



Médiation  
Culturelle

# Les volcans

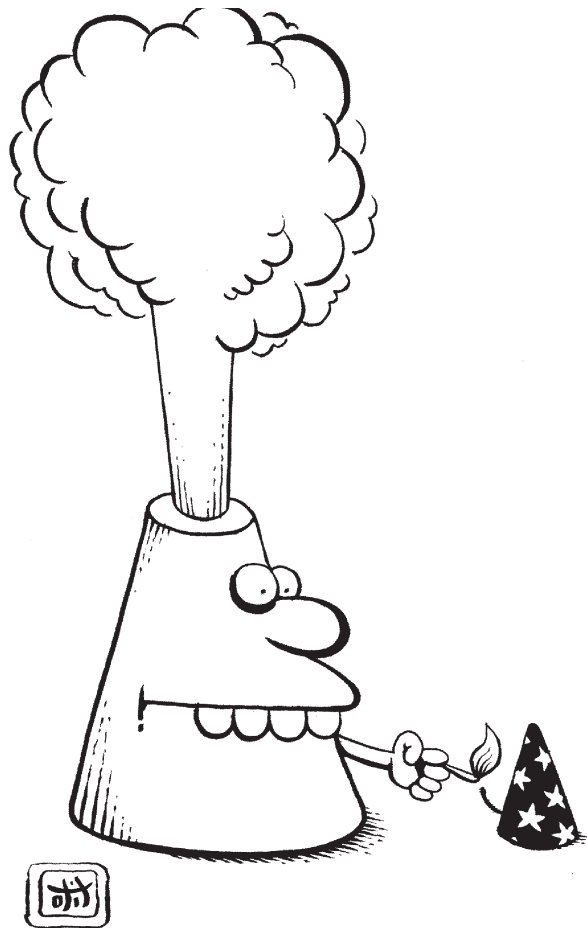
-----  
Le feu de la Terre



**Illustration**  
**de couverture**    Javier Fortea, Florence Marteau

# Supervolcan

Dossier pédagogique  
destiné aux enseignants de 3P à 6P (8-12 ans)



# Table des matières

<b>Pour organiser votre visite</b>	<b>4</b>
<b>L'exposition</b>	<b>5</b>
Introduction	6
A Structure de la Terre	7
1. Croûtes et plaques	7
2. Magma et lave	10
B Les 5 types de volcanisme dans le monde	11
1. Le volcanisme d'arc ou de subduction	11
2. Le volcanisme de point chaud	14
3. Le volcanisme de rift	14
4. Le volcanisme de dorsale océanique ou d'accrétion	15
5. Le volcanisme ponctuel	16
C Les volcans rouges : le volcanisme effusif	17
D Les volcans gris : le volcanisme explosif	19
1. Volcans et catastrophes	20
2. Volcans et climat	22
E Les volcans de boue : le volcanisme froid	24
F Supervolcans	25
1. Qu'est-ce qu'un supervolcan ?	25
2. Quelles sont les conditions pour avoir une superéruption ?	25
3. Quels sont les facteurs déclencheurs d'une superéruption ?	25
4. Quelle est la fréquence des superéruptions ?	25
5. Quelle est la morphologie des supervolcans ?	26
G Les bienfaits des volcans	28
1. Nouveaux territoires	28
2. Construction	28
3. Histoire de l'Homme	29
4. Minerais	29
5. Fertilité	30
6. Zéolites	30
7. Gemmes	31
8. La géothermie, une énergie renouvelable	31
H Volcans sous surveillance	33
1. Surveillance et analyse des émissions de gaz	33
2. Surveillance au sol	33
3. Surveillance aérienne	34
4. Surveillance de la déformation du sol	34
5. Surveillance par caméra	35
6. Surveillance sismique	35

I	Les roches volcaniques	36
	1. Rappel	36
	2. Les roches volcaniques	37
	3. Les formes des laves (basaltes) des volcans effusifs	38
	4. Les formes des laves (rhyolites) des volcans explosifs	40
	Outils pour l'enseignant	42
	Annexe 1 : L'Eyjafjöll, chronique d'une éruption	44
	Annexe 2 : Pour réaliser un volcan	48
	Annexe 3 : Questionnaire	50



Santiaguito, Guatemala  
(photo C. Charvet)

## Pour organiser votre visite...

**A. Pour les écoles** Ateliers de médiation gratuits, sur inscription en début d'année scolaire

**B. Pour tous les publics** Une visite guidée de l'exposition temporaire présentée par les commissaires peut être organisée sur demande, toute l'année, du mardi au vendredi.  
Visite payante, dès 8 ans

**1** Téléphoner au +41 (0)22 418 63 44 pour fixer un rendez-vous, ou envoyer un courriel à : [visites.mhn@ville-ge.ch](mailto:visites.mhn@ville-ge.ch)

**2** Après réservation, une confirmation écrite est envoyée

**3** A l'arrivée au Muséum, s'annoncer à l'accueil et s'acquitter du montant de la visite, en espèces uniquement.  
Les euros (billets exclusivement) sont acceptés et la monnaie est rendue en francs suisses, au taux de change en vigueur au Muséum le jour de la visite (indication : octobre 2010, soit € 0,74 = CHF 1.-)  
A l'issue de la visite, votre reçu peut être retiré à l'accueil

### Tarifs

**Dès 16 ans** CHF 95.- par groupe (min. 10 pers. - max. 20-25 pers.), pour une visite d'une heure

**Jusqu'à 15 ans** CHF 60.- par groupe (min. 10 pers. - max. 20-25 pers.), pour une visite d'une heure

**Précisions utiles** Le Muséum dispose de quelques places de parking pour les cars.

**Accès par car** Pour la procédure d'accès, nous vous prions de vous annoncer dès votre arrivée auprès de l'huissier à l'accueil (Tél. +41 (0)22 418 64 00)

**Accès par train** Arrivée gare CFF de Cornavin : tramway 16 (arrêt Villereuse), bus 27 (arrêt Muséum) ou bus 8 (arrêt Tranchées )

Arrivée gare SNCF Eaux-Vives : 15 minutes à pied jusqu'au Muséum ou tramway 12, 16 ou 17 (arrêt Villereuse)

**Accès par la route** Parking Villereuse

## 3<sup>e</sup> étage

### L'exposition «Supervolcan»



#### Volcans spectaculaires

Le volcanisme spectaculaire, aussi nommé «volcanisme rouge», les coulées de laves, la formation du magma et les différents types de volcanismes.

#### Volcans destructeurs

Le volcanisme explosif («volcanisme gris»), qui propulse de grandes quantités de poussières dans l'atmosphère et qui peut donc perturber considérablement le climat de notre planète.

#### Volcans bienfaiteurs

Les cendres émises par les volcans fertilisent de grandes régions. Les volcans sont les principaux responsables de la formation des minerais, une ressource importante dans l'histoire de l'humanité. La géothermie, une énergie renouvelable souvent liée à la présence des volcans, est traitée dans ce volet.

#### Volcans sous surveillance

Les méthodes et les outils qui permettent de surveiller les volcans.

*Les films projetés en octobre 2010 et février 2011 portent sur cette thématique.*

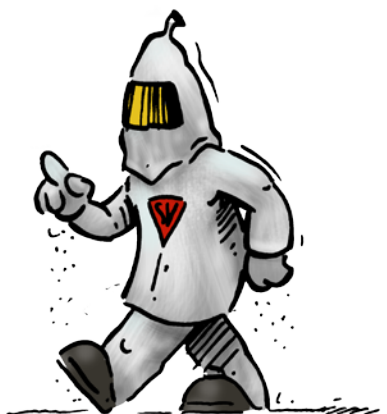
#### A découvrir également au 3<sup>e</sup> étage : l'histoire de la Terre

- l'architecture interne du globe terrestre
- la croûte terrestre
- la tectonique des plaques
- les volcans et tremblements de terre

## Introduction

**«Sans les volcans, la vie ne serait probablement jamais née» Haroun Tazieff.**

Le personnage en combinaison ignifugée, «Supervolcan», vous guide dans l'exposition (© J. Fortea, Museum)



Bien que dangereux et redoutables, les volcans ont toujours fasciné l'Homme. Sources de vie ou de mort, ils suscitent crainte et respect, inspirant mythes et légendes dans lesquels leur colère est associée à celle de divinités.

Pour les Romains, le dieu du feu Vulcain vivait dans l'Etna. Il y forgeait les armes de Jupiter et les flammes qui s'échappaient signifiaient que le dieu travaillait. Le mot «volcan» tire son nom de Vulcain.

Les volcans sont des reliefs terrestres ou sous-marins présentant des fractures par lesquelles s'écoule de la lave (du magma qui a atteint la surface). Lors d'éruptions, le magma remonte de la chambre magmatique vers la surface par une ou plusieurs cheminées. Une fois en surface, il se refroidit et donne des roches volcaniques. A chaque éruption, le volcan s'agrandit par l'accumulation des coulées de laves et des cendres. La forme du volcan varie selon le type de lave et d'éruption.

Cette formation géologique se présente la plupart du temps sous forme de cône, au sommet duquel se trouve un orifice appelé cratère. Certains volcans n'ont plus leur sommet, mais une caldeira («chaudron» en portugais): un gigantesque trou causé par un effondrement.

C'est en essayant de comprendre d'où provient le magma que les scientifiques ont progressivement élucidé la structure de la Terre.

# A Structure de la Terre

## 1. Croûtes et plaques



A son origine, il y a environ 4,6 milliards d'années, notre planète n'était qu'une boule ardente faite de roches fondues. Le noyau et le manteau se sont différenciés. La Terre s'est ensuite refroidie en surface et une peau rigide s'est ainsi lentement formée: la **croûte terrestre**, composée de croûtes continentale et océanique. La croûte terrestre est très fine: entre 7 et 70 kilomètres d'épaisseur, alors que le rayon de la planète avoisine 6400 kilomètres. Cela équivaut à l'épaisseur d'une feuille de papier posée sur une orange.

La **croûte continentale** a une épaisseur de 20 à 35 km et elle s'épaissit jusqu'à 50 à 70 km sous les chaînes de montagne. Elle est composée avant tout de granites, de gneiss et de roches sédimentaires. La **croûte océanique** ne dépasse pas 5 à 8 km d'épaisseur. Elle est composée de roches sédimentaires et de roches magmatiques basiques, essentiellement des basaltes (schéma 1, p. 8).

La **lithosphère** est constituée de la croûte océanique et continentale et la partie supérieure du manteau supérieur, rigide. Elle est découpée en plusieurs plaques mobiles et rigides qui dérivent sur l'asthénosphère, la partie du manteau supérieur déformable sous le manteau. L'épaisseur et la composition de la lithosphère sont variables: 70 à 100 km pour un océan et 150 à 170 km pour un continent.

Notre planète est ainsi constituée en surface de morceaux qui forment ce que l'on appelle les plaques lithosphériques. On en compte huit grandes: les plaques eurasienne, africaine, nord-américaine, sud-américaine, nazca, pacifique, australienne et antarctique, ainsi que plusieurs de plus petite dimension, notamment les plaques coco, arabe, indienne et philippine (schéma 2, p. 9).

La «tectonique des plaques» désigne l'ensemble des phénomènes liés aux mouvements des plaques lithosphériques: collision, écartement, coulissement.

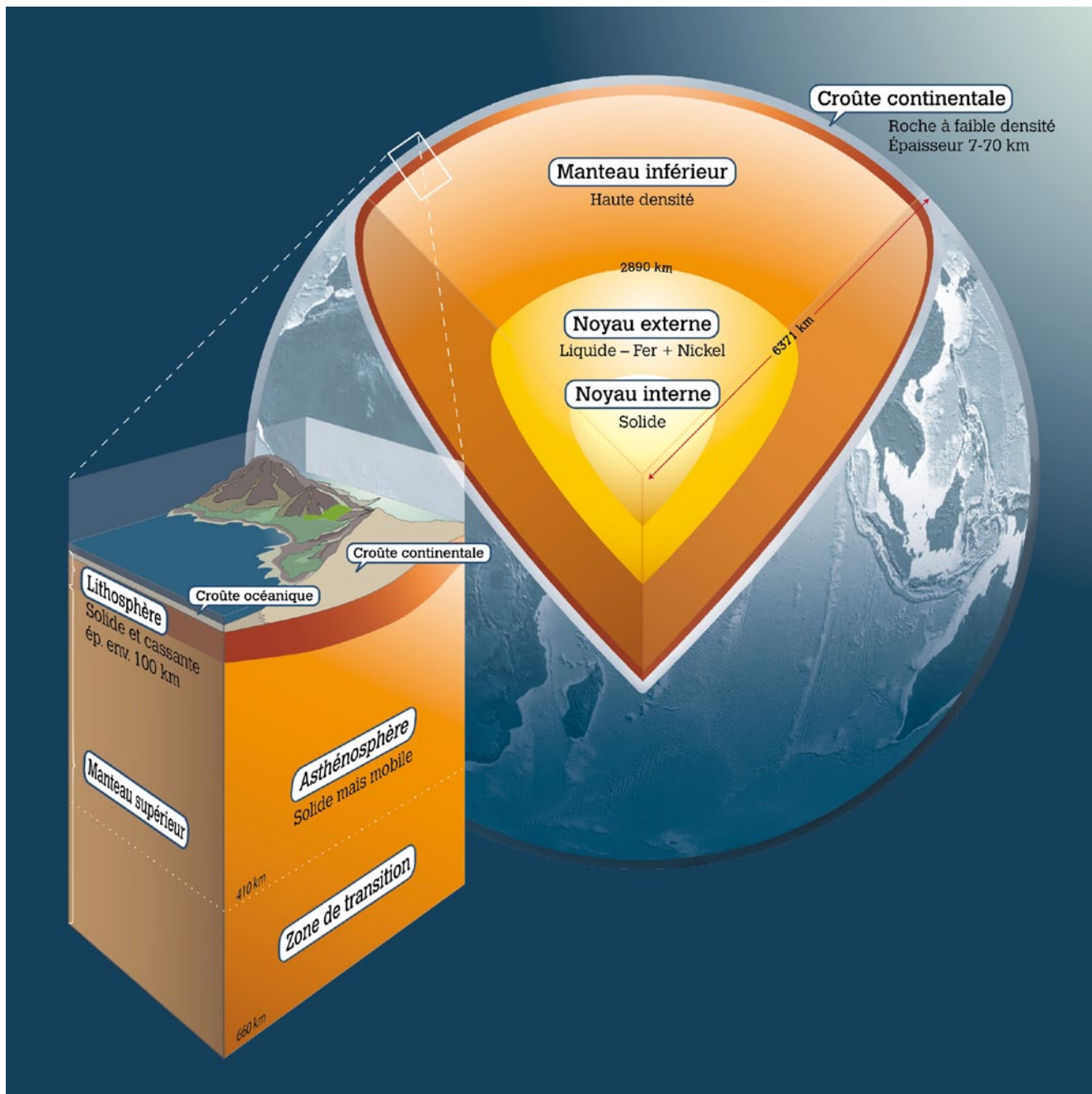


Schéma 1 : L'intérieur de la Terre (d'après E. Tarbuck, 2008)

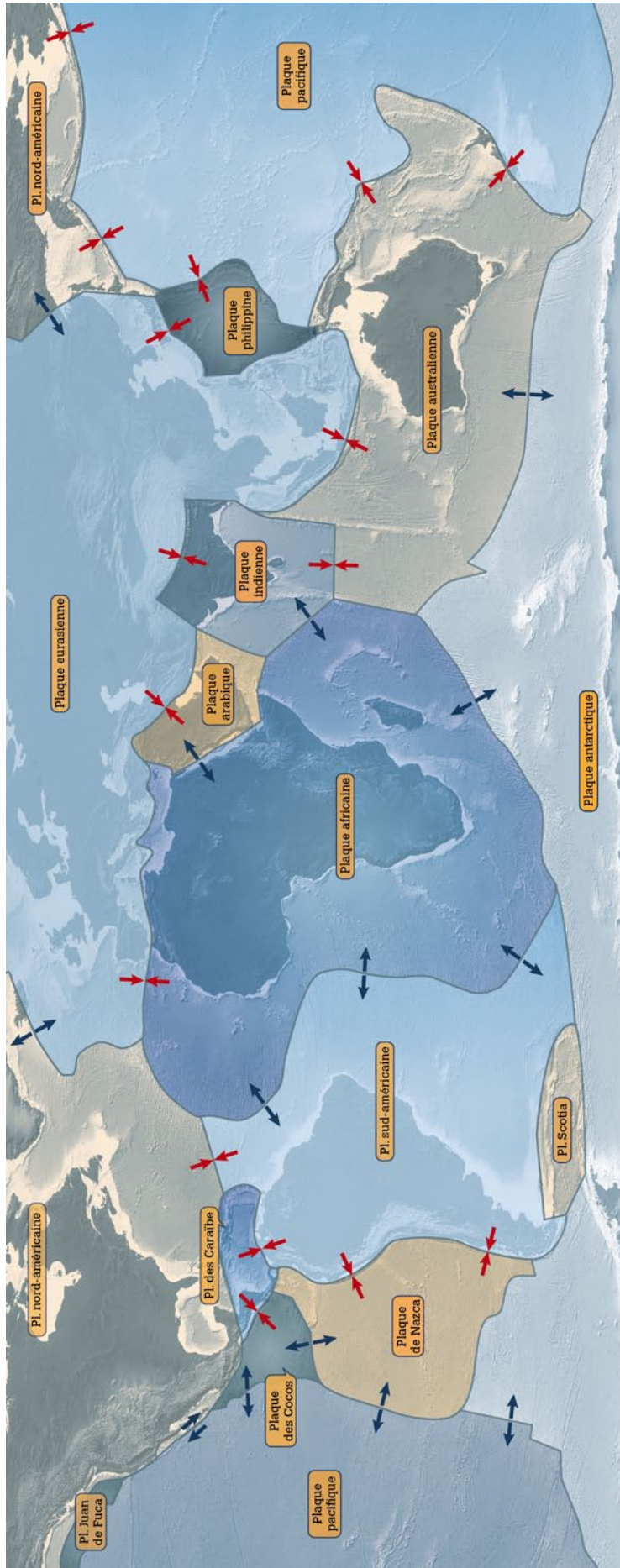


Schéma 2 : Les grandes plaques tectoniques

## 2. Magma et lave



Coulée de lave, Hawaii  
(photo J. Metzger)

Un **magma** est une roche fondue. Sans lui, le volcanisme n'existerait pas ! Un magma qui atteint la surface est appelé « lave ».

Lorsque les magmas parviennent à la surface de la croûte terrestre par une ou plusieurs cheminées, ils libèrent :

- des liquides ou laves
- si les laves sont éjectées et se solidifient dans l'air, elles forment des bombes, scories, et cendres
- des produits gazeux.

### Origine du magma



Santiaguito, Guatemala  
(photo M. Caillet)

Les **magmas** les plus répandus proviennent de la fusion partielle du manteau supérieur. Ce dernier est, contrairement aux idées reçues, solide et représente plus de 80% du volume de notre planète. Cependant, suite à une modification de température, de pression ou d'hydratation, sa partie supérieure peut subir une fusion partielle.

Un liquide magmatique en quantité suffisante, avec une densité différente de l'environnement solide et sous pression, migre vers le haut.

### Le gaz, moteur des explosions volcaniques

La comparaison avec une bouteille de champagne est instructive pour les enfants :

**Phase 1 :** Le magma situé dans la chambre magmatique subit la pression des roches qui l'enferment. Les gaz sont dissous dans le magma. Cette situation est semblable à celle d'une bouteille de champagne bouchée.

**Phase 2 :** Le magma, sous l'effet de la pression, commence à monter. Les gaz s'échappent et forment des bulles. Le volume du magma augmente. Le bouchon de la bouteille commence à sortir.

**Phase 3 :** Le magma arrive à la surface. Les bulles grossissent, éclatent et pulvérisent le magma. Le bouchon de champagne saute.

En fonction du temps de stockage dans la chambre magmatique, les magmas se transforment et sont « peu évolués » (volcan effusif) à « évolués » (volcan explosif).

## B Les 5 types de volcanisme dans le monde



Cotopaxi, Equateur  
(photo C. Charvet)

### 1. Le volcanisme d'arc ou de subduction

Un plancher océanique glisse sous une autre plaque

Lors de son enfouissement, le plancher océanique plongeant libère de l'eau et provoque la fusion partielle de la partie supérieure du manteau. Les magmas produits sont riches en volatiles (gaz) et très visqueux. Ceux-ci provoquent des éruptions explosives parfois très importantes. Ainsi une forte explosion peut détruire le cône habituellement formé et engendrer un trou appelé caldeira.

Deux volcanismes d'arc existent :

- l'arc insulaire, lorsqu'un plancher océanique s'enfonce sous une autre plaque du même type,
- l'arc continental, lorsqu'un plancher océanique s'enfonce sous une plaque continentale.

Quinze à vingt millions d'années de subduction sont nécessaires pour qu'un arc puisse se développer.

Ce volcanisme produit les grands stratovolcans, des cônes à pentes fortes formées par l'empilement de couches de produits volcaniques variés : coulées de lave massives, débris fragmentés (pyroclastiques), cendres et scories.

#### EXEMPLES

Fuujyama (Japon) – arc insulaire  
Mont Saint Helens (Etats-Unis) – arc continental  
Pinatubo (Philippines) – arc insulaire

Lors de la très forte éruption du Mont Saint Helens (USA) en 1980, l'onde de choc de l'explosion a rasé les forêts dans un large secteur demi-circulaire au nord du volcan. Ces destructions sont encore visibles bien des années après la catastrophe.  
(photo P.-Y. Burgi)



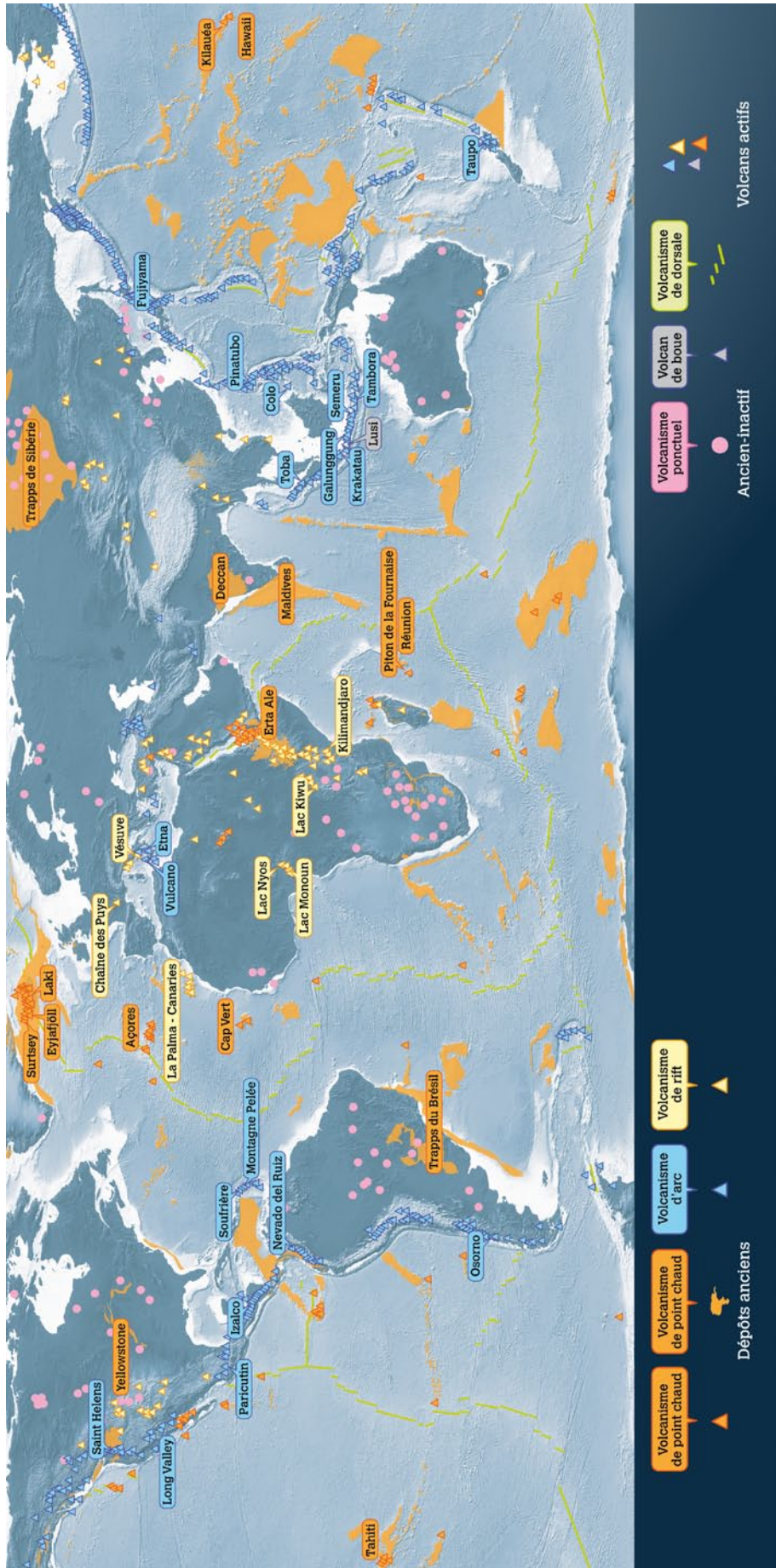


Schéma 3 : Cette carte présente les volcans actifs et en sommeil, le volcanisme ponctuel préhistorique, ainsi que les grands dépôts de trapps et de plateaux océaniques associés à des points chauds.

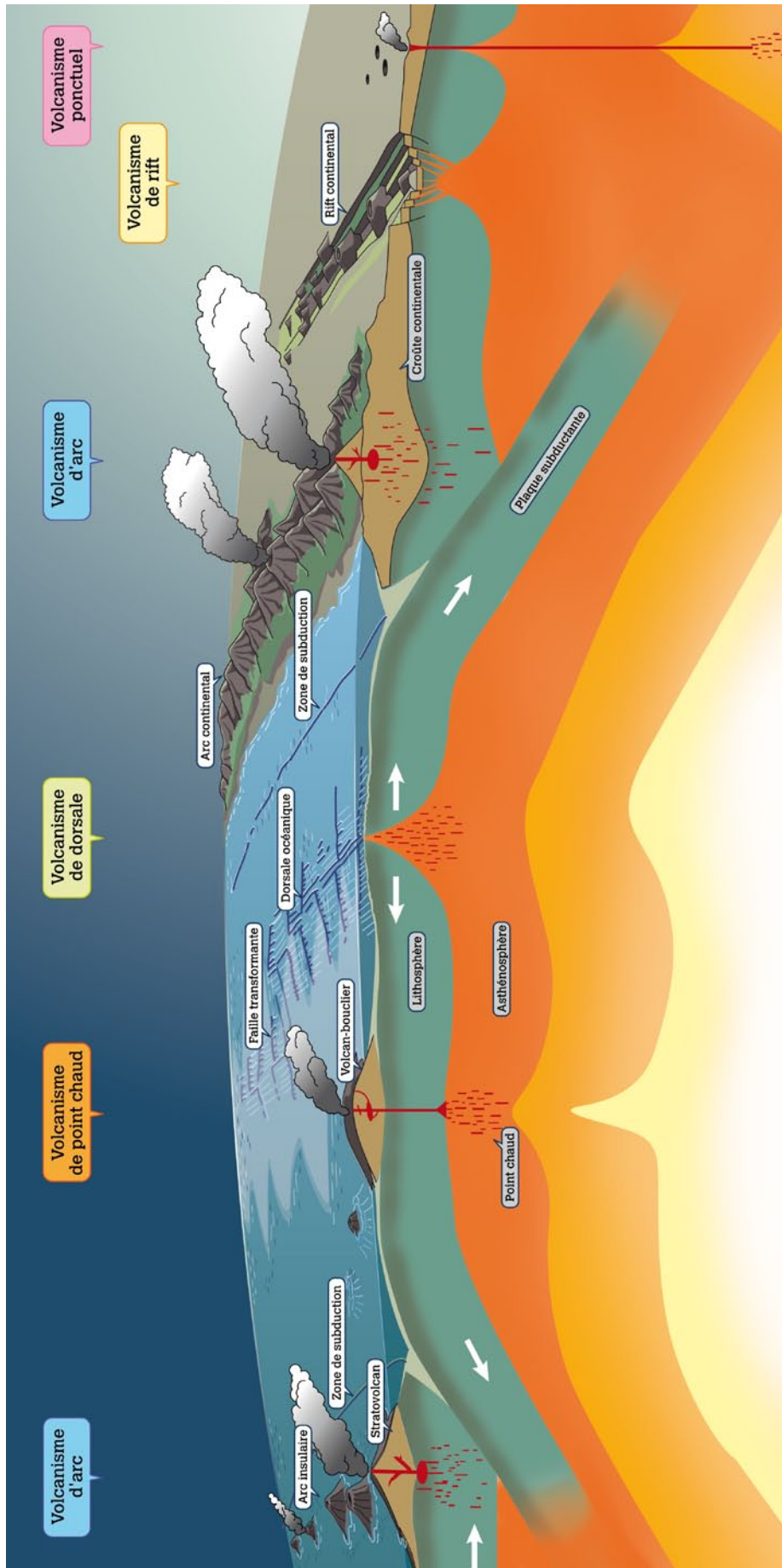


Schéma 4 : Les différents types de volcanisme et leurs liens avec le manteau terrestre et la tectonique des plaques (d'après José E. Vigil, USGS).

## 2. Le volcanisme de point chaud

### Surchauffement local du manteau supérieur



Pu'u 'O'o, Hawaii  
(photo USGS)

Ce volcanisme ne se situe pas aux frontières des plaques tectoniques, mais à l'intérieur de celles-ci. Le magmatisme a pour origine des panaches mantelliques ascendants nés vraisemblablement à des profondeurs de plus de 670 km. Ce mécanisme engendre de très gros volumes de lave en surface, responsables de la formation d'édifices volcaniques énormes atteignant 10 km au-dessus des fonds marins, telle l'île d'Hawaïi. L'alignement des îles témoigne, selon l'explication classique, du défilement d'une plaque au-dessus d'un point chaud fixe. A mesure qu'elle se déplace, l'île s'éloigne du point chaud, tandis qu'une autre apparaît, puis se déplace, et ainsi de suite. Récemment, des chercheurs ont mis en évidence la mobilité des points chauds.

Ce volcanisme génère des volcans bouclier: des cônes à pente faible résultant de l'empilement de coulées de laves fluides, généralement basaltiques.

- Le point chaud:
  - traverse une plaque océanique (ex: les volcans hawaïens et ceux de Polynésie dans la plaque pacifique)
  - traverse une plaque continentale (ex: Yellowstone dans la plaque nord-américaine)
  - se trouve à cheval sur une dorsale océanique (ex: l'Islande).

## 3. Le volcanisme de rift

### Déchirure d'une plaque continentale

Ce volcanisme a pour origine la montée d'un panache mantellique liée à l'amincissement de la croûte continentale et de la partie supérieure du manteau (lithosphère). La décompression du manteau supérieur induit une fusion partielle de celui-ci.

Il se produit en surface un effondrement et la création d'un fossé appelé « graben ». Le magma a alors la possibilité de s'élever dans la croûte fortement fracturée et le volcanisme peut alors se manifester.

#### EXEMPLES

Chaîne des Puy (France)  
Rift Est-Africain (Kenya, Tanzanie)

Lorsque le « rifting » se développe suffisamment, il évolue en dorsale océanique, provoquant la déchirure d'une plaque tectonique continentale et la création d'un fond océanique.

Ce volcanisme se traduit par une activité éruptive variée allant du cône de scories, avec des pentes de 32-33° et une taille inférieure à deux kilomètres, à de grands volcans plus complexes comme le Kilimandjaro. L'interaction du magma avec la nappe phréatique produit de petits cratères d'explosion appelés « maar ».

#### 4. Le volcanisme de dorsale océanique ou d'accrétion

##### Remontée continue du manteau supérieur

Les échanges de chaleur entre la surface de la Terre et le manteau engendrent des courants de convection. Leurs mouvements ascendants induisent des forces de tension qui fracturent l'enveloppe terrestre et font remonter à la surface le manteau, partiellement fondu suite à une décompression. Ainsi, le magma s'épanche continuellement de part et d'autre de la cassure ou dorsale qui correspond à une zone de formation de la croûte océanique. Une fois formée, celle-ci est progressivement écartée de part et d'autre de l'axe dont elle s'éloigne dans un mouvement évoquant un double tapis roulant qui se déplace vers les zones de subduction où il est englouti (plongement dans le manteau sous une autre plaque). Les portions les plus anciennes de plancher océanique ont au maximum 200 millions d'années.

Tout au long des milliers de kilomètres de dorsales océaniques, les basaltes émis forment la croûte océanique qui couvre environ 60% de la surface de la Terre.

La pression exercée par la colonne d'eau à ces profondeurs ne permet pas l'explosivité; ainsi ce volcanisme essentiellement effusif est formé de coulées de lave en tubes ou en coussins (pillow lavas).

Les édifices volcaniques sont continuellement détruits par l'activité tectonique. La manifestation la plus intéressante est l'hydrothermalisme intense, avec des cheminées expulsant des fluides chauds fortement minéralisés : les fumeurs noirs.

Fumeurs noirs, galerie du Muséum  
(photo Ph. Wagneur)

##### EXEMPLES

Ce volcanisme se produisant sous l'eau, les exemples ne sont observables qu'avec des sous-marins. L'Islande représente un volcanisme hybride: un point chaud fait monter la dorsale au-dessus du niveau de la mer.



## 5. Le volcanisme ponctuel

### Explosion profonde transperçant la surface de la Terre

Aujourd'hui, la cause du volcanisme, dit kimberlitique, n'est pas bien connue. Comme les kimberlites sont des roches qui contiennent des lambeaux de manteau solide et parfois des diamants, le scénario suivant est proposé : un panache de matière chaude à la base du manteau (2900 km) percute les racines de la croûte terrestre. En montant, la lave arrache des morceaux mantelliques contenant des diamants formés à des profondeurs supérieures à 150 km. Au fur et à mesure de l'ascension, elle gagne de la vitesse, atteignant même la vitesse du son. Ainsi le diamant, malgré la baisse de pression et de température, n'a pas le temps d'être déstabilisé et de se transformer en graphite. Enfin, elle arrive à la surface dans une explosion volcanique cataclysmique.

#### EXEMPLES

Kimberley (Afrique du Sud)  
Yakutia, Sibérie (Russie)

Ce volcanisme génère des cratères d'explosion profonds, appelés diatèmes. Remplis de matériaux de retombée, ils sont entourés d'un anneau de produits d'explosion généralement érodé.



Kimberley  
(photo F.G. Waters)

En Suisse, il n'y a pas de zone où la croûte terrestre laisse monter du magma des profondeurs. Les risques d'éruptions volcaniques sont donc peu importants.

## C Les volcans rouges : le volcanisme effusif

### LE PETIT TRUC

Pour les enfants, on peut comparer le magma fluide à du lait que l'on chauffe et qui va déborder, et le magma visqueux à de la purée de pommes de terre, avec des éléments qui vont gicler hors de la casserole.

Les volcans les plus féériques, les volcans effusifs ou volcans rouges, émettent des laves fluides relativement pauvres en silice qui forment des fontaines.

Ils projettent des lambeaux de lave très déchiquetés et des coulées de lave plus ou moins liquides s'écoulent sur de grandes distances à des vitesses pouvant atteindre plus de 60 km/heure. Les volcans rouges ne sont pas considérés comme dangereux.

A la sortie du volcan, la température d'une lave basaltique est de l'ordre de 1100°C.

Ces laves peuvent s'écouler dans des chenaux, lesquels peuvent évoluer en **tunnels de lave**.



Le volcanisme hawaïen est de type effusif: ses laves sont fluides et elles s'épanchent typiquement en coulées appelées « pahoehoe ».  
(photos J. Metzger)

Un **tunnel de lave** (aussi appelé tube de lave) se construit exclusivement sur des volcans à laves fluides qui s'écoulent au début de l'éruption dans des chenaux parfois de taille importante.

Un tunnel se forme de deux façons:

- par refroidissement et solidification de la surface de la coulée, ou
- par débordements successifs et agglomération des laves sur les bords du chenal créant une voûte au-dessus de la coulée.

Dans le contexte des coulées « pahoehoe », la nature se révèle une artiste sans limites et crée des formes très diverses et spectaculaires, telles les laves cordées, les draperies, les boyaux, les doigts de Pelé (déesse hawaïenne des volcans), les cascades, etc.

Le phénomène s'explique par la différence entre la viscosité du cœur chaud et liquide de la coulée et celle de la surface refroidie, qui telle une peau va donc se plisser à l'infini, entraînée par son cœur.

Les volcanologues profitent de ces conditions moins dangereuses pour faire des échantillonnages de lave et des mesures de températures. Cependant, la combinaison thermique est la bienvenue pour se rapprocher d'une lave à plus de 1100°C!

## LE SAVIEZ-VOUS?

Un volcan est considéré comme actif s'il est entré au moins une fois en éruption au cours des dix derniers millénaires. Environ 1500 volcans répondent à ce critère.



Lors de l'importante éruption de l'Etna durant les années 1982-1983, la coulée de lave principale a détruit la route reliant le bourg de Nicolosi à Sapienza (site touristique d'accès au volcan).



Coulée de lave, Etna

(photos J. Metzger)



Explosion strombolienne typique. Il s'agit de projections basaltiques intermittentes de scories de lave fraîche et incandescente à des hauteurs variant de dizaines à centaines de mètres.

## D Les volcans gris : le volcanisme explosif



Le volcanisme explosif est associé aux laves évoluées et se produit avec les cinq types de volcanisme. Toutefois, il est plutôt caractéristique du volcanisme d'arc.

L'explosivité dépend de la teneur en volatiles (gaz dissous dans le magma) et de la viscosité des magmas. Plus ils sont visqueux et riches en gaz, plus les explosions sont puissantes. Celles-ci peuvent être générées par l'effondrement d'un flanc du volcan qui libère brutalement les pressions internes du magma. Le mélange des cendres volcaniques et des gaz chauds s'élevant au-dessus d'un volcan forme la colonne éruptive ou panache volcanique.

Les volcans sont actuellement classés par leur index d'explosivité (VEI en anglais, cf. tableau) qui va de 1 à 8. Pour générer des éruptions colossales, de grandes chambres magmatiques et de grandes quantités de magma sont nécessaires.

Avec la colonne éruptive, les coulées pyroclastiques ou nuées ardentes sont l'expression caractéristique du volcanisme explosif. Les grands panaches de cendres peuvent atteindre la stratosphère et influencer le climat.

Les magmas très visqueux donnent naissance à des extrusions en forme de dômes, des aiguilles massives ou des lames.

Le Santiaguïto (Guatemala) présente une activité explosive de dôme de lave. Les dômes se forment lorsque les laves sont visqueuses et retiennent les gaz ; lorsque la quantité et la pression de ceux-ci sont trop grandes, l'explosion se produit avec violence.  
(photos C. Charvet)

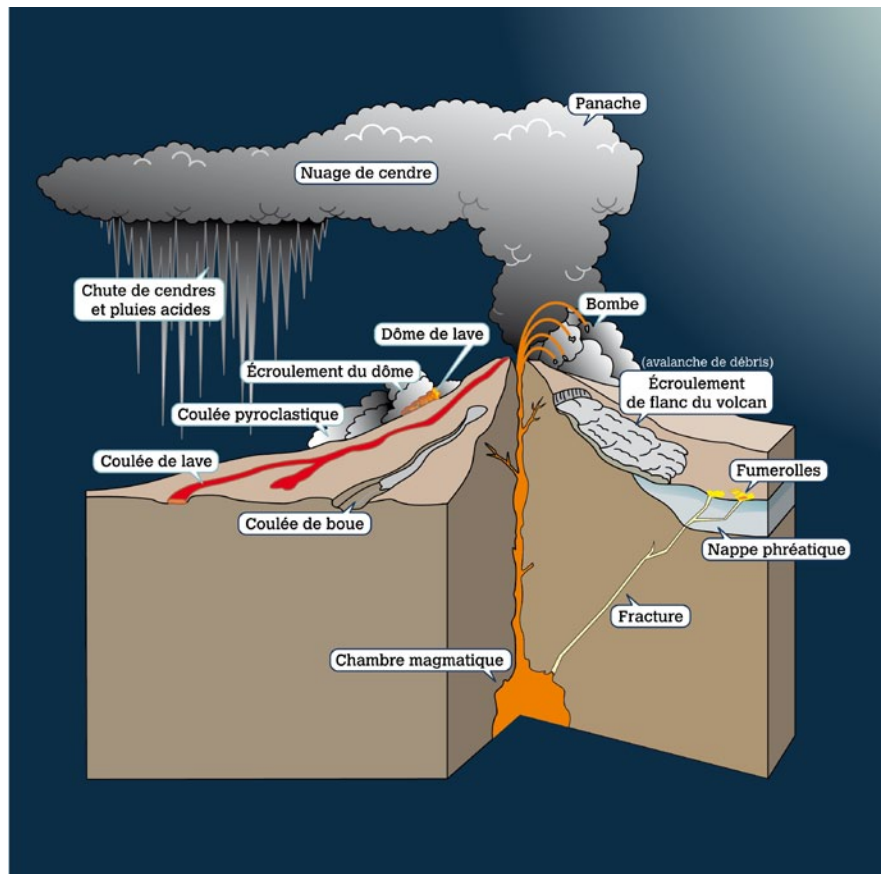
Les volcans gris, explosifs, sont particulièrement dangereux, et les effets d'une éruption de ce type de volcan sont particulièrement dévastateurs.

VEI	Description	Haut. panache	Volume émis	Classification	Fréquence	Exemples
0	non-explosif	<100 m	1000 m <sup>3</sup>	Hawaïien	journalière	Mauna Loa
1	modéré	100-1000 m	10'000 m <sup>3</sup>	Haw/Strombolien	journalière	Stromboli
2	explosif	1-5 km	1'000'000 m <sup>3</sup>	Stromb/Vulcanien	hebdomadaire	Galeras (1993)
3	sévère	3-15 km	10'000'000 m <sup>3</sup>	Vulcanien	annuelle	.....
4	paroxysmal	10-25 km	100'000'000 m <sup>3</sup>	Vulc/Plinien	10 ans	Soufrière Hills (1995)
5	cataclysmique	>25 km	1 km <sup>3</sup>	Plinien	100 ans	St. Helens (1980)
6	colossal	>25 km	10 km <sup>3</sup>	Plin/Ultra-plinien	100 ans	Mount Pinatubo (1991)
7	super-colossal	>25 km	100 km <sup>3</sup>	Ultra-plinien	1'000 ans	Tambora (1815)
8	mega-colossal	>25 km	1'000 km <sup>3</sup>	Ultra-plinien	10'000 ans	Toba (73'000 BP)

## 1. Volcans et catastrophes

Par comparaison avec les autres types de catastrophes (sécheresses, inondations, cyclones tropicaux et séismes), celles liées au volcanisme sont peu fréquentes et souvent moins graves. Durant le XX<sup>e</sup> siècle, il y a eu près de 80'000 victimes dues à de l'activité volcanique (un seul séisme à Shaanxi en Chine, en 1556, a fait 830'000 victimes).

Alors que les retombées de cendres, les coulées de laves et les nuées ardentes sont associées au stade actif d'un volcan, les lahars, les éruptions de gaz et les écroulements de flancs sont plutôt postérieurs à l'activité.



Dessin schématique de la structure interne d'un volcan et de ses diverses manifestations externes responsables de risques plus ou moins importants pour la population. (d'après un dessin de l'USGS)



L'île de Montserrat au nord des Antilles subit depuis 1995, dans sa moitié méridionale, les éruptions successives de son volcan (Soufriere Hills). Les coulées pyroclastiques qui dévalent ses flancs ont un pouvoir particulièrement destructif; elles sont composées d'un mélange de blocs, de cendres et de gaz à haute température. (photo C. Frischknecht)



Activité phréato-magmatique impressionnante sur le flanc sud de l'Etna en 2001. (photo M. Caillet)

## Coulées pyroclastiques (nuées ardentes)

Les nuées ardentes résultent souvent de l'effondrement de colonnes éruptives ou de l'éroulement des flancs de dômes de laves. Les coulées ainsi générées peuvent atteindre des températures de plus de 500°C. Elles sont composées de gaz et de particules de tailles variables. Comparables à des avalanches de neige poudreuse, mais beaucoup plus denses, elles déferlent à des vitesses atteignant 300 km par heure. Ce risque est considéré comme majeur car ces coulées franchissent facilement les obstacles topographiques.

## Retombées de cendres

Les grandes explosions volcaniques éjectent une quantité importante de laves pulvérisées. Les cendres (particules de moins de 2 mm) en constituent une large proportion. Plus denses que la neige, elles créent un danger d'effondrement des bâtiments et leur remobilisation par les pluies génère des coulées de boue, très destructrices.

## Coulées de lave

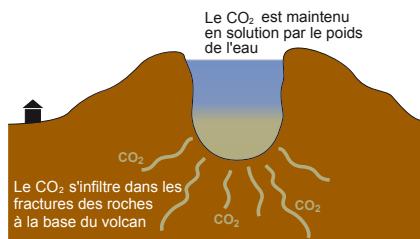
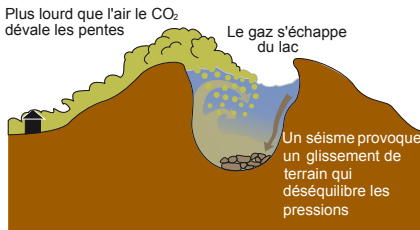
Des coulées de lave sont générées par l'éruption de volcans de type plus ou moins effusif. Leur progression, souvent relativement lente, limite les risques pour les populations, mais pas pour les constructions fixes. La construction de digues et le refroidissement avec de l'eau ont permis de dévier ou d'arrêter des coulées avec succès.

## Lahars

Le terme **lahar** désigne des coulées boueuses composées de cendres, de blocs et de débris de roches volcaniques de toutes tailles. L'eau provient de précipitations importantes, de la vidange d'un lac de cratère ou de la fonte d'un glacier en contact direct avec la lave. Ces lahars peuvent avoir une température de plus de 50°C.

## Ecroulements des flancs des volcans

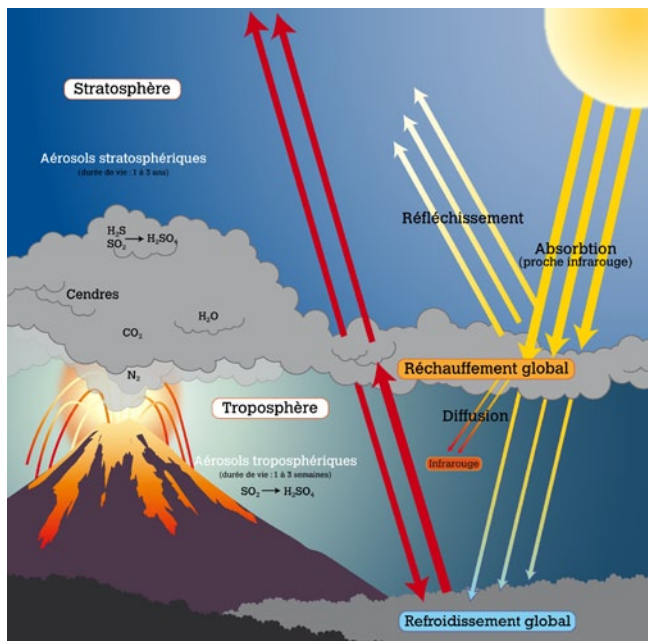
Les édifices volcaniques sont formés par l'empilement successif de coulées, scories et cendres ; ils sont donc instables et un pan du cratère peut se détacher sous l'effet de la gravité ou de séismes. Sur les îles, ces glissements engendrent parfois des raz-de-marée (tsunamis) géants particulièrement destructeurs. Il y a environ 8000 ans, le flanc est de l'Etna s'est effondré et a provoqué un raz-de-marée titanesque en Méditerranée orientale.



## Emissions de gaz

Si une chambre magmatique se trouve sous un lac de cratère, du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) s'échappe du magma et se dissout dans l'eau en formant de l'acide carbonique. La solubilité est tellement efficace que le volume de  $\text{CO}_2$  dissout peut atteindre plusieurs fois le volume de l'eau ! Le mélange eau- $\text{CO}_2$ , plus dense que l'eau, s'accumule au fond du lac. Quand l'équilibre est déstabilisé, par un glissement de terrain par exemple, le gaz inodore fait éruption, comme celui du champagne quand on débouche la bouteille, et tue par asphyxie. Si du méthane est présent, il cause une combustion.

## 2. Volcans et climat



Lors d'éruptions volcaniques violentes, de grandes quantités de soufre ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) et d'acide chlorhydrique sont projetées dans la stratosphère. Par exemple, le volcan Soufriere Hills (île de Montserrat, Petites Antilles) a émis entre novembre 1999 et novembre 2000 plus de 400 tonnes d'acide chlorhydrique par jour ! Par combinaison avec l'eau, l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique sont convertis en aérosols (minuscules gouttes de ~0,5 microns). Ils contribuent non seulement à détruire l'ozone, mais jouent aussi un rôle d'écran pour le flux solaire, refroidissant ainsi la surface de la Terre (voir schéma ci-contre). A l'inverse, d'importantes émissions de  $\text{CO}_2$  causent un réchauffement.

De grandes éruptions historiques ont influencé le climat :

- **Le Laki (1783)**

L'éruption du Laki dans le sud de l'Islande, de juin 1783 à février 1784, est associée à des années de climat désastreux et serait en partie responsable des famines qui ont précédé la Révolution française.

- **Le Tambora (1815)**

Le 10 avril, le paroxysme de l'éruption du Tambora en Indonésie n'a duré que trois mois, a causé tout d'abord des nuées ardentes, puis des tsunamis, et enfin de la famine et des épidémies, faisant 92'000 victimes. Les particules de lave pulvérisées dans la stratosphère ont occasionné des couchers de soleil flamboyants jusqu'à Londres, un phénomène immortalisé sur les aquarelles du peintre anglais William Turner (1775-1851). Dans les Alpes suisses, en été 1816, il neigea presque toutes les semaines et à Genève, comme dans tout le reste de l'Europe, ce fut l'été le plus froid et le plus pluvieux de toute son histoire.

- **Le Pinatubo (1991)**

En 1991, l'éruption du volcan Pinatubo, aux Philippines, est considérée comme la plus importante du XX<sup>e</sup> siècle. Le réveil brutal de ce volcan, après plus de 650 ans de sommeil, a touché au total près de 2,5 millions de personnes.

L'activité éruptive a débuté en avril 1991 et a augmenté progressivement jusqu'au mois de juin. Le volcan a éjecté entre 5 et 7 km<sup>3</sup> de matériaux pyroclastiques, détruisant de nombreux villages et en recouvrant d'autres d'une couche de cendres de 50 cm.

Le panache, transporté par les vents d'altitude, a encerclé la Terre en un mois. Tout d'abord restreint à la zone tropicale, il s'est étendu six mois après l'éruption, aux plus hautes latitudes et a provoqué un abaissement de la température moyenne mondiale d'un quart de degré.



Pinatubo, éruption du 12.6.1991  
(photo D. Harlow, USGS)

### LE SAVIEZ-VOUS ?

À ce jour, 420 éruptions ayant occasionné des pertes humaines ont été répertoriées. Depuis le début du XVII<sup>e</sup> siècle, 30 d'entre elles ont été responsables de la mort d'environ 350'000 personnes. Les plus meurtrières ont été celles des volcans Tambora en 1815 (Indonésie, 92'000 victimes), du Krakatau en 1883 (Indonésie, 36'500 victimes), de la montagne Pelée en 1902 (Martinique, 29'000 victimes) et du Nevado del Ruiz en 1985 (Colombie, 25'000 victimes).

## E Les volcans de boue : le volcanisme froid



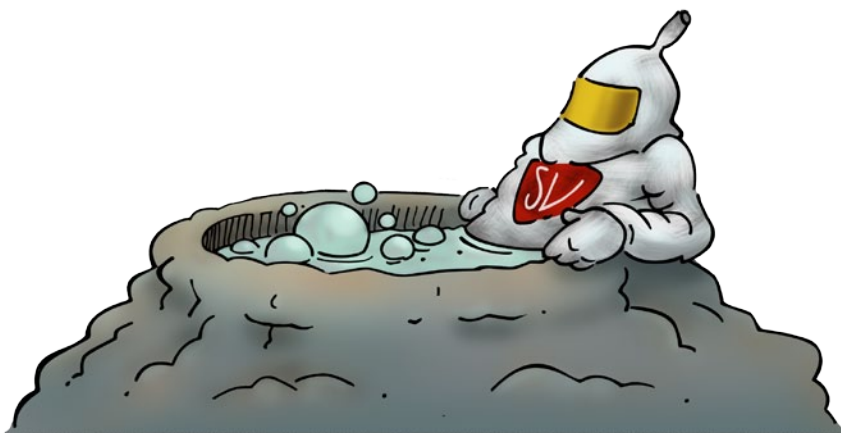
Bulles de boue  
(photo Ph. Wagneur)

Dans notre système solaire, il n'y a pas que des volcans qui émettent du magma. Certains, les cryovolcans, présents par exemple sur Triton et Titan, éjectent de l'eau, de l'ammoniac ou du méthane à des températures au-dessous de zéro degré. Sur Terre, les volcans froids sont les volcans de boue qui projettent un mélange liquide eau-argiles ou eau-gaz-argiles.

Sur notre planète, les volcans de boue sont associés à des zones de compression, souvent des plans de subduction. Si des couches d'argiles contiennent de grandes quantités d'eau et de gaz, elles font éruption quand la pression est suffisante et s'il existe un conduit vers la surface. En fonction de leur fluidité, les volcans de boue forment des coulées ou des cônes pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres de hauteur. La température de la boue varie entre 10 et 100 degrés.

### LE SAVIEZ-VOUS?

Ce volcanisme se rencontre en Iran et au Pakistan (Makran), en Azerbaïdjan et en Indonésie. Le golfe du Mexique est fameux pour ses exemples sous-marins. La Méditerranée orientale recèle des volcans de boue sous-marins au sud de la Crète. Ce phénomène s'explique par la formation d'une ride méditerranéenne qui s'étend de la Sicile à la Turquie. C'est ainsi une chaîne de montagnes qui est en train de naître, futur Himalaya remplaçant la Méditerranée dans quelques dizaines de millions d'années si les mouvements se poursuivent de la même façon.

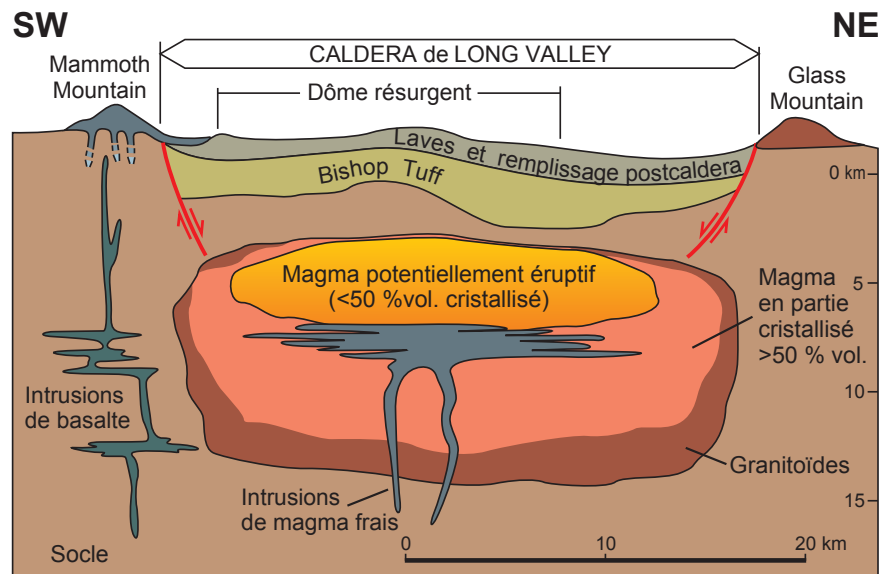


# F Supervolcans

## 1. Qu'est-ce qu'un supervolcan ?

Un supervolcan est un volcan qui produit une ou plusieurs éruptions explosives d'une grande violence. L'indice d'explosivité (VEI) est de 8 ou plus et la masse éjectée peut être supérieure à mille milliards de tonnes de magma, avec un volume de l'ordre de 1000 km<sup>3</sup> de dépôts « fragmentés » (ignimbrites).

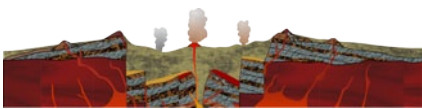
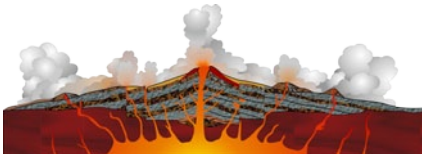
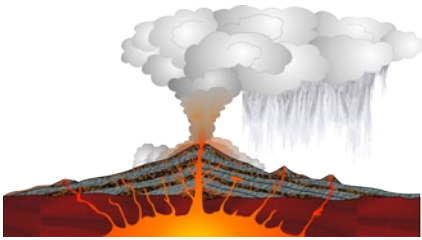
La caldeira de Yellowstone, parc national aux Etats-Unis, est également connue sous le nom de « supervolcan de Yellowstone ». Cette caldeira mesure 45 kilomètres de largeur sur 85 de longueur.



## 2. Quelles sont les conditions pour avoir une superéruption ?

Il est nécessaire d'avoir une chambre magmatique très volumineuse (~5000 km<sup>3</sup>) et un magma de viscosité élevée avec une forte teneur en composés volatiles (souvent de l'eau dissoute).

Pour produire une superéruption, le taux de remplissage du réservoir doit être supérieur à la normale qui est en général de 1 km<sup>3</sup>/1000 ans.



Phases de formation d'une caldeira

### 3. Quels sont les facteurs déclencheurs d'une superéruption ?

La pression au sommet de la chambre magmatique doit être très élevée. Elle peut être provoquée par une saturation en gaz magmatiques, et/ou un apport de magma « frais » dans le magma partiellement cristallisé, voire une déstabilisation de la chambre magmatique par un séisme.

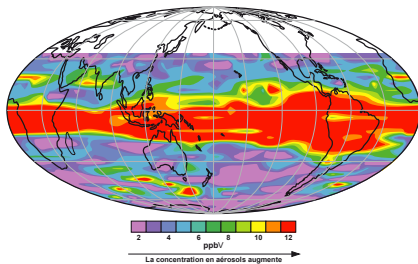
### 4. Quelle est la fréquence des superéruptions ?

En moyenne, une tous les 100'000 à 200'000 ans. De tels événements se sont donc produits depuis l'apparition de l'Homme (par exemple, l'éruption du Lac Toba il y a environ 74'000 ans, et l'éruption Oruanui en Nouvelle-Zelande, il y a environ 26'500 ans). Toutefois, ils n'ont jamais été documentés photographiquement. Les éruptions du Tambora (Indonésie, 1815), du Krakatau (Indonésie, 1883), du Mont Saint Helens (Etats-Unis, 1980) et du Pinatubo (Philippines, 1991) servent d'exemples historiques d'éruptions cataclysmiques (VEI 5 à 6).

### 5. Quelles sont les conséquences des superéruptions ?

Lors de ces superéruptions, l'énergie libérée et l'énorme quantité de cendres projetées à très haute altitude sont susceptibles de détruire toute forme de vie à grande échelle; les coulées pyroclastiques produites par ce type d'éruption ravagent tout sur leur passage et génèrent, si elles atteignent la mer, des raz de marée gigantesques (exemple de Santorin, il y a 3600 ans).

L'impact sur le climat est considérable; l'augmentation de la concentration des aérosols dans l'atmosphère due notamment aux sous-produits soufrés engendre sur une courte période une brusque chute de la température moyenne de l'ordre de 10°C, suivie d'un retour à la normale pouvant s'étaler sur de nombreuses d'années. Accompagnées de fortes perturbations de la pluviosité autour du globe, ces superéruptions endommagent de nombreux écosystèmes pour des siècles, et ont des conséquences dévastatrices pour la vie sur terre. Par exemple, la faible diversité actuelle de l'espèce humaine s'expliquerait par une extinction quasi-totale de l'Homme (« goulot d'étranglement génétique»), il y a 70 à 80'000 ans, une période qui coïncide avec celle de la superéruption du Toba en Indonésie, il y a 74'000 ans.



Carte mondiale montrant la concentration résiduelle d'aérosols de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) à 26 km d'altitude, 3 mois après l'éruption du Mont Pinatubo (Source NASA)

## 6. Quelle est la morphologie des supervolcans ?

Les superéruptions génèrent de vastes dépressions appelées caldeiras qui peuvent atteindre plus de 100 km de diamètre. Elles sont souvent difficiles à identifier, car l'érosion ne laisse que des affleurements isolés et l'altération et la végétation peuvent cacher les dépôts caractéristiques. La projection d'énormes quantités de magma provoque l'effondrement du toit de la chambre magmatique dans lequel retombe 35 à 50% de la matière éjectée sous forme de coulées pyroclastiques (ignimbrites = « pluies de feu »).

Après la brève phase éruptive qui dure quelques heures ou quelques jours, voire quelques mois, il ne reste qu'un relief en creux, dans lequel souvent croît par la suite un dôme résurgent. Celui-ci est entouré de dépôts d'ignimbrites (coulées pyroclastiques) pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, lissant le paysage et rendant ainsi difficile la détection des caldeiras de supervolcans.

L'identification difficile des dépôts de ce type de volcanisme explique le fait que les études détaillées n'ont débuté que récemment.



Steamboat Geyser, Yellowstone National Park: éruption du 2 mai 2000 (photo Tom Cawley, NPS.)

## G Les bienfaits des volcans



Le volcanisme était particulièrement actif à l'origine de la Terre, il y a environ 4,6 milliards d'années! Par dégazage (essentiellement de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone, de l'azote), les volcans ont contribué à la formation de l'atmosphère et par condensation à celle des océans. Ceci a permis ensuite l'apparition de la vie et l'enrichissement de l'atmosphère en oxygène.

Le fait qu'un important pourcentage de la population terrestre vive autour des volcans actifs ou dormants démontre que les effets bienfaiteurs des volcans sont plus importants que les dangers.

### 1. Nouveaux territoires

Les volcans construisent de nouvelles îles (Surtsey en Islande, Antilles, Réunion, Tahiti, etc.). Les rares fois où un volcan marin perce le niveau de l'eau, des explosions spectaculaires se produisent. En été 1831, le brusque surgissement hors de l'eau de l'île volcanique de Ferdinandea, située au large de la Sicile, a failli déclencher une bataille navale. L'île naissante de plus de 700 mètres de diamètre a été revendiquée par les Anglais, les Français et les Napolitains, qui l'ont baptisée respectivement Graham, Julia ou Ferdinandea. La disparition du volcan par érosion, le 28 décembre 1831, mit un terme à la dispute.

### 2. Construction

Alors que les coulées basaltiques et les ignimbrites (dépôts de coulées pyroclastiques) produites par les coulées pyroclastiques sont utilisées pour la construction de murs et de pavements de rues, les scories peuvent être exploitées comme matériaux isolants. Certains dépôts de cendres volcaniques, comme en Cappadoce (Turquie) par exemple, permettent de construire des tunnels et des habitations troglodytes.

Les cendres volcaniques (pouzzolane) et les pierres ponce mélangées à de la chaux sont utilisées depuis presque 3000 ans pour la fabrication des ciments. Ce mélange a la capacité de durcir même sous l'eau. Cette caractéristique a permis aux Romains de construire de grands ponts et des aqueducs.

La pouzzolane est utilisée pour les drainages et est souvent incorporée dans les matériaux servant de base pour la structure des routes. Elle est également employée pour le traitement des eaux usées car elle fixe les bactéries. Très résistante à la chaleur, elle est excellente pour la fabrication des conduits de cheminée.



Habitations troglodytes en Cappadoce  
(photo A. Favre)



### 3. Histoire de l'Homme

Pour les anthropologues et les archéologues, les ossements et traces trouvés dans les couches volcaniques sont un double cadeau : premièrement, les fossiles sont bien préservés car ils ont été recouverts rapidement par les dépôts volcaniques. Deuxièmement, les roches volcaniques permettent une datation précise. La plupart des restes proviennent des régions volcaniques d'Afrique et d'Indonésie. Les décou-

vertes les plus spectaculaires sont les empreintes d'hominidés de type *Australopithecus*, datées de 3,7 millions d'années, dans une couche de cendres de Laetoli en Tanzanie.

Les plus anciens outils utilisés par les hominidés datent de 2,5 millions d'années, sont en lave et proviennent du lac Turkana au Kenya. Ainsi, notre savoir sur les ancêtres de l'Homme est intimement lié aux éruptions volcaniques.

La destruction quasi instantanée des deux villes d'Herculanum et de Pompéi par l'éruption du Vésuve en 79 avant Jésus-Christ a permis d'obtenir une image très détaillée de la vie des Romains.



Laetoli, Tanzanie, Pliocène supérieur, -3,7 millions d'années  
Ces traces de pieds sont le plus ancien témoignage actuel de la marche bipède de notre histoire. Trois individus au moins ont laissé leurs empreintes dans un sol formé par les cendres du volcan Sadiman. Un moulage est présenté au Muséum (Photos Ph. Wagneur)

### 4. Minerais

Les régions volcaniques réunissent les trois éléments importants nécessaires pour la formation de minerais :

- une source d'énergie (moteur pour la circulation des fluides),
- un réseau de fractures avec une grande surface de contact permettant l'interaction roche-fluide,
- des fluides riches en eau pour le transport des éléments.

L'eau pénétrant dans les fractures est chauffée et acidifiée par dissolution du  $\text{SO}_2$  et du  $\text{CO}_2$ , deux paramètres qui permettent de dissoudre les éléments métalliques des roches en profondeur.

L'eau chaude et les gaz, moins denses, montent vers la surface. Soit par neutralisation du fluide, soit par refroidissement et/ou décompression, différentes réactions engendrent la formation des minerais de type « sulfures massifs » (petits gisements de haute qualité contenant du cuivre, du zinc et du plomb), des minerais disséminés en grande quantité de type « porphyres cuprifères » (cuivre, molybdène, zinc), de filons ou de dépôts d'éléments natifs et d'alliages (par exemple, or, or-argent, soufre).



Mine de Rio Tinto, Huelva, Espagne.  
Minerais de cuivre, plomb-zinc, argent, or (photo L. Fontboté)

## 5. Fertilité



Le volcanisme de l'île de la Réunion est effusif. Les laves cordées sont très rapidement colonisées par les jeunes fougères dans le climat de type tropical humide. (photo J. Metzger)

Comparables aux limons apportés par les grands fleuves qui inondent les plaines, les cendres volcaniques fertilisent les sols.

Fines et souvent poreuses, les cendres s'altèrent vite en formant des minéraux du groupe des zéolites et des argiles. Ceux-ci régulent les éléments fertilisants et l'humidité dans le sol.

Cette fertilité permet jusqu'à trois récoltes annuelles de riz en Asie, contre une seule dans la plupart des régions en Inde. Elle favorise également la culture du café, du cacao, des bananes dans des pays volcaniques, comme la Colombie, le Costa Rica, le Guatemala et d'autres pays de la Ceinture de feu qui encercle l'océan Pacifique.

Il faut parfois attendre 10 à 100 ans pour que la végétation puisse repousser sur un nouveau sol.

## 6. Zéolites



Stilbite (rose) et apophyllite (incolore) sur basalte (photo Ph. Wagneur)

De grands gisements de zéolites se sont formés dans les dépôts volcaniques suite à l'altération des laves par des eaux chaudes. Ces silicates hydratés ont des propriétés remarquables. Ils présentent de grands espaces communiquant par des « tunnels » plus ou moins larges, où se logent de grands cations comme le potassium ou le césium, des molécules d'eau ou encore des molécules organiques.

Les zéolites sont employées pour divers usages : micro-tamis pour séparer les différents hydrocarbures, semelles dans les chaussures pour absorber les mauvaises odeurs, absorbants de l'huile ou de l'essence après un accident routier, adoucissants pour machine à laver (élimine le calcium dissous dans l'eau calcaire). Leurs multiples applications industrielles ont conduit à une production artificielle pour celles qui n'existent pas en quantités suffisantes dans la nature.

Après l'accident nucléaire de Tchernobyl, les Russes ont déversé des milliers de tonnes de zéolites sur les sols les plus contaminés. L'impact de cette catastrophe fut considérablement limité par la fixation de l'isotope radioactif du césium (caesium-137) dont la période radioactive est de l'ordre de 30 ans.

## 7. Gemmes

### LE SAVIEZ-VOUS ?

On trouve dans les roches volcaniques beaucoup de pierres précieuses comme le diamant.

Certaines gemmes comme le diamant ou l'améthyste se trouvent presque uniquement dans les roches volcaniques ; c'est également le cas de la plupart des olivines (péridots) et de plus de 50% des saphirs et des rubis (des variétés de corindon). Excepté l'améthyste, ces minéraux ne sont pas issus d'une cristallisation au sein d'un magma, mais sont des reliquats résistants à l'assimilation par celui-ci. Alors que le diamant et l'olivine naissent dans le manteau, les corindons se forment dans des argiles fortement métamorphisées de la croûte terrestre.

Les grandes géodes d'améthyste (variété violette de quartz) se rencontrent dans les vacuoles (bulles de gaz) des grandes coulées basaltiques, notamment au sein des trapps (plateaux volcaniques) du Brésil.

## 8. La géothermie, une énergie renouvelable



Vue nocturne du rig de forage d'exploitation géothermique à Bâle (photo Basel Geopower AG)

Dans les régions volcaniques, le thermalisme est connu depuis l'Antiquité. Et depuis le XIX<sup>e</sup> siècle la production d'énergie s'est développée. La première véritable exploitation industrielle date de 1827 et est entreprise à Larderello (Toscane, Italie) par le Français François de Larderel. La vapeur permet d'alimenter des machines destinées à évaporer des saumures pour la production du bore.

A la même époque, l'Islande extrait du sel marin grâce à la géothermie. C'est à Larderello que la géothermie produit pour la première fois au monde, en 1914, de l'électricité. En Islande, un réseau de chauffage est installé en 1830. La Nouvelle-Zélande est le second pays en 1853 à se doter d'une usine électrique géothermique.

Les principaux centres géothermiques mondiaux à production électrique sont tous situés dans des régions volcaniques.

La chaleur augmente avec la profondeur: en moyenne 3°C par 100 m. Ce phénomène, appelé gradient géothermique, varie considérablement et dans les régions volcaniques, il peut atteindre 50°C/100 m (en Islande, par exemple).  
Ce flux de chaleur permanent provient de la désintégration des éléments radioactifs présents dans les roches du manteau et de la croûte terrestre.

## LA GÉOTHERMIE EN SUISSE

Malgré l'absence d'activité volcanique, la Suisse a un potentiel géothermique. Si l'on compare à l'échelle mondiale la puissance géothermique par habitant (uniquement production de chaleur), la Suisse arrive au 3<sup>e</sup> rang après l'Islande et la Nouvelle-Zélande!

C'est en Suisse que l'on trouve le plus de sondes géothermiques et de pompes à chaleur, avec en moyenne une installation tous les deux kilomètres carrés!

A consulter:

[www.geothermie.ch](http://www.geothermie.ch)

## La géothermie de haute température (150-350°C)

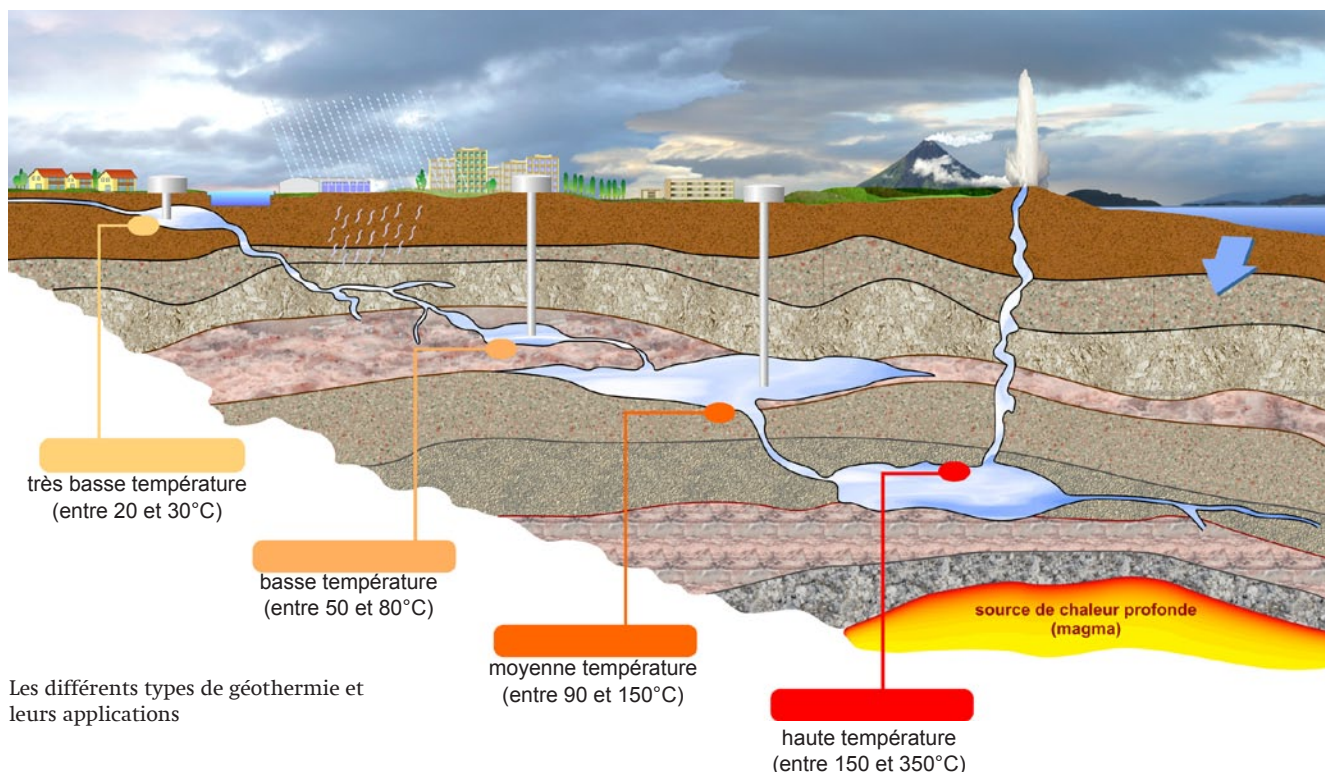
Les régions volcaniques actives permettent d'exploiter des sources de vapeur, situées entre 1500 et 3000 m de profondeur, pour la production d'électricité. La vapeur naturelle, par l'intermédiaire d'échangeurs de chaleur, produit de la vapeur (déméralisée) qui entraîne des turbines couplées à des alternateurs.

Les plus grandes installations se situent dans la région «The Geysers» au nord de San Francisco (Etats-Unis; 1000 MW), à Larderello (400 MW) et Monte Amiata en Italie, à Wairakei (150 MW) et Broadlands en Nouvelle-Zélande. D'autres centrales électriques importantes existent en Islande, au Mexique et au Japon.

99% de la Terre sont au-dessus de 1000°C! Mais seules les zones chaudes des régions volcaniques proches de la surface permettent une exploitation facile.

La chaleur augmente avec la profondeur: en moyenne 3°C par 100 m. Ce phénomène, appelé gradient géothermique, varie considérablement et dans les régions volcaniques, il peut atteindre 40°C/100 m (en Islande, par exemple).

Ce flux de chaleur permanent provient de la désintégration des éléments radioactifs présents dans les roches du manteau et de la croûte terrestre.



## H Volcans sous surveillance



Prévoir les éruptions volcaniques est un enjeu majeur, étant donné les dommages humains et économiques causés par ces dernières.

La surveillance est basée sur l'étude de phénomènes physiques et chimiques perceptibles en surface.

### 1. Surveillance et analyse des émissions de gaz

L'échantillonnage régulier des gaz donne une information utile sur l'évolution d'un volcan, une éruption étant précédée par l'émission de gaz. Le meilleur annonciateur est le gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) relâché par le magma à une profondeur d'environ 10 km.

#### LE SAVIEZ-VOUS ?

150 des 1500 volcans actifs dans le monde sont surveillés. Le premier observatoire volcanologique a été installé en 1841 sur le Vésuve en Italie.

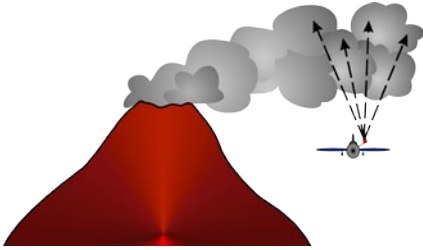
L'intense activité dont ont fait preuve les volcans d'Hawaii depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle en ont fait un des sites les plus étudiés et les plus surveillés au monde.

### 2. Surveillance au sol

Les mesures à l'intérieur du cratère sont dangereuses à cause de la température élevée, ainsi que de la toxicité et de l'acidité des gaz. Pour réduire les dangers lors de l'échantillonnage, des stations fixes d'analyses automatiques en continu sont installées. Une autre technique consiste à prélever les gaz directement dans le cratère à l'aide d'un petit hélicoptère télécommandé.

L'émission de dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) est mesurée par une installation permanente équipée avec un spectromètre optique. Les infiltrations de gaz (dioxyde de carbone,  $\text{CO}_2$ ; hydrogène sulfuré,  $\text{H}_2\text{S}$ ) dans le sol de l'édifice volcanique sont également estimées.

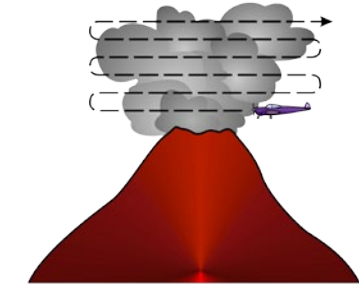
La prise régulière de mesures et d'échantillons (température, pH, conductivité et concentration en gaz dissous) dans les eaux des lacs de cratère ou les eaux souterraines (phréatiques) permet de détecter les modifications du comportement d'un système volcanique.



### 3. Surveillance aérienne

Un avion équipé d'un spectromètre optique (COSPEC) mesure l'absorption des rayons ultraviolets par le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) et permet de déterminer le contenu de ce gaz dans le panache volcanique. L'appareil vole à différentes altitudes perpendiculairement à la direction du vent et prend des mesures de bas en haut dans le panache.

Une pompe aspire les gaz dans un appareil (LYCOR) placé à l'intérieur de l'avion qui vole à différentes altitudes. Cet instrument analyse la concentration en dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et en hydrogène sulfuré ( $\text{H}_2\text{S}$ ).



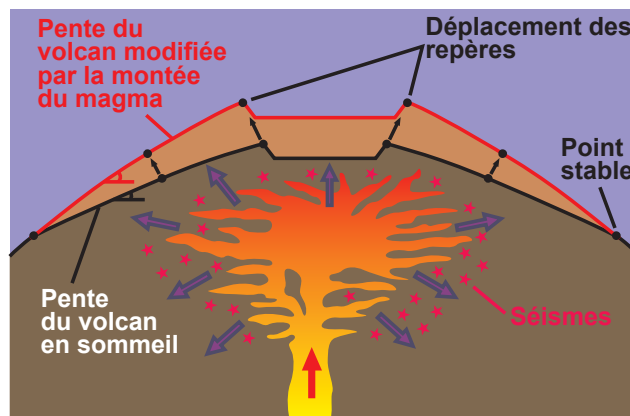
### 4. Surveillance de la déformation du sol

La poussée du magma et l'expansion des bulles de gaz entraînent une dilatation du volcan et provoquent des variations de pentes et des ouvertures de fissures.

Une méthode simple, mais cependant peu fiable, consiste à mesurer la déformation des pentes avec un inclinomètre.

Les variations d'angle et de distance entre des repères permanents, placés sur l'édifice, sont mesurées par triangulation avec un théodolite et/ou avec un système électronique de mesure à distance par laser. Les résultats permettent de constater la déformation du volcan.

Ces méthodes sont de plus en plus souvent remplacées par des mesures avec un GPS (Global Position System) différentiel (DGPS) qui mesure la position par rapport à une station de repère à l'aide d'un signal émis par 3 satellites. N'étant pas optique, ce système a l'avantage d'être opérationnel par temps de brouillard, de neige, de pluie ou en cas de vent violent. La surveillance satellitaire par radar (SAR = Synthetic Aperture Radar) fournit une image 3D de la topographie d'un volcan. Des logiciels permettent de comparer les images et de quantifier la déformation du sol pour chaque endroit de l'édifice.



## 5. Surveillance par caméra



Caméra de surveillance, Mont Saint Helens  
(photo S. Schilling, USGS)

Les scientifiques se rendent régulièrement sur les volcans afin de faire diverses observations et mesures scientifiques à l'aide d'instruments sophistiqués.

Cependant, les yeux restent souvent un outil très efficace. Les volcanologues peuvent déceler des indices qui témoignent d'un changement d'état : des modifications de la quantité de vapeur sortant des solfatares, chutes de pierres, variations de la chaleur au sol, développement de nouvelles fumerolles et des sources chaudes. Ces informations bien que qualitatives, récoltées de façon régulière, sont importantes et complémentaires aux données quantitatives.

Aujourd'hui, des caméras téléguidées permettent une observation en direct et en continu et dispensent d'une présence humaine chaque jour sur un volcan. Certaines de ces caméras, placées dans des lieux isolés, sont alimentées par l'énergie solaire et sont même capables de prendre des photos les nuits de pleine lune.

Des satellites, munis de capteurs qui visualisent les anomalies thermiques produites par une éruption, sont utiles pour détecter une activité dans des zones inhabitées.

## 6. Surveillance sismique

L'étude de la sismicité d'un volcan reste la principale méthode pour prévoir une éruption.

La montée du magma fracture les roches, active les jeux de failles et génère des séismes de plus en plus superficiels, caractéristiques et relativement faibles qu'on appelle tremors. Les éruptions volcaniques sont annoncées par des essaims de séismes de ce type qui ont leur source à proximité du site de l'éruption.

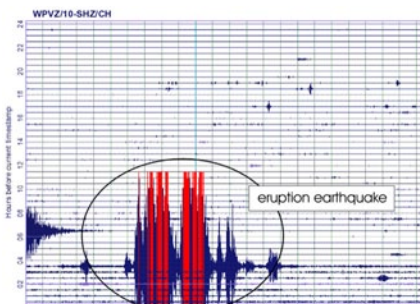
En pratique, six stations sismiques ou plus sont déposées sur le volcan. Il est important qu'elles fonctionnent en permanence pour connaître le « bruit de fond » propre à chaque volcan et mieux détecter une nouvelle phase d'activité.

Les chutes de pierres, les avalanches et les torrents de boue, également enregistrés par les sismomètres, sont aussi des indicateurs d'activité.

Quand le volcan est en éruption, les sismomètres permettent de compter le nombre d'explosions et d'analyser leur fréquence et leur intensité.

> Vous pouvez observer l'Etna sur une webcam à l'adresse :

<http://www.ct.ingv.it>



Signal sismique d'un tremblement de terre associé à l'éruption du volcan Ruapehu, Nouvelle-Zélande, 25.9.2007

# I Les roches volcaniques

## LE SAVIEZ-VOUS ?

Les roches volcaniques se caractérisent par une matrice vitreuse ou à grain fin résultant d'un refroidissement rapide.

Les grands cristaux que comportent certaines roches volcaniques se sont formés dans le magma, avant l'éruption.

La roche volcanique la plus abondante sur terre est le basalte (95% des laves continentales et océaniques).

## 1. Rappel

Une roche est un assemblage naturel de différents minéraux qui apparaissent sous forme de verre (obsidienne) ou de cristaux. Lorsqu'elle contient des substances exploitables (des métaux, par exemple), elle porte le nom de minerai.

Selon la manière dont elles se forment, on distingue plusieurs types de roches :

**A. Les roches magmatiques :** elles résultent de la solidification par cristallisation d'un magma et sont subdivisées en deux groupes : les roches volcaniques et les roches plutoniques.

- Les **roches volcaniques** (basaltes, rhyolites) sont issues du refroidissement rapide du magma, lequel ne peut pas toujours se cristalliser complètement.
- Les **roches plutoniques** (gabbros, granites) sont issues du refroidissement lent du magma en profondeur ; de ce fait, les cristaux ont le temps de se former et sont visibles.

**B. Les roches sédimentaires,** contrairement aux roches volcaniques, se sont toutes formées à la surface de la Terre sur le sol ou au fond de l'eau. On détermine trois origines qui peuvent se combiner : détritique (résultat de l'érosion de roches existantes), organogène (dépôt de matières organiques) et chimique (précipitation).

On distingue ainsi :

- Les **roches détritiques**, comme les conglomérats, grès, marnes. Elles résultent de l'accumulation de débris de roches préexistantes.
- Les **roches organogènes**, comme le calcaire ou le charbon. Elles résultent de l'accumulation de restes d'origine animale ou végétale.
- Les **roches évaporitiques**, sel et gypse principalement. Elles sont issues de l'évaporation de l'eau de mer ou de l'eau douce. Les sels minéraux auparavant dissous se déposent en couches successives.

**C. Les roches métamorphiques** résultent de la transformation d'une roche préexistante sous l'effet de la chaleur et de la pression.

Exemples : le granite donne un gneiss, le basalte une amphibolite, le calcaire un marbre.

## 2. Les roches volcaniques

Le magma, de la roche en fusion, est un mélange de liquide, de cristaux et de gaz dissout. Selon la teneur en gaz, la température, la viscosité et la vitesse de refroidissement, le magma donnera naissance à des roches très différentes.

Il y a deux grands groupes de roches volcaniques :

- les basaltes, issus des volcans effusifs
- les rhyolites, issues des volcans explosifs.

Le **basalte** est une roche magmatique foncée et dense, pauvre en silice. Cette roche est composée essentiellement de cristaux de pyroxène, d'olivine et de feldspaths noyés dans une pâte microcristalline (microcristaux de pyroxène, d'olivine et de feldspaths avec un verre volcanique interstitiel). Cette roche dérive du refroidissement d'un magma fluide, peu visqueux.



Basalte tholéïitique  
Lave cordée, Hawaii

La **rhyolite** est une roche magmatique de teinte claire, riche en silice. Cette roche est composée essentiellement de cristaux de quartz et de feldspaths noyés dans un verre volcanique. Cette roche dérive du refroidissement rapide d'un magma très visqueux.

Entre le basalte et la rhyolite, il existe un cortège de roches intermédiaires, comme par exemple l'**andésite**, la **trachyte**.



Pierre ponce  
Rhyolite alcaline, Kenya



Andésite  
Scorie, Islande

### 3. Les formes des laves (basaltes) des volcans effusifs



Bombe « bouse de vache », Islande

#### Bombes en fuseau et « en bouse de vache » :

Ces paquets de laves prennent une forme aérodynamique (fuseau) pendant leur éjection ou une forme aplatie pendant l'impact sur le sol (bouse de vache).

#### Fragments de colonnes d'orgues de basalte :

Le refroidissement de la roche provoque une contraction de la lave, créant des polygones qui se propagent à l'intérieur de la lave. Les colonnes basaltiques se développent perpendiculairement au contact de la roche froide ou de l'air.

#### Scories :

Une scorie, de forme très variable, correspond à un morceau de magma qui est projeté lors d'explosions volcaniques. Les cônes de scories sont essentiellement constitués de ce matériel.

#### Lavatite, lavamite :

Les lavatites (plafond) et les lavamites (sol) sont les équivalents des stalagmites et stalagmites dans les grottes calcaires.

Les lavatites sont formées par des gouttelettes de lave qui suintent des parois en cours de refroidissement.

Des petites gouttelettes de lave qui tombent sur le sol créent des lavamites par accumulations successives.

#### « Lava trees » :

Quand une coulée de lave s'épanche sur une forêt, elle recouvre la base des troncs des arbres et enflamme branches et feuillage. Les troncs, dans la coulée, se déshydratent et se transforment en charbon de bois. La lave, au contact du sol et des troncs humides et froids se solidifie sur quelques centimètres d'épaisseur et ainsi les troncs d'arbre (du charbon de bois) se retrouvent entourés d'un manchon de basalte solidifié. Le reste de la coulée, chaud et fluide, continue à avancer. Ensuite, la coulée faiblit et diminue d'épaisseur, ce qui découvre les fantômes d'arbre en charbon de bois entourés de leur manchon basaltique. Puis la lave se solidifie, le charbon de bois central disparaît, et il ne subsiste plus que des colonnes creuses, les « lava trees ».



Colonne d'orgue, fragment  
Basalte, Vivarais, France

#### Cheveux de Pelé :

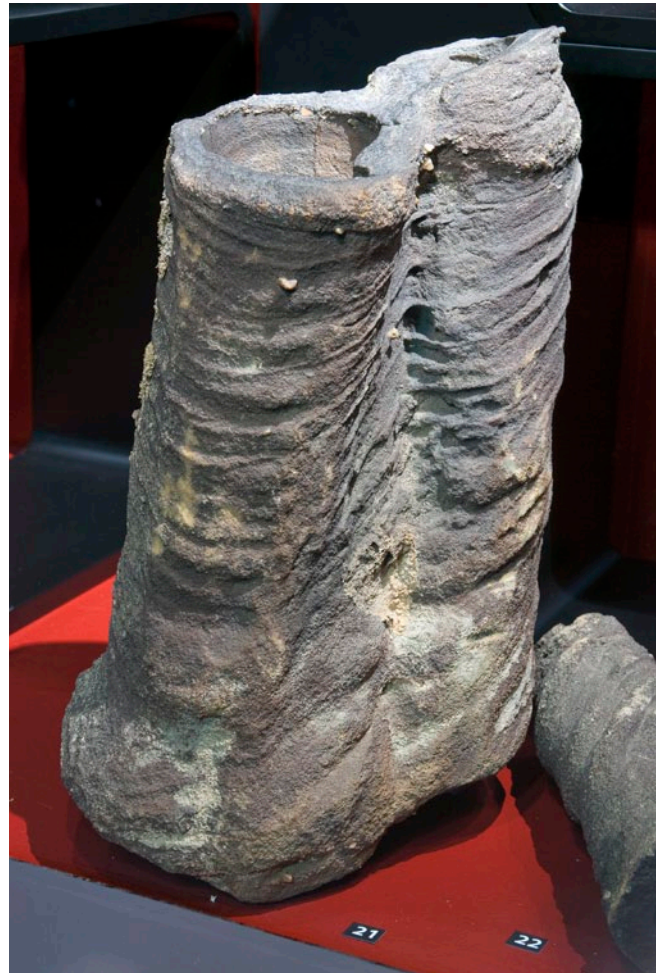
Les cheveux de Pelé sont des filaments de lave étirés et refroidis dans l'air pendant leur éjection.

#### Larmes de Pelé :

Les larmes de Pelé se forment lorsque des gouttelettes de lave fluide sont éjectées du cratère et prennent une forme aérodynamique.



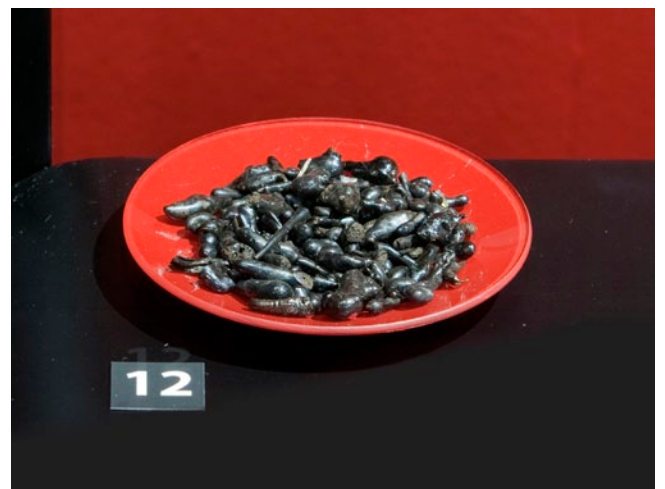
Lavatite / lavamite  
Basalte, 18: Hawaii, 19: Piton de la Fournaise



Lava tree  
Basalte, Hawaii



Cheveux de Pelé  
Basalte, Hawaii



Larmes de Pelé  
Basalte, Piton de la Fournaise

## 4. Les formes de laves (rhyolites) des volcans explosifs

### Bombes en croûte de pain et scories :

Les bombes en croûte de pain sont des fragments de lave qui se fracturent à leur surface pendant leur éjection et leur refroidissement. Le cœur de la bombe est très dense et reste chaud longtemps.

La couleur parfois rouge présente dans les scories est due à l'oxydation du fer contenu dans la lave.

### Obsidienne et pierre ponce (taux de gaz libéré ou non).

Du point de vue chimique, l'obsidienne et la pierre ponce se forment à partir du même magma rhyolitique, très riche en silice.

L'obsidienne est un verre rhyolitique, souvent de couleur noir brillant, aux bords tranchants. Elle dérive du refroidissement très rapide d'un magma particulièrement visqueux, riche en éléments volatiles. La lave a refroidi trop rapidement pour que les minéraux aient pu cristalliser et les gaz restent dissous dans le verre.

La pierre ponce est une mousse de lave («écume de lave») qui se forme dans le conduit magmatique lorsque la proportion de gaz forme des bulles (ou vésicules) dans le magma, donnant ainsi un aspect poreux.

Une obsidienne comporte environ 5% de vésicules (bulles de gaz) contrairement à une pierre ponce qui peut en comporter de 70 à 85%, ayant une densité inférieure à la densité de l'eau. Certaines pierres ponce peuvent ainsi flotter sur l'eau.

### Dépôts pyroclastiques d'ignimbrites :

Les ignimbrites (littéralement «pluie de feu»), sont des roches composées de pierres ponces ou de scories dans une matrice de cendres. Elles sont émises brutalement par des coulées pyroclastiques, provoquées par l'effondrement de dômes ou de colonnes éruptives, et par la formation de caldeiras. Lorsque la température de ces dépôts atteint 500-650°C, ils peuvent se souder à chaud, les fragments de lave vitrifiés étant étirés et montrant un aspect de flammèches («fiamme»).

### Soufre :

Ce minéral se dépose autour des fumerolles par condensation des gaz volcaniques chargés en soufre.

Des dépôts de soufre (solfatares) se forment fréquemment pendant une phase d'activité réduite d'un volcan explosif.

### LE SAVIEZ-VOUS ?

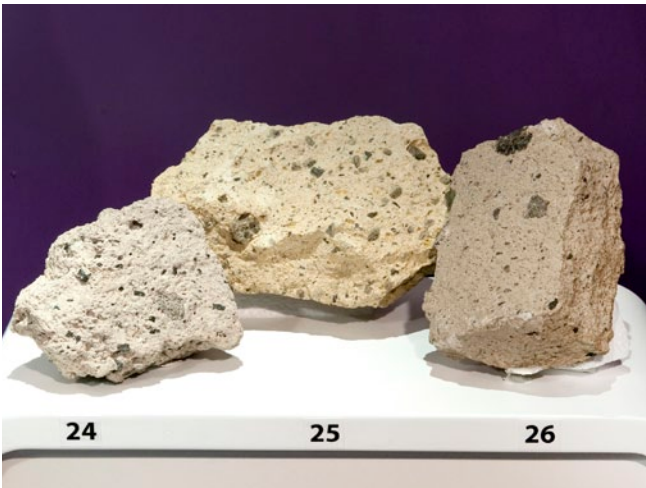
Le soufre n'est pas une roche, mais un minéral. Les cristaux de soufre se développent souvent près des volcans en repos. Celui-ci s'échappe des cheminées volcaniques sous forme de gaz brûlant. Une fois remonté à la surface, le gaz se refroidit et se solidifie en de magnifiques cristaux. Le soufre est généralement de couleur jaune; il devient cependant rouge lorsque la température dépasse 120°.



Bombe en croûte de pain  
Trachyte, Italie



14: Obsidienne, Rhyolite, Islande  
15: Pierre ponce, Rhyolite, Lipuri, Italie



Dépôts pyroclastiques d'ignimbrites  
24, 25: Trachyte, Naples, Italie  
26: Andésite, Montserrat



Soufre, Indonésie

(photos Ph. Wagneur)

# Outils pour l'enseignant

## Livres

- Adams, Simon, *Les volcans*, Editions Nathan 2008 (coll. Mon petit monde 6/9 ans).
- Bardintzeff, Jacques-Marie, *L'ABCdaire des volcans*, Editions Flammarion 2001.
- Bourseiller, Philippe, *Les volcans racontés aux enfants*, Editions de la Martinière jeunesse 2002.
- Collectif, *Volcans*, Géo hors série, octobre 2000,
- Collectif, *Volcans. Le mystère est au centre de la terre*, Science revue, hors-série N°7, juin 2002.
- Collectif (sous la direction de Jean Hébrard), *Les savoirs de l'école CE2/CM1/CM2, cycle 3, Sciences et technologies*, Editions Nathan éducation 2002, pp. 114-119 et pp. 153-158.
- Collectif, *Quand la Terre se fâche: volcans, séismes, tsunamis*, Science & Vie Junior, Hors-série, N°74, octobre 2008.
- Collectif, *La Terre à cœur ouvert*, Dossier pour la Science, N°67, avril-juin 2010.
- Collectif (Gnoss, Edwin; Malant, Séverine; Metzger, Jacques ; Pellegrini, Béatrice), *Supervolcan*, Genève 2010.
- Fauchet, Françoise, *Volcans et tremblements de terre*, Editions Nathan 1998.
- Krafft, Maurice et Katia, *Guide des volcans d'Europe et des Canaries*, Editions Delachaux et Niestlé 1999.
- Nehlig, Pierre, *Qu'y a-t-il sous les volcans?*, Editions Le Pommier 2006.
- Pelloté, Marc, *A la découverte des volcans*, Editions Flammarion Père Castor 2003.
- Tanguy, Jean-Claude, *Les Volcans*, Editions J.-P. Gisserot 2008.



## Sites internet

- [http://www.crdp.ac-grenoble.fr/defi\\_php/dossier\\_peda\\_php?defi=2001\\_2002\\_3](http://www.crdp.ac-grenoble.fr/defi_php/dossier_peda_php?defi=2001_2002_3)  
Pistes de travail à propos des volcans :
- <http://www.kasciope.org/Des-VOLCANS-et-des-PLAQUES>  
Dossier pédagogique à télécharger : *Des volcans et des plaques* 2008
- <http://earth-of-fire.over-blog.com>  
\_\_\_Un peu d'actualité
- <http://www.dijon.iufm.fr/spip.php?article435>  
*Séismes, éruptions volcaniques, intérieur de la Terre: conceptions d'élèves de 8 à 10 ans*, Jean-Charles Allain, IUFM de Bourgogne 1995.

<http://www3.ac-clermont.fr/pedago/svt/vulcania/f3lavesroches.pdf>

Des laves aux roches volcaniques. Fiche de l'enseignant.

<http://www.les-coccinelles.fr/lecielatlaterre.html>

Le volcanisme, fiches pour les élèves.

<http://www.volcan.ch>

<http://www.vulcania.com/>

<http://www.curiosphere.tv/ressource/1710-les-volcans> (quiz)

<http://dominique.decobecq.perso.neuf.fr/>

<http://volcanisme.explosif.free.fr/generalites.htm>

[http://klouky.free.fr/Histoire/les\\_volcans/volcans.htm](http://klouky.free.fr/Histoire/les_volcans/volcans.htm)

## Filmographie



(photo Ph. Wagneur)

1995 : Géo, *Volcans!* Maurice et Katia Krafft, Arte video 1995 (91').

2001 : C'est pas sorcier, *Les phénomènes géologiques (Les volcans, l'Etna)*, Fred, Jamy et Sabine ; production FR3, 2001 (2 X 26').

2006 : Superscience : *Les éruptions volcaniques*, Simon Ludgate ; production France 5, 2006 (50')

2007 : C'est pas sorcier, *Volcans, séismes et tout le tremblement (L'Auvergne, les séismes, l'Islande, la Réunion)*, Fred, Jamy et Sabine ; production FR3, 2007 (105' pour les 4 films ; 26' par film).

2007 : Terre vivante, *La lave et le feu*, Eleanor Grant ; production FR3, 2007 (50')

2009 : Ça m'intéresse, vol. 4, *Les volcans. L'anneau de feu du Pacifique: les volcans de l'enfer*, One Plus One 2009 (42').

2010 : Les grandes éruptions du piton de la Fournaise, vol. VIII : *Au cœur de la Fournaise*, Alain Gerente (68').



## Annexe 1 : L'Eyjafjöll, chronique d'une éruption

Malgré de nombreuses éruptions volcaniques chaque année partout autour du globe, celle du volcan Eyjafjöll (connu aussi sous le nom tout aussi imprononçable d'Eyjafjalla) ne sera pas restée anonyme et aura fait parlé d'elle à l'échelle planétaire! Chacun de nous a été concerné de près ou de loin par les conséquences du nuage de cendres engendré par cette éruption, qui a par ailleurs paralysé le ciel international en avril 2010: passagers bloqués dans les aéroports du monde entier, acheminement différé de denrées vers l'Europe. De lourdes pertes économiques donc, mais si l'on accepte de regarder les choses d'un œil plus romantique, nos ciels se sont aussi ornés de couchers de soleil aux couleurs flamboyantes.

Pourtant, cet événement aux répercussions retentissantes ne marque pas le début de l'activité du volcan islandais. Le volcan Eyjafjöll, avant de devenir une «star» médiatique, s'était déjà manifesté à plusieurs reprises. Notamment en 920, 1612 et de 1821 à 1823, son éruption avait été suivie du réveil du Katla, un volcan voisin nettement plus dangereux, dont la puissance et les risques redoutés sont indéniablement plus grands que ceux de l'Eyjafjöll.

Cette constatation historique fait craindre à certains volcanologues qu'une connexion souterraine entre les deux volcans existe, bien que le Katla soit entré plusieurs fois en éruption au fil des siècles, sans lien direct avec l'Eyjafjöll. Cela reste toutefois une supposition, car malgré les énormes progrès scientifiques et technologiques, la structure interne des volcans n'est pas connue avec précision. Comme il est difficile de vraiment prévoir un éventuel réveil du Katla en lien avec l'éruption de l'Eyjafjöll, les volcanologues le surveillent avec encore plus d'attention qu'en temps normal et réfléchissent à la meilleure manière de réagir en cas d'éruption de ce «géant».

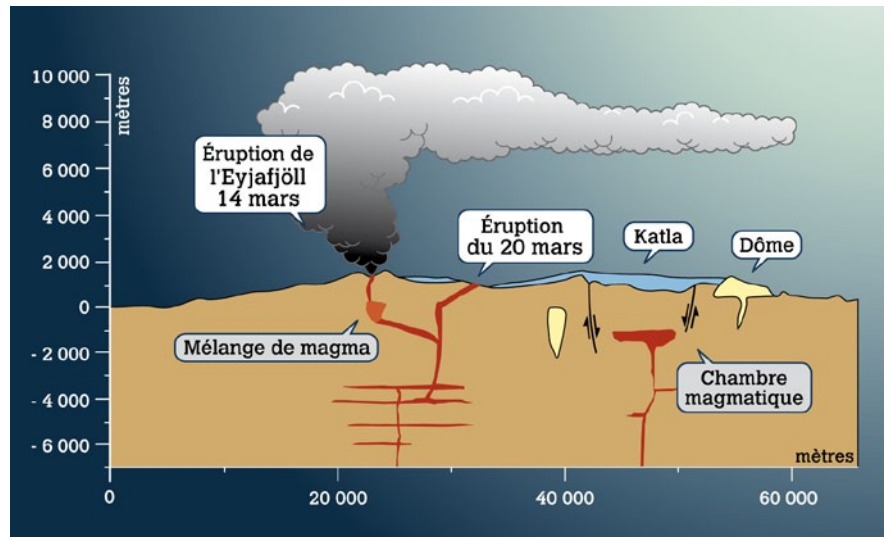


### Signes avant-coureurs

Avant de créer le chaos en Europe, le volcan Eyjafjöll avait déjà commencé à se manifester depuis de nombreuses années. En 1992, des volcanologues constatent que le volcan s'est réveillé. L'activité de l'Eyjafjöll ne fait que croître jusqu'en 2009, moment où une dense activité sismique, signe que le magma s'approche de la surface de la terre, commence à être enregistrée. A la fin de cette même année, les spécialistes mesurent également des gonflements du volcan. Tous les symptômes d'une colère imminente de l'Eyjafjöll sont présents! Le 20 mars 2010 à 23h50, il entre finalement en éruption, et deux phases bien distinctes vont se succéder.

## Première phase de l'éruption (effusive)

Lorsque l'Eyjafjöll entre en éruption le 20 mars, la lave se fraye un premier chemin de sortie à l'est de l'axe du volcan. Les personnes habitant au pied du volcan sont alors évacuées de manière préventive, et les coulées de lave ne font aucune victime.



Eruption du Eyjafjallajökull (d'après Pál Einarsson)

Une semaine plus tard, une seconde fissure crachant aussi des fontaines de lave est constatée quelques centaines de mètres plus loin et les volcanologues, en premier lieu soulagés de constater que ces points de sortie ont des conséquences moindres, craignent déjà que la lave ne perce un autre point de sortie sous le glacier Eyjafjölljökull, avec les conséquences que l'on connaît aujourd'hui. A partir du 12 avril, l'Eyjafjöll traverse une période d'accalmie relative, qui précède une phase tout à fait différente qui confirmera les craintes des spécialistes. Les autorités islandaises, au courant des risques encourus quand un volcan se réveille et la difficulté de prévoir son évolution, ont dû faire face, dès les premiers signes d'éruption, au flot de touristes venus observer l'activité de l'Eyjafjöll. Des spectateurs inconscients, sans équipement ni connaissance préalable, ont contourné les dispositifs de barrages mis en place pour se rendre au plus près de l'activité volcanique.

## Deuxième phase de l'éruption (explosive)

Après cette brève phase de repos, l'activité du volcan se déplace alors sous le glacier Eyjafjölljökull et dès le 14 avril, la lave commence à percer sous une couche de glace de plus de 200 m d'épaisseur. Cette rencontre entre la lave plus visqueuse et la glace, avec une différence de température de plus de 1000°C, provoque une réaction très explosive, une éruption «phréato-magmatique». La lave se fragmente finement dans l'explosion et un panache de cendres s'élève à 10 km d'altitude. Des phénomènes spectaculaires ont aussi été observés au milieu du tourbillon de cendres. Il s'agit d'éclairs volcaniques impressionnants qui se forment parce que les particules émises par le volcan sont électriquement chargées. A l'intérieur du nuage formé par les cendres, elles se déchargent, entraînant ainsi la formation d'éclairs semblables à ceux que l'on peut observer lors d'un orage.

L'éruption de l'Eyjafjöll à cet endroit, sous la glace, hormis le fait de créer un nuage de cendres lors du contact entre la lave et la glace, a eu d'autres répercussions moins connues hors de l'Islande. La fonte des glaces engendrée par la chaleur de la lave a provoqué des «lahars», des quantités d'eau et de cendres jaillissant à grande vitesse de la calotte glaciaire du volcan située à 1666 m d'altitude et ces flots de boue ont, entre autres, déclenché la crue de la rivière Markarfljot, risquant d'emporter routes et maisons sur leur passage. De nombreux Islandais ont alors été évacués pour échapper aux inondations.



(photo M. Fulle)

## Conséquences du nuage de cendres

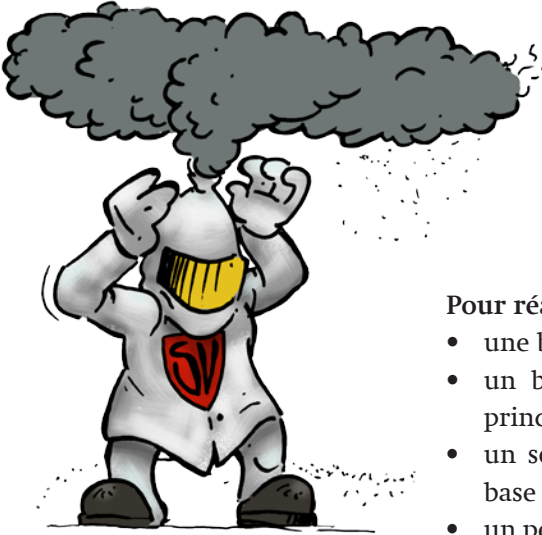
En plus des conséquences pour le bétail, les terres et les habitants du sol islandais, les cendres de l'Eyjafjöll, transportées par les courants aériens, ont semé un vent de panique dans le monde de l'aviation. Les autorités compétentes et les compagnies aériennes ont préféré faire stopper tout trafic aérien pendant plusieurs jours, car le nuage de cendres volcaniques planant au-dessus de l'Europe les inquiétait à juste titre. De par le passé, plusieurs exemples ont prouvé que les avions et les cendres ne faisaient pas bon ménage, même si on ne connaît pas encore à l'heure actuelle la taille, la composition ou la densité des cendres qui pourraient s'avérer réellement dangereuses lors d'un trajet aérien. Le danger vient du fait que les cendres contenues dans le nuage abîment l'avion à plusieurs endroits. Elles provoquent une érosion du pare-brise et des ailes, mais surtout elles peuvent entraîner un endommagement des moteurs: les particules s'engouffrent entre autre dans le réacteur et peuvent fondre et former une pellicule de verre, provoquant l'arrêt partiel ou complet d'un ou plusieurs moteurs de l'avion.

Le 24 mai 2010, deux mois après la première éruption de l'Eyjafjöll, les volcanologues islandais ont annoncé la fin de la deuxième phase éruptive du volcan, le magma ne remontant plus jusqu'à la surface de la Terre et les cartes du ciel étant revenues à la normale. Ils modèrent cependant leurs propos, car qui sait quelles surprises nous réservent encore l'Eyjafjöll et son imposant voisin le Katla!



(photo M. Fulle)

## Annexe 2: Pour réaliser un volcan



Pour réaliser une maquette de volcan, il faut :

- une bouteille en plastique
- un bout de tuyau d'arrosage d'environ 50 cm pour la cheminée principale
- un socle en bois qui sera placé horizontalement et représentera la base du volcan
- un petit bout de tuyau rigide en PVC pour fixer la bouteille et le tuyau d'arrosage au socle en bois
- des planches en bois pour le cône du volcan.

Marche à suivre :

- couper la bouteille en deux
- sur le culot de la bouteille, coller le tuyau d'arrosage
- faire un trou sur le tuyau en PVC et y introduire le tuyau d'arrosage
- coller le tuyau rigide sur la bouteille en fixant le tout sur le socle en bois
- disposer les planches de façon à former le cône volcanique.

Le volcan est presque prêt. Il faut encore le peindre en vert et coller des arbres miniatures. Pour modéliser une ancienne coulée de lave, faire couler de la colle sur les parois, la laisser sécher et la peindre en noir.

Pour simuler l'éruption volcanique :

- mettre de l'eau et du ketchup dans la bouteille en plastique
- ajouter un peu de vinaigre et du bicarbonate: une réaction chimique se produit, provoquant un effet bouillonnant
- pour démarrer l'éruption, placer des pastilles effervescentes dans le tuyau d'arrosage, et bien le fermer: une deuxième réaction se produit et provoque la montée du magma.

Autre proposition sur :

<http://www.cscapitale.qc.ca/val-joli/2003-2004/anne/iles/volcans.htm>



**Fabriquer un volcan avec de la pâte à modeler, du bicarbonate de soude, du savon à vaisselle et du vinaigre :**

- 500 g de farine blanche
- 250 g de sel
- 50 g de bicarbonate de soude
- 200 ml d'eau
- 100 ml de vinaigre
- 30 ml d'huile végétale
- 30 ml de savon à bulles (ou de détergent à vaisselle transparent)
- colorants alimentaires rouge et vert
- 1 grand bol
- 1 tasse à mesurer
- 1 cuiller à soupe
- 1 verre transparent
- 1 grand plat (ou plateau)
- 1 bouteille (plastique ou verre) vide de 250 à 330 ml
- 1 entonnoir

1. Verser 500 g de farine, 250 g de sel et 2 cuillerées à soupe d'huile végétale dans le bol. Mélanger le tout avec la cuiller.
2. Verser 150 ml d'eau dans le verre. Ajouter 5 gouttes de colorant rouge et 5 gouttes de colorant vert. Verser le tout dans le bol.
3. Avec les mains, mélanger les ingrédients jusqu'à ce que la pâte à modeler ne soit plus collante (environ 2 minutes). Si la pâte demeure très collante, ajouter un peu de farine.
4. Poser la bouteille sur le plateau. A l'aide de la pâte à modeler, fabriquer un volcan tout autour.

Seul le goulot doit dépasser. Peindre éventuellement le volcan avec de la gouache. Auparavant, laisser sécher la pâte pendant une nuit.

### **Provoquer une éruption volcanique !**

Dans un verre, mélanger 50 ml d'eau tiède et 50 g de bicarbonate de soude. Ajouter trois gouttes de colorant rouge, puis 30 ml de savon à bulles. A l'aide de l'entonnoir, verser le mélange dans le volcan.



Rincer l'entonnoir puis ajouter doucement 100 ml de vinaigre dans le cratère. Refaire l'expérience en remplaçant le liquide à bulles par 30 ml de grenadine. On jurerait de la lave !

Le vinaigre réagit avec le bicarbonate de soude pour former du gaz carbonique. Lorsque le gaz occupe tout l'espace disponible dans la bouteille, la pression augmente et le gaz entraîne le liquide coloré hors de la bouteille.

## Annexe 3 : Questionnaire

Comment s'appelle le spécialiste des volcans ?  
(le volcanologue)

Quel est le nom de la couche découpée en plaques mobiles comprenant la croûte et une partie du manteau supérieur ?  
(la lithosphère)

Comment s'appelle le réservoir souterrain dans lequel séjourne le magma ?  
(la chambre magmatique)

Comment s'appelle le conduit qu'emprunte la lave pour sortir du volcan ?  
(la cheminée)

Récapitulation : quelles sont les trois parties constitutives d'un volcan ?  
(la chambre magmatique, la cheminée et le cratère)

Quelle différence y a-t-il entre magma et lave ?  
(le magma est une roche fondue à l'intérieur de la Terre ; la lave est un magma qui a atteint la surface).

Quelles sont les deux sortes principales de laves ?  
(les fluides et les visqueuses)

L'éruption volcanique est...  
(une montée de roches fondues en surface)

Comme s'appelle la grande dépression circulaire créée par l'effondrement du sommet du volcan ?  
(la caldeira)

Qu'est-ce qu'une fumerolle ?  
(une sortie de gaz d'un volcan)

Un tsunami est une coulée de boue : vrai ou faux ?  
(faux : c'est un raz-de-marée ; une coulée de boue est un lahar)

Qu'est-ce qu'une coulée pyroclastique ou nuée ardente ?  
(une avalanche dense de gaz brûlants, de cendres chaudes et de blocs qui roulent le long des pentes d'un volcan en éruption).



Etna  
(photo C. Schnyder)



Guatemala  
(photo C. Charvet)

Un volcan qui n'a plus d'éruption est un volcan éteint : vrai ou faux?  
(faux: un volcan est toujours actif, même s'il n'a pas d'éruption, à moins que son repos se prolonge au-delà de 10'000 ans).

Combien y a-t-il de volcans actifs sur terre?  
(1500 environ)

Quels sont les deux grands groupes de volcans sur terre?  
(les volcans rouges, aux éruptions relativement calmes ; les volcans gris, explosifs).

Les zones de subduction sont les frontières le long desquelles deux plaques s'écartent (vrai ou faux?)  
(faux: ce sont les zones où deux plaques se rencontrent, l'une plongeant sous l'autre).

Combien de grandes plaques l'écorce terrestre comporte-t-elle?  
(il y a 8 grandes plaques lithosphériques: l'eurasienne, l'africaine, la nord-américaine, la sud-américaine, la nazca, la pacifique, l'australienne et l'antarctique).

Sur quelle dorsale océanique l'Islande se trouve-t-elle?  
(la dorsale médio-Atlantique)

Autour de quel océan se trouve la ceinture de feu?  
(le Pacifique)

Les volcans hawaïens sont des volcans de point chaud : vrai ou faux?  
(vrai)

Quel est le volcan d'Europe le plus explosif potentiellement?  
(le Vésuve)

Comment appelle-t-on la source d'énergie fournie par les volcans?  
(la géothermie)

A quoi sert un sismomètre?  
(à mesurer les secousses sismiques).

<b>Auteurs du dossier</b>	Edwin Gnos, Daniel Thurre
<b>Mise en page</b>	Corinne Charvet
<b>Maquette</b>	Florence Marteau
<b>Illustrations</b>	Javier Fortea, Dominique Frascarolo, Florence Marteau, Jacques Metzger,
<b>Conseillers scientifiques</b>	Danielle Decrouez, Christiane Kurth, Pierre-Alain Proz, Cédric Schnyder
<b>Impression</b>	Centrale Municipale d'Achat et d'Impression de la Ville de Genève (CMAI)



Quelquefois l'accès aux zones actives d'un cratère de volcan nécessite des techniques d'escalade pour atteindre la zone d'échantillonnage au plus près d'un lac de lave, par exemple, en Ethiopie sur le volcan de l'Erta Alé.  
(photo M. Cai)



# msm

# msm



**mséum**  
Genève

DÉPARTEMENT DE LA CULTURE

ROUTE DE MALAGNOU 1-1208 GENÈVE  
TÉL: +41 (0)22 418 63 00  
FAX: +41 (0)22 418 63 01  
[WWW.VILLE-GE.CH/MHNG](http://WWW.VILLE-GE.CH/MHNG)

DU MARDI AU DIMANCHE  
DE 10H À 17H - ACCÈS FACILITÉ POUR  
LES PERSONNES HANDICAPÉES  
CAFÉTÉRIA-BOUTIQUE-BIBLIOTHÈQUE

BUS: 1-8, ARRÊTS TRANCHÉES ET MUSÉUM  
OU 20-27, ARRÊT MUSÉUM  
TRAM: 12-16-17, ARRÊT VILLEREUSE  
PARKING: VILLEREUSE

