement durable</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mobiliser ses connaissances pour comprendre quelques questions liées à l'environnement et au développement durable et agir en conséquence</li> </ul>
<b>La maîtrise de la langue française</b>	<p><b>Dire</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• S'exprimer à l'oral comme à l'écrit dans un vocabulaire approprié et précis</li> <li>• Prendre la parole en respectant le niveau de langue adapté</li> <li>• Répondre à une question par une phrase complète à l'oral</li> <li>• Prendre part à un dialogue : prendre la parole devant les autres, écouter autrui, formuler et justifier un point de vue</li> </ul> <p><b>Lire</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dégager le thème d'un texte</li> <li>• Repérer dans un texte des informations explicites</li> <li>• Inférer des informations nouvelles (implicites)</li> <li>• Effectuer seul des recherches dans des ouvrages documentaires (livres, produits multimédias)</li> </ul> <p><b>Écrire</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Répondre à une question par une phrase complète à l'écrit</li> <li>• Rédiger un texte d'une quinzaine de lignes (récit, description, dialogue, texte poétique, compte rendu) en utilisant ses connaissances en vocabulaire et en grammaire</li> </ul> <p><b>Vocabulaire</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprendre des mots nouveaux et les utiliser à bon escient</li> </ul>

<b>La maîtrise des techniques usuelles de l'informatique et de la communication</b>	<p><b>Créer, produire, traiter, exploiter des données</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produire un document numérique : texte, image, son</li> <li>• Utiliser l'outil informatique pour présenter un travail</li> </ul> <p><b>S'informer, se documenter</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lire un document numérique</li> </ul>
<b>La culture humaniste</b>	<p><b>Avoir des repères relevant du temps et de l'espace</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Connaître les principaux caractères géographiques, physiques et humains de la région où vit l'élève, de la France et de l'Union européenne, les repérer sur des cartes à différentes échelles</li> <li>• Comprendre une ou deux questions liées au développement durable et agir en conséquence</li> </ul> <p><b>Lire et pratiquer différents langages</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lire et utiliser textes, cartes, croquis, graphiques</li> </ul>
<b>Compétences civiques et sociales</b>	<p><b>Avoir un comportement responsable</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Respecter les règles de vie collective</li> </ul>
<b>L'autonomie et l'initiative</b>	<p><b>S'appuyer sur des méthodes de travail pour être autonome</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Respecter des consignes simples, en autonomie</li> <li>• Être persévérant dans toutes les activités</li> <li>• S'impliquer dans un projet individuel ou collectif</li> </ul>

## Prolongements du projet

Les séquences proposées dans le module « Quand la Terre gronde » ne prétendent pas aborder de façon exhaustive l'ensemble des notions liées au thème des risques naturels. Celui-ci est à la croisée de nombreux domaines disciplinaires. Chacun a la liberté d'aller plus loin. Les prolongements proposés tout au long du module, ainsi que quelques exemples qui suivent, offrent la possibilité d'approfondir une notion en favorisant des liens interdisciplinaires, de traiter un autre aspect lié au thème étudié ou bien de réinvestir ce qui est acquis.

### ● Sciences et technologie

- Lors de la fabrication d'un volcan, les élèves peuvent choisir de modéliser les deux types d'éruptions volcaniques en préparant des mélanges différents.
- Observer des échantillons de roches volcaniques (si possible après une sortie sur le terrain) et les associer au type d'activité volcanique correspondant.
- Réaliser des expériences sur les moyens de se protéger des volcans :
  - › Prévoir l'arrivée imminente d'une éruption ;
  - › Comment détourner ou freiner une coulée de lave ?
- Réaliser une expérience permettant de visualiser une onde sismique.

- Effectuer une simulation d'évacuation en cas de tremblement de terre.
- Réaliser une maquette de construction parasismique intégrant les différents paramètres étudiés dans le module pédagogique.
- Réaliser une maquette sur les moyens de protection contre les tsunamis, tels que les digues ou brise-vagues.
- Étudier comment les êtres vivants (animaux et végétaux) peuvent s'adapter à un milieu hostile comme les volcans.

#### ● **Culture humaniste**

- Visite d'un musée (des arts et métiers, pour la fabrication de sismographes; dédié aux volcans; dédié à l'histoire des civilisations et des catastrophes naturelles).
- Établir un lien entre certaines grandes catastrophes naturelles et des repères historiques et/ou géographiques.

#### ● **Repères littéraires**

- Rechercher des mythes et légendes sur les volcans, les séismes ou les tsunamis.
- Des textes de littérature peuvent venir enrichir le sujet: *Le Démon de la vague*, de Christine Féret-Fleury et Geneviève Lecourtier, raconte l'histoire d'un village qui, chaque nuit de pleine lune, est ravagé par une énorme vague qui abriterait un démon.
- La bibliographie mentionne d'autres ouvrages de littérature de jeunesse traitant des volcans, des séismes ou des tsunamis.

#### ● **Pratiques artistiques et histoire des arts**

- Illustrer une scène montrant Vulcain dans un état colérique, en travaillant sur les couleurs chaudes et les matières pour représenter les expressions et attitudes de Vulcain.
- Représenter une éruption volcanique à travers une réalisation plastique (matières différentes, couleurs chaudes, ou à la manière de Sara comme dans son album *Volcan*).
- Illustrer les différentes échelles relatives aux séismes (MSK et Richter).

#### ● **Mathématiques**

- L'une des séances du module se prête à un travail spécifique en mathématiques sur le calcul de moyenne et de médiane. Celle-ci peut se prolonger par une ou plusieurs séances mathématiques au cours desquelles l'étude de nouvelles données conduira les élèves à explorer plus en détails ces notions de moyenne et de médiane.

#### ● **Recherche documentaire**

- La recherche documentaire fait partie intégrante de la démarche d'investigation. C'est l'occasion de développer des compétences de lecteurs, mais aussi celles liées au B2i (brevet informatique et Internet).

#### ● **Production d'écrits**

- Pour rendre compte de leur travail, les élèves peuvent être amenés à réaliser des affiches pour une exposition ou produire un petit album qui sera lu dans d'autres classes ou à la maison.

#### ● **Techniques usuelles de l'information et de la communication**

- Utiliser les outils numériques (courrier électronique, visioconférence) pour établir une correspondance avec une école localisée dans une zone à risque volcanique ou sismique.
- Réaliser à partir de l'expérience sur l'origine du cône volcanique une production multimédia (vidéo, diaporama) illustrant la formation de l'édifice volcanique à partir d'éruptions successives (de chocolat par exemple).
- Produire un diaporama des activités réalisées en classe pour présenter le travail à d'autres classes ou aux familles.

# Les 10 principes de *La main à la pâte*

S'il n'existe pas de méthode universelle d'apprentissage des sciences, il est remarquable de constater que toutes les récentes opérations de rénovation de l'enseignement des sciences dans le monde s'inscrivent dans une démarche commune.

Cette démarche considère la science non comme un ensemble d'énoncés à apprendre par cœur, mais comme une activité au cours de laquelle l'élève est en situation d'investigation et où la communication (orale et écrite) est très importante. L'enseignant y joue un rôle essentiel, en aidant les enfants à construire eux-mêmes leur propre savoir.

*La main à la pâte* a formulé dix principes constitutifs de cette démarche. On trouvera, dans la documentation pédagogique de son site Internet ([www.lamap.fr](http://www.lamap.fr)), de nombreux textes, témoignages et analyses qui illustrent et éclairent ces dix principes.

## Les 10 principes de *La main à la pâte*

1. Les enfants observent un objet ou un phénomène du monde réel, proche et sensible, et expérimentent sur lui.
2. Au cours de leurs investigations, les enfants argumentent et raisonnent, mettent en commun et discutent leurs idées et leurs résultats, construisent leurs connaissances, une activité purement manuelle ne suffisant pas.
3. Les activités proposées aux élèves par le maître sont organisées en séquences en vue d'une progression des apprentissages. Elles relèvent des programmes et laissent une large place à l'autonomie des élèves.
4. Un volume minimum de deux heures par semaine est consacré à un même thème pendant plusieurs semaines. Une continuité des activités et des méthodes pédagogiques est assurée sur l'ensemble de la scolarité.
5. Les enfants tiennent chacun un cahier d'expériences avec leurs mots à eux.
6. L'objectif majeur est une appropriation progressive, par les élèves, de concepts scientifiques et de techniques opératoires, accompagnée d'une consolidation de l'expression écrite et orale.
7. Les familles et/ou le quartier sont sollicités pour le travail réalisé en classe.
8. Localement, des partenaires scientifiques (universités, grandes écoles) accompagnent le travail de la classe en mettant leurs compétences à disposition.
9. Localement, les IUFM mettent leur expérience pédagogique et didactique au service de l'enseignant.
10. L'enseignant peut obtenir auprès du site Internet <http://www.lamap.fr> des modules à mettre en œuvre, des idées d'activités, des réponses à ses questions. Il peut aussi participer à un travail coopératif en dialoguant avec ses collègues, des formateurs, des scientifiques.