

# Le volcanisme, *arrivée en surface du magma.*



## **Le volcan Etna en éruption**

Comment naît et se développe un volcan, quelles sont ses caractéristiques, et d'où vient la matière qu'il rejette de façon spectaculaire ?

Hommes et volcans, une longue histoire...

Les éruptions volcaniques constituent des phénomènes extraordinaires, à la fois par leur beauté et par leur dangerosité. Longtemps, les volcans ont été associés à des cultes divers, en tant que montagnes sacrées. Toutefois, dès l'antiquité, les premiers scientifiques se sont interrogés sur leur origine réelle et leur fonctionnement, plusieurs payèrent de leur vie leur passion de la recherche. Il faudra pourtant attendre le 18<sup>ème</sup> siècle pour qu'un volcan, le Vésuve, qui en l'an 79 avait été à l'origine de la première éruption décrite en détail, soit étudié de façon approfondie, donnant naissance à la science des volcans. Après bien des aventures, l'origine des volcans allait être précisée, et leurs éruptions étudiées en détail.

Nous allons voir, dans les pages suivantes, les principales découvertes issues de ces recherches.

## SOMMAIRE

Étude d'une éruption: naissance du volcan Paricutin, 20 février 1943

### 1 Un volcan se construit

Étude d'une éruption: Le mont Vésuve, automne de l'an 79

Étude d'une éruption: Île de Lanzarote, 1730 à 1736

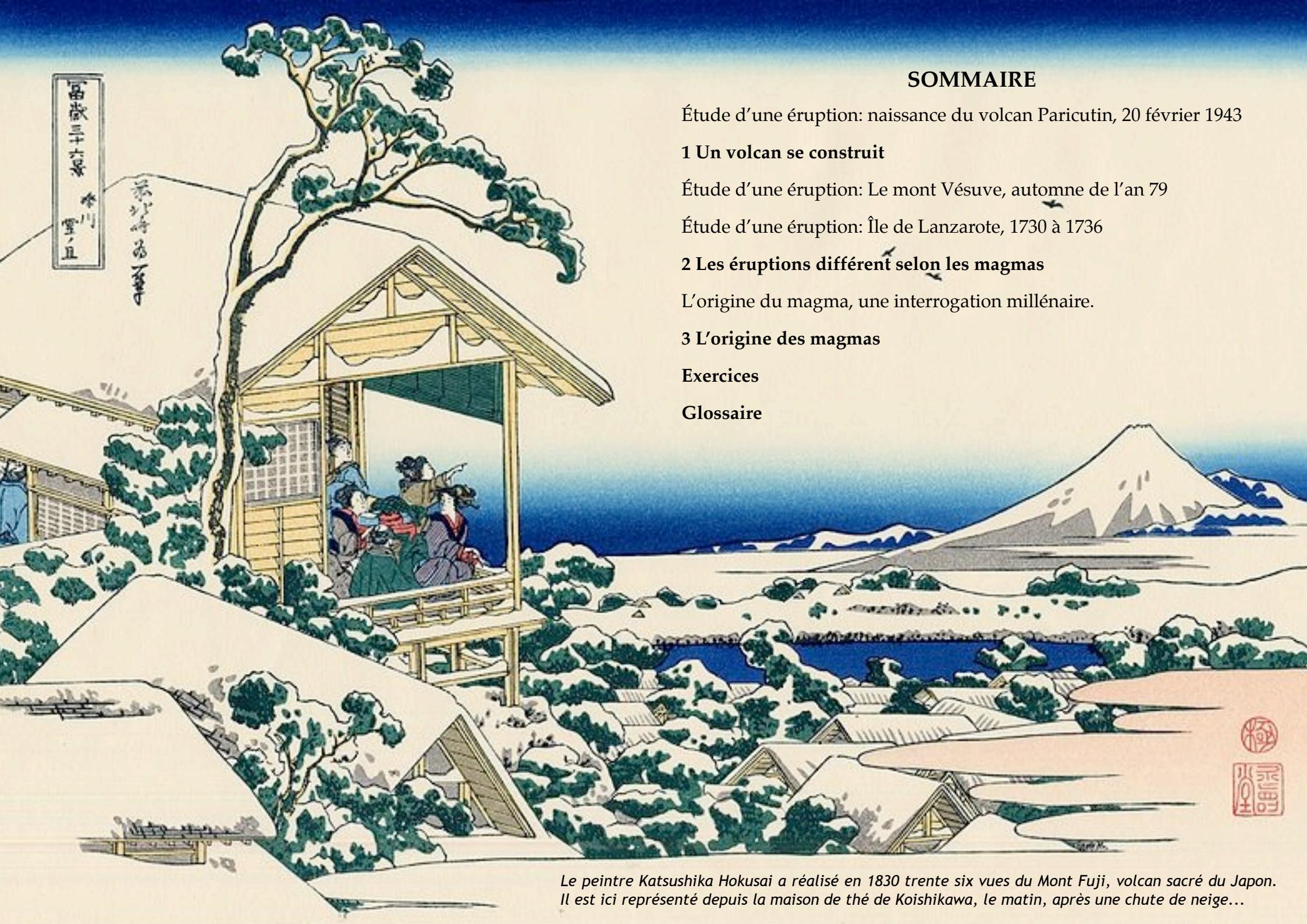
### 2 Les éruptions diffèrent selon les magmas

L'origine du magma, une interrogation millénaire.

### 3 L'origine des magmas

Exercices

Glossaire



Le peintre Katsushika Hokusai a réalisé en 1830 trente six vues du Mont Fuji, volcan sacré du Japon. Il est ici représenté depuis la maison de thé de Koishikawa, le matin, après une chute de neige...



# Étude d'une éruption : naissance du volcan Paricutin, 20 février 1943

*Nous sommes en 1942, au Mexique, à 300 km de la capitale, près du village de San Juan. Un beau jour du mois d'août, Dionisio Pulido, un paysan à l'épaisse moustache, découvre que le sol de son champ de maïs s'est effondré, formant un trou de 5m de diamètre et 1m50 de profondeur. Bien qu'ennuyé, Dionisio continue son travail sans s'inquiéter davantage. Cinq mois plus tard, la région subit plusieurs séismes, et des grondements se font entendre dans le sol.*

Dans l'après-midi du samedi 20 février 1943, Dionisio, travaillant son champ, entend soudain de forts bruits dans le sol. Une fissure de 30m s'ouvre brusquement près du trou précédemment formé: il en sort une grande quantité de poudre chaude, de la cendre volcanique, qui s'accumule pendant que de sourdes explosions retentissent dans les profondeurs.



En un jour, un cône de 30 m se forme, dominant le champ. Le lendemain, une coulée de lave part de ce cône et s'arrête rapidement. En 3 jours, le cône atteint 60 m de hauteur, puis, après une semaine d'activité continue, 120 m. Il s'en échappe des jets de gaz, de la vapeur d'eau, et une quantité considérable de cendres, légères particules minérales qui retombent sur le volcan et aux alentours: elles vont recouvrir, jour après jour, plus de 25 km<sup>2</sup> d'un sombre manteau minéral. De gros morceaux de lave solidifiée, les bombes volcaniques, sont aussi expulsés par le cratère du volcan et fendent l'air en sifflant (d'où leur nom) avant de s'écraser avec fracas sur ses pentes. (photo ci-contre : le Paricutin en éruption en 1943, Le volcan a la forme d'un cône noir. Il s'en dégage des cendres sombres et des gaz qui apparaissent plus clairs.- USGS)

Apprenant l'évènement, le peintre José Gerardo Francisco Murillo, dit «Dr Atl», quitte Mexico pour s'installer au pied du volcan: bravant le danger, travaillant à la limite des coulées de lave et des retombées de bombes, il va pendant 7 ans décrire dans ses toiles les changements qui affectent le volcan. Il en publiera un album en 1950.

En un mois, le volcan, nommé Paricutin d'après le nom d'un village voisin, atteint 150 m d'altitude, et continue de s'élever au fur et à mesure que les cendres s'accumulent: après un an, il mesure 336 m.

Le vendredi 7 juillet 1944, une épaisse coulée de lave s'épanche du volcan et se dirige lentement vers le village de San Juan Parangaricutiro, qu'elle envahit et recouvre, seul le clocher de l'église dépassant encore de la coulée solidifiée. Le Paricutin va rester en éruption pendant 9 ans, jusqu'au 4 mars 1952.

## Questions rapides :

Où est situé le volcan ? Quels sont les matériaux qui en sortent ? De quoi est fait le cône du volcan ? Combien de temps a duré l'éruption ? S'est-elle déroulée tout le temps de la même façon ? Quels signes ont précédé la formation du volcan ?



## 1. Le paricutin de nuit, 1943

La haute température des produits rejetés par le volcan apparaît nettement, car les cendres et les gaz sont incandescents. Notez que la cendre rejetée s'accumule sur les pentes du volcan, les recouvrant d'un magnifique manteau lumineux. Photo USGS



## 2. Le cocher de l'église

Seul le clocher de l'église dépasse encore de la coulée de lave solidifiée. Notez l'aspect rugueux et la couleur sombre de la roche formée lorsque la coulée de lave du 7 juillet 1944 s'est refroidie, devenant solide. photo [Wikipédia](#).



[Film d'époque](#) (anglais), bruit impressionnant - [Ascension actuelle du Volcan](#) (en musique locale) - [Témoignage dans les ruines de l'église](#) (en espagnol)

# Un volcan se construit

*Empilement de couches de cendres volcaniques dans les terrains de Ténériffe, non loin du volcan du pic de Teide- photo RR.*

*Les éruptions volcaniques sont des émissions de lave et de gaz.*

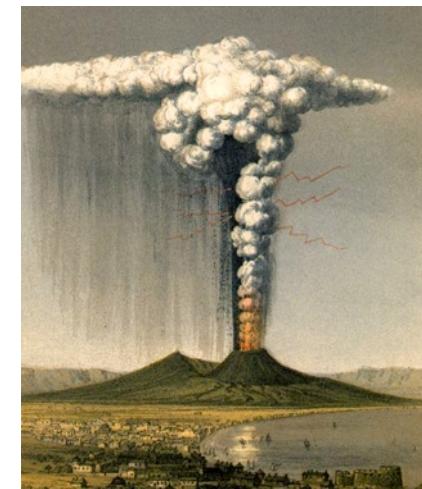
Dès l'antiquité, les premiers scientifiques ont rapidement identifié les volcans, qui ont le plus souvent la forme de **cônes** surmontés de cavités, les **cratères**. Ils ont découvert les principaux éléments émis par un volcan en éruption: l'expulsion d'une grande quantité de **gaz**, sous forme parfois d'explosions violentes, s'accompagnait le plus souvent d'écoulements d'une substance extrêmement chaude, la **lave**, et de projections de morceaux de roche de taille diverse.

Logiquement, les «pères» grecs de la science, il y a 26 siècles, essayèrent d'expliquer ces phénomènes à partir de ce qu'ils connaissaient du feu et de ses usages: ils pensèrent que des vents puissants attisaient des feux souterrains à d'origine mystérieuse. Ces idées n'évoluèrent que vers le 18<sup>e</sup> siècle, lorsque W. Hamilton, ambassadeur d'Angleterre à Naples, profita de son séjour pour étudier le volcan



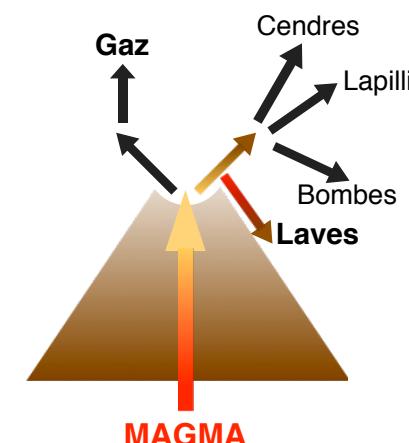
Vésuve, alors très actif, et sa région. Il décrivit minutieusement son activité, et nota que les gaz dégagés par le volcan sont toxiques et peuvent asphyxier les hommes. [Il publierai le premier livre](#) scientifique, richement [illustré](#), sur les volcans.

Le *cratère du volcan Hawaïen Pu u O ô, en éruption en 1990, montre les produits dégagés par un volcan: des gaz sont libérés lorsque la lave incandescente perce la mince croûte noire solidifiée au fond du cratère. Remarquez les couches concentriques, blanches et marron, visibles dans le cratère. Photo USGS*



**Éruption du Vésuve** en octobre 1822, peinte par J. Scrope, depuis Naples.

*La pluie de cendres retombant du panache volcanique est bien visible sur la gauche.*

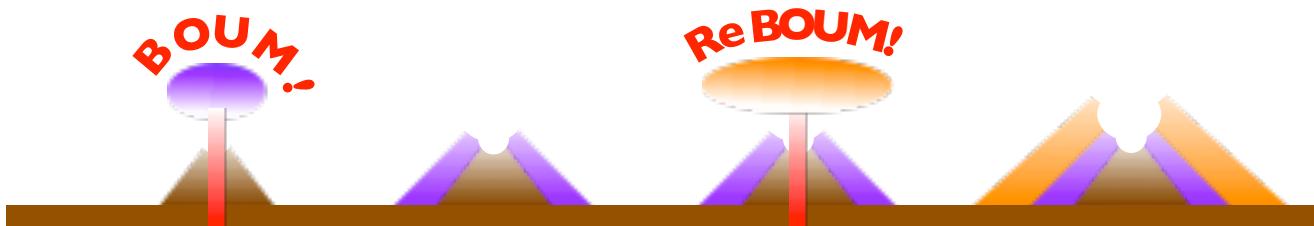


**Matériaux émis par un volcan.** Lorsque le magma arrive près de la surface, il laisse échapper les gaz qu'il contient. Il reste alors la matière minérale en fusion, la lave, ainsi que des débris solides de taille croissante: les cendres, très légères, les lapillis et les bombes, plus rares, qui peuvent atteindre plusieurs centaines de kg.

## L'édifice volcanique se construit à partir des matériaux émis lors des éruptions.

Parti de Toulon le 16 septembre, Prévost arrive en vue de l'île le 27, en pleine tempête. Il la décrit: «une masse noire, solide, ayant tantôt la forme d'un dôme surbaissé, dont la base était triple de sa hauteur, tantôt celle de deux collines inégales, séparées par un large vallon». Le 28, un canot peut s'approcher de l'île : « pour la partie que nous avions sous les yeux, l'île était formée de matières meubles et pulvérulentes (**Cendres, Lapilli, Scories**), qui étaient retombées, après avoir été projetées en l'air pendant les éruptions. Je n'aperçus aucun indice de roches solides soulevées; mais je reconnus bien distinctement l'existence d'un cratère ou entonnoir presque central, duquel s'élevaient d'épaisses colonnes de vapeurs». Le lendemain, Prévost explore l'île: il ne trouve pas de roches soulevées du fond marin, mais remarque, près de petites fissures d'où s'échappent des gaz qui soulèvent du sable, qu'il se forme des «taupinières» qui ressemblent, en réduction, à l'île: il en déduit qu'elle s'est bien formée par suite de l'**accumulation d'une grande quantité de matériaux d'origine volcanique**, et non par soulèvement: **un volcan s'édifie et se transforme graduellement par accumulation de matériaux sur ses pentes**, au fil des éruptions qui jalonnent son existence. Cela signifie que l'aspect d'un volcan change, qu'il peut s'y produire des éboulements, de nouveaux cratères peuvent s'y former, entraînant la formation de nouveaux cônes: un édifice volcanique évolue à chaque éruption.

Une éruption volcanique est le moment où une substance minérale extrêmement chaude, mélange de **roche fondu**e et de **gaz**, le **magma**, parvient à la surface. Il laisse alors échapper les **gaz** qu'il contient (principalement du CO<sub>2</sub> et de la vapeur d'eau) mêlés à des **cendres**, petits morceaux de roches provenant du magma solidifié, extrêmement légères, et qui peuvent être produites en très grande quantité. Le magma en se solidifiant peut donner une grande variété de matériaux, dont les **lapillis**, fragments de roches qui retombent sur les pentes du volcan et aux alentours, et les **bombes**, énormes blocs projetés dans les airs par les **explosions** se produisant lorsque les gaz sous pression s'échappent du magma. Ces matériaux, ainsi que les **coulées de lave**, s'empilent et se superposent sur les flancs du volcan lors de chaque éruption, ce qui édifie un **cône volcanique** à l'aspect changeant.



**Croissance d'un volcan.** Au cours de chaque éruption, des nouveaux matériaux (ici violet, puis orange) sont propulsés hors du volcan et retombent sur ses pentes. Ces matériaux, solides, font grandir le volcan qui est donc formé d'un empilement de couches successives, chacune correspondant à un épisode éruptif. Schéma RR.



**Gros plan de l'intérieur du cratère du Pu u o ô.** Le volcan est formé par l'empilement de couches différentes, aisément repérables par leurs couleurs. À chaque éruption, ou à chaque phase d'une même éruption, une couche de matériaux supplémentaire se dépose, faisant grandir le volcan et modifiant sa forme.

**Question d'élève:** Si les volcans grandissaient à chaque éruption, les plus vieux devraient toucher le ciel, non ?

Trois phénomènes empêchent une croissance sans fin des volcans: l'érosion qui les détruit au fur et à mesure qu'ils s'élèvent, les éboulements et les explosions qui modifient leurs pentes, et le délai entre deux éruptions, qui peut dépasser la dizaine de siècles...

**À RETENIR:** Lors d'une éruption, du magma remonte d'une réserve profonde et, en surface, laisse échapper des gaz et des matériaux solides. Il peut s'écouler sous forme de lave. Tous ces matériaux s'accumulent pour former un édifice volcanique qui se construit à chacune de ses éruptions.

## Étude d'une éruption : Le mont Vésuve, automne de l'an 79

Nous sommes le 24 octobre (ou novembre) de l'an 79, dans la région de Naples, Neapolis à l'époque, dominée par la silhouette du mont Vésuve. Autour de lui, des villes prospères: Herculaneum, résidence d'été de nombreux Romains fortunés, Oplontis, Stabies, et la riche ville de Pompéi. Quelques années auparavant, des séismes se sont produits dans la région, ils sont fréquents depuis quelques jours, et des sources et des puits se sont brusquement asséchés au début du mois. 30000 habitants de ces cités de l'Empire romain vont vivre leur dernier jour: le mont Vésuve va se révéler être une montagne pour laquelle les Romains devront inventer le mot: *volcan*.

Le matin, vers 10h, une grande explosion retentit: tous les regards se tournent vers le Vésuve, qui apparaît soudain surmonté d'une énorme colonne de fumée sombre qui s'élance vers le ciel. A 35 Km de là, à Misène, l'amiral Pline, éminent naturaliste qui connaît quelques volcans, observe le phénomène. Désireux de l'étudier de près et recevant des appels au secours, il fait préparer plusieurs navires puis se dirige vers Herculaneum. Il ne reviendra jamais. Son neveu, Pline le jeune, resté à Misène, décrit ainsi l'éruption: «*Il était difficile de discerner de loin de quelle montagne sortait ce nuage; l'événement a découvert depuis que c'était du mont de Vésuve. Sa figure approchait de celle d'un arbre, et d'un pin parasol plus que d'aucun autre car, après s'être élevé fort haut en forme de tronc, il étendait une espèce de feuillage. Je m'imagine qu'un vent souterrain violent le poussait d'abord avec impétuosité et le soutenait; mais, soit que l'impulsion diminuât peu à peu, soit que ce nuage fût affaissé par son propre poids, on le voyait se dilater et se répandre.*».

La colonne de cendres et de gaz provenant de l'explosion du sommet du volcan s'élève jusqu'à 30 km d'altitude. À Pompéi et dans les villes autour du Vésuve, c'est l'affolement. Certains fuient au plus vite, les rues sont encombrées de chariots, car ceux qui le peuvent emportent leurs biens. De nombreux habitants essayent de fuir par la mer, mais les vents sont contraires, et les eaux agitées. D'autres décident de rester chez eux, se croyant à l'abri.

Rapidement, le nuage de cendres et de gaz s'étend, cachant le soleil. Dans la lueur indécise des lampes à huile, les habitants sont terrifiés, et, vers 13h, des pierres commencent à tomber du ciel: ce sont des ponces, très légères, qui flottent sur l'eau, ainsi que d'autres fragments de roche plus denses, les lapilli. Les pierres s'accumulent, et en quelques heures il y en a tellement (une couche épaisse de 2 m) que les habitants sont bloqués dans leurs maisons dont les toitures s'effondrent sous le poids des matériaux volcaniques.

Pendant ce temps, la colonne de gaz et de cendres, refroidie, s'effondre sur elle-même et dévale les pentes du volcan en avalanches meurtrières: ces **nuées ardentes** de cendres et de gaz à 300 °C, se déplaçant à grande vitesse, ensevelissent Herculaneum sous 23m de cendres. A Pompéi, les cendres recouvrent les ponces déjà accumulées; ainsi qu'Oplontis et Stabies. Quelques jours plus tard, l'éruption est terminée, 4 cités et 30000 victimes sont ensevelies pour 18 siècles...

**Questions rapides:** Comment débute l'éruption ? Quels sont les matériaux rejetés par le Vésuve ? Quel phénomène détruit les villes et les ensevelit ? Combien de temps à durée l'éruption ? Quel matériau souvent associé aux volcans est absent de cette éruption ?



Reconstitution (bande annonce) - Ruines d'Herculaneum et Pompei - La fin d'Herculaneum.



**Un aspect similaire:** L'éruption de 79 a du ressembler à celle du mont Redoubt, en Alaska, en 1990. Photo USGS



**Une reconstitution:** La chaîne TV Discovery channel propose une reconstitution de l'éruption de 79 (à gauche). Si le panache volcanique correspond aux descriptions, le Vésuve est ici représenté plus grand qu'on ne le voit de Pompei, comme le montre la photo actuelle prise depuis les ruines de la ville (à droite, photo RR).

## Étude d'une éruption : Île de Lanzarote, 1730 à 1736

Lanzarote est une petite île des Canaries, à 150 km des côtes d'Afrique. Au début du 18<sup>ème</sup> siècle, elle abrite de nombreux petits villages. La population vit principalement de la pêche et de l'agriculture, car le sol est très fertile. Le premier septembre 1730, cette terre fertile va littéralement s'ouvrir, et l'aspect de l'île va être changé à jamais.

Don Andres Lorenzo Curbelo, curé du village de Yaiza, a noté avec précision les événements qui se sont déroulés: «Le 1<sup>er</sup> septembre 1730, entre neuf heures et dix heures du soir, la terre s'entrouvrit tout à coup auprès de Timanfaya, à deux lieues de Yaiza. Dès la première nuit, une énorme montagne s'était élevée du sein de la terre et de son sommet s'échappait des flammes qui continuèrent à brûler pendant dix-neuf jours (...), un torrent de lave se précipita sur Timanfaya, sur Rodeo et sur une partie de La Mancha Blanca. La lave s'écoula sur les villages vers le nord, d'abord aussi rapide que l'eau, mais bientôt sa vitesse se ralentit et elle ne coula plus que comme du miel (...) Le 7, une colline s'éleva dans un bruit de tonnerre (...) la lave (...) détruisit en quelques minutes les localités de Maretas et Santa Catalina. Le 11 septembre, l'éruption se renouvela avec force et la lave recommença à couler. De Santa Catalina, elle se précipita sur Maso, incendia et recouvrit tout ce village et poursuivit son chemin jusqu'à la mer ; elle coula pendant six jours de suite avec un bruit effroyable et en formant de véritables cataractes. (...) Le 18 octobre, trois nouvelles ouvertures se formèrent (...) de ces orifices s'échappèrent des masses d'une fumée épaisse qui s'étendit sur toute l'île. (...) Des coups de tonnerre et les explosions qui accompagnaient ces phénomènes, l'obscurité produite par la masse de cendres et de fumées qui recouvrait l'île, forcèrent plus d'une fois les habitants à prendre la fuite. (...). Le 28 octobre, l'action volcanique s'était exercée de cette manière pendant 10 jours entiers, lorsque tout à coup le bétail tomba mort, asphyxié dans toute la contrée, par un dégagement de vapeurs pestilentielles.»

Ainsi, pendant six ans, après des périodes d'accalmies de quelques jours, de la lave et des cendres s'échappent des fissures du sol, des cônes volcaniques se forment et les coulées de lave dévastent de sud de l'île jusqu'à l'océan. Don Curbello note: «Chaque fois que les hommes croyaient que leur malheur s'achevait, de nouvelles fissures s'ouvraient, de nouveaux cônes s'érigeaient.» Ainsi, trente grands cônes volcaniques vont se former, 170 km<sup>2</sup> (le quart de l'île) vont être recouverts de lave, et les régions alentour noyées sous les retombées de cendres et de lapilli: 75% de l'île est recouvert de roches volcaniques datant de l'éruption. Dix villages et 420 fermes sont recouverts de lave, une partie de la population quitte l'île. Malgré ces destructions, il n'y a aucune victime humaine: les coulées ont un parcours prévisible et avancent lentement, permettant de fuir.

Actuellement, la région centrale de l'éruption constitue le [parc national du Timanfaya](#). C'est une région désolée et aride, recouverte de cendres volcaniques, de cônes et de coulées de lave figées. Presque trois siècles après l'éruption, la chaleur accumulée dans les roches est telle qu'à certains endroits, il est impossible d'enfoncer la main sous la cendre volcanique, car elle est trop chaude. De l'eau versée dans un tube enfonce dans le sol ressort en quelques secondes [sous forme d'un jet de vapeur](#).

**Questions rapides:** Comment débute l'éruption ? Quels sont les matériaux émis par les volcans ? Quel phénomène détruit les villages et les ensevelit ? Combien de temps à durée l'éruption ? Quelles en ont été les victimes ?



**Une idée:** Lanzarote est entrée en éruption avant que la photographie n'existe, mais d'après les descriptions que nous en avons, elle présentait toutes les caractéristiques de celle que l'on peut observer de nos jours sur l'île d'Hawaï: fontaines de lave (en haut), éruptions spectaculaires (ci-contre) et imposantes coulées (ci-dessous) sont les composantes de ce genre d'éruption volcanique.  
Photos USGS



# Les éruptions sont différentes selon les magmas.



Alignement de cônes volcaniques dans un paysage de coulées de laves solidifiées à Timanfaya, île de Lanzarote - photo RR.

En comparant les deux éruptions précédentes, vous avez du découvrir qu'il existe différents types d'éruptions volcaniques: très schématiquement, on peut distinguer les «volcans qui coulent» et les «volcans qui explosent».

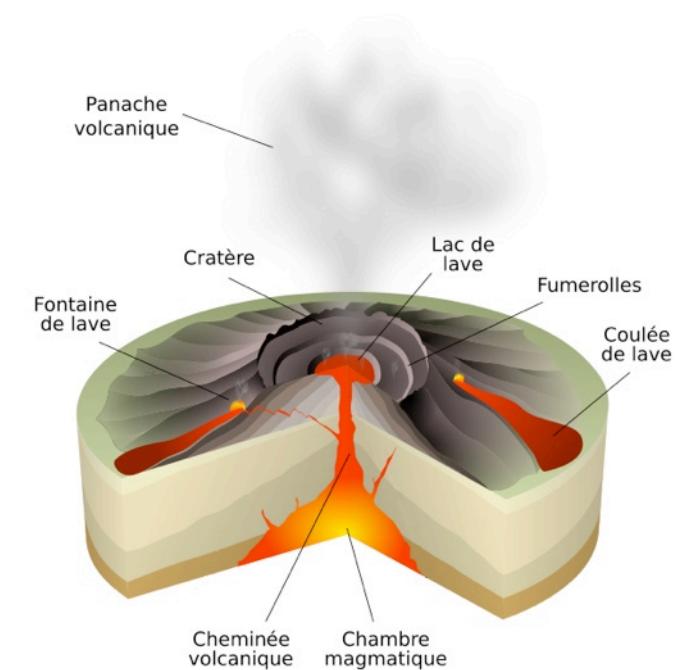
## Les magmas fluides donnent naissance à des coulées de lave.

Lorsque le magma d'un volcan est **fluide**, il se déplace facilement dans les fissures qui lui permettent de se diriger vers la surface et constituent la **cheminée** volcanique. Etant fluide, ce magma perd facilement ses gaz, qui se séparent du magma lorsqu'il arrive en surface (il n'y a donc pas d'accumulation de pression dans le volcan), formant un panache peu développé. La partie liquide «dégazée» du magma, la lave, dont la température est d'environ 1200°C, s'écoule le long des pentes du volcan.



Au fur et à mesure qu'elles s'éloignent du volcan, les coulées de lave se refroidissent et commencent à se solidifier vers 750 °C. Ce faisant, elles donnent naissance à une roche noire, le basalte. Toutefois, comme la lave est très chaude, elle ne se refroidit qu'en surface, et une «croûte» rocheuse isolante se forme, qui permet à la lave fluide de continuer à s'écouler à l'intérieur. Parfois, la quantité de lave produite est si importante qu'elle forme de véritables «fleuves» de lave, spectaculaires, souvent filmés. (à gauche, une coulée de lave du volcan Etna, en Sicile, en 2006 - photo Romgiovanni/Wikimedia). Une coulée peut ainsi parcourir une centaine de km, à une vitesse de l'ordre de la dizaine de km/h.

La vitesse d'écoulement de la lave dépend de sa viscosité (plus elle est fluide, plus elle va vite) ainsi que de la pente du terrain sur lequel elle coule, mais le plus souvent les coulées sont assez lentes, ce qui permet de leur échapper: les éruptions de ces volcans à magma fluide, que l'on nomme les **volcans effusifs**, sont peu dangereuses pour les populations qui vivent aux alentours. Par contre, la lave provoque des incendies et détruit, en les recouvrant, tous les bâtiments ou les ouvrages qui se trouvent sur son passage et qui n'ont pu être déplacés. Une coulée peut atteindre une épaisseur de plusieurs dizaines de mètres, et modifie durablement l'environnement dans lequel elle s'est épanchée.



## Un volcan effusif en éruption

Le magma fluide atteint la surface où il se sépare facilement en gaz, qui forment un panache plus ou moins développé, et en coulées de lave qui s'éloignent lentement du volcan. Des cendres, des bombes et des lapilli peuvent accompagner le dégagement de lave.

Schéma Sémhur/Wikimedia



Eruptions au paradis ([Hawaii](#), en anglais) - [Coulées](#) de lave - Eruption sur l'[Île de la Réunion](#) - L'[Etna](#) en éruption.

Google earth Mot clé: Puu Oo, Etna 95030

## **Les magmas pâteux provoquent des explosions projetant des matériaux divers.**

Vers l'an -270, le philosophe Straton considérait que les volcans étaient un «dispositif de sécurité», et que par conséquent ils constituaient un danger lorsqu'ils étaient «bouchés». Malgré ces observations, et le précédent constitué par l'éruption du Vésuve en 79, il faudra attendre les explorateurs du 18<sup>ème</sup> siècle, comme Humbolt, qui décrivit et fit l'ascension du Chimborazo, en équateur; et des éruptions meurtrières comme celles du Krakatoa, en 1883, et de la montagne Pelée, en 1902, pour qu'apparaissent clairement les particularités des volcans qui, au lieu de s'épancher en laves incandescentes, explosent brutalement en avalanches meurtrières de cendres et de gaz.

Lorsqu'un volcan est alimenté par un **magma pâteux**, ce dernier progresse difficilement vers la surface, se solidifiant et formant un «bouchon» rocheux sous lequel la pression, due à la libération des gaz, augmente dangereusement. Sous l'influence de cette pression, le magma prend l'aspect d'un mélange de gaz et de débris rocheux de taille diverse. **Lorsque la pression devient supérieure à la résistance des roches, une partie du volcan explose.**

Le magma, brutalement libéré, jaillit sous forme d'un panache gigantesque, mélange de roches, de gaz et de poussières à plusieurs centaines de degrés; qui s'élève dans l'atmosphère à plusieurs dizaines de km d'altitude, puis, finissant par se refroidir, s'étale, prenant une forme caractéristique de pin parasol. Autour du volcan, il pleut des cendres, parfois sur plusieurs mètres d'épaisseur.

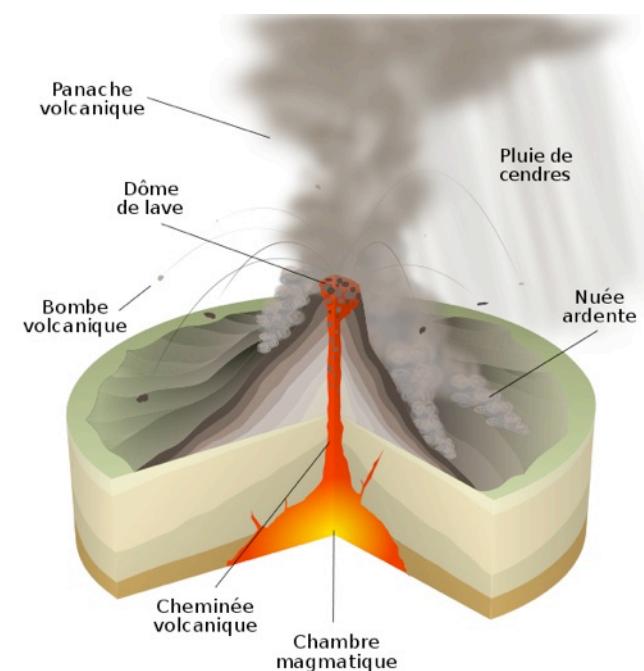
Les poussières du panache, vont mettre des jours, voire des mois à retomber, et se dispersent sur toute l'étendue du globe. Elles peuvent même modifier le climat mondial, le plus souvent dans le sens d'un refroidissement.

Le panache volcanique finit, une fois un peu refroidit, par **s'effondrer sur lui-même**: il retombe de plusieurs km d'altitude et roule sur les flancs du volcan en avalanches de poussières, de cendres et de gaz brûlants (300°C) se déplaçant à plusieurs centaines de km/h: ces **nuées ardentes** détruisent toute vie sur leur passage.

Ce sont ces nuées qui ont détruit Pompéi en 79, [St Pierre \(en Martinique\), en 1902](#) et, plus récemment, [la ville de Plymouth](#) (île de Montserrat, Antilles anglaises) en 1997.

Ce volcanisme, de type explosif, est très dangereux. Le magma s'étant solidifié en partie au cours de sa remontée, **il n'y a pas de coulées de lave**. C'est pour cela que l'on parle de «volcans gris».

Après l'éruption, un nouveau «bouchon» se met en place dans le cratère (où ce qu'il en reste). Ce bouchon rocheux peut prendre différents aspects (piton, [dôme](#)...), il s'édifie lentement en s'écroulant sous la poussée des gaz qui le fracturent et peuvent ainsi s'échapper peu à peu. Mais malgré cela la pression, inévitablement,, monte dans les profondeurs... jusqu'à la prochaine explosion.



**Volcan explosif en éruption.** La grande quantité de cendres et les nuées ardentes rendent ces éruptions redoutables. Schéma Sémhur/Wikimedia



**Nuées ardentes** sur le flanc du volcan Mayon, aux Philippines, en 1984. Photo USGS



Nuées ardentes sur le [Merapi, 2010](#) - Eruption du [Fuego](#), Guatemala. - [Danger des nuées ardentes](#).

Google earth Mots clé: Unzen, Sakurajima, Mont Rainier, Krakatoa, Montagne pelée, Pinatubo.

## *Une nuée ardente spectaculaire: le [mont St Helens](#), 18 mai 1980*

En mars 1980 se produisent sous le mont St Helens une série de séismes, vite suivis par de petites éruptions de vapeur et de cendres. Le flanc nord du volcan commence à gonfler, la pression s'accumulant au dessous. Fin avril, cette bosse s'accroît d'un peu moins de 2 m par jour, et le sommet du volcan, fragilisé par cette poussée, commence à se fracturer. Les géologues donnent l'alerte le 30 avril: une éruption majeure est proche. La région est évacuée.

A 8h 32, le 18 mai, un séisme fait s'effondrer le côté nord du volcan: le magma est alors libre de parvenir à la surface et, brutalement libéré, s'élève vers le ciel en une colonne de cendres et de gaz qui va en 10 min atteindre 19km d'altitude.

Sur le côté nord ouvert du volcan, les gaz et les roches pulvérisées forment une nuée ardente, à plus de 350 °C, qui atteint 1000 Km/h, rasant 600 Km<sup>2</sup> de forêts et évaporant l'eau d'un lac. Il y eu, malgré les précautions prises, 57 victimes. Il y aura encore 17 autres nuées ardentes, moins violentes, et 500 millions de tonnes de cendres vont retomber sur plus de 60 000 km<sup>2</sup>. En fondant et en se mélangeant avec la roche, la neige des glaciers forme aussi des coulées de boue dévastatrices. [Cette éruption](#) aura libéré autant d'énergie que 27000 bombes atomiques.

### Questions d'élèves

*Les volcans, ils polluent beaucoup l'air pendant leurs éruptions?*

Les éruptions les plus importantes relâchent en effet des gaz dits «polluants» dans l'atmosphère, et peuvent même modifier un moment les climats. Les volcans en activité permanente produisent aussi beaucoup de gaz, mais leur influence actuelle sur la composition de l'atmosphère est négligeable.

*Il y a des volcans en France?*

Les seuls volcans actifs sont situés sur les îles françaises: le [piton de la fournaise](#) à la Réunion, La [soufrière](#) à la Guadeloupe et la [montagne Pelée](#) à la Martinique. En France «continentale», il y a d'anciens édifices volcaniques en Auvergne, qui forment la chaîne des puys.

### À RETENIR

**Les différents types de volcans et d'éruptions sont liés à la composition des magmas, qui peuvent être:**

- fluides, s'épanchant sous forme de coulées de lave (**volcanisme effusif**).
- pâteux, édifiant des «bouchons». Les gaz qui ne peuvent s'échapper assez vite provoquent des explosions (**volcanisme explosif**), créant de dangereuses nuées ardentes.

[Google earth](#) Mot clé: Mount St. Helens

### Aller plus loin

*Un volcan reste t'il toute sa «vie» du même type ?*

*Pourquoi existe t'il différentes sortes de magmas, quelle est l'origine de leurs différences?*

*Peut-on prévoir les éruptions les plus dangereuses ?*



USGS  
LE MONT ST HELENS, USA, ÉTAT DE WASHINGTON. AVANT LE 18 MAI 1980...



L'ÉRUPTION EST DÉVASTATRICE...



APRÈS L'ÉRUPTION, IL MANQUE 400 M DE VOLCAN, ET UN NOUVEAU CRATÈRE BÉANT, PROFOND DE 600 M, S'EST FORMÉ.



UN NOUVEAU "BOUCON" SE FORME DANS LE CRATÈRE



DE TEMPS À AUTRE, LE BOUCON CÈDE, ET DES ERUPTIONS MOINS PUISSANTES ONT LIEU.... POUR L'INSTANT.

**L'activité du Mont St Helens** après son [éruption de 1980](#) constitue un excellent [exemple de volcanisme explosif](#). Toutes photos USGS.

## L'origine du magma, une interrogation millénaire.

*Les éruptions volcaniques marquent tous ceux qui y ont assisté. Dès l'antiquité, les premiers scientifiques ont tenté d'imaginer et d'étudier ce qui pouvait, dans les profondeurs de la terre, être à l'origine des matériaux rejetées par les volcans qu'ils connaissaient (l'Etna en Sicile, les îles de Stromboli et de Vulcano).*

### **Les magmas ont une origine profonde et contiennent de la roche et du gaz**

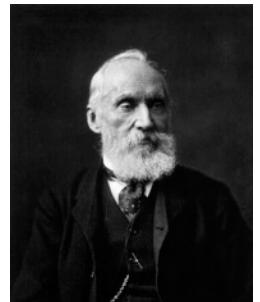
Il y a 24 siècles, le philosophe Platon pensait qu'à l'intérieur de la Terre un vaste fleuve de feu, d'origine mystérieuse, alimentait tous les volcans. Pour le philosophe Aristote, des vents puissants, dans d'étroites cavernes, étaient capables d'agiter le sol, causant les séismes, et d'enflammer des gaz à l'origine des éruptions: «*le feu qui se forme dans la terre a pour cause le fait que le choc enflamme l'air qui s'est préalablement réduit en fines particules*» écrivait t'il. Pour Aristote, l'origine des magmas était superficielle, alors que Platon croyait à l'existence d'une origine profonde.

Trois siècles plus tard, vers l'an 30, le philosophe Philon d'Alexandrie s'oppose à ces deux explications en remarquant que **ce n'est pas du «feu» qui sort des volcans**, mais de la roche fondu. A la même époque, le philosophe romain Sénèque note **qu'il y a aussi du gaz libéré lors des éruptions**, et propose que chaque volcan soit alimenté individuellement par une «source» locale. Ce sont, hélas, les idées de Platon et d'Aristote qui vont s'imposer pendant tout le moyen-âge, l'église veillant à ce qu'aucune théorie ne contredise l'existence d'un «enfer» souterrain. Toutefois, à partir du 16<sup>ème</sup> siècle, de grands navigateurs vont découvrir de nouveaux volcans (Hawaii, la Réunion, les volcans d'Asie) et une révolution des idées, opérée après les propositions de Copernic, laisse penser que les anciens Grecs ont pu se tromper. Malgré ces remises en question, le jésuite A. Kircher en 1678, propose encore qu'une vaste cavité pleine de feu, au centre de la Terre, communique avec la surface par des passages s'ouvrant au niveau des volcans...

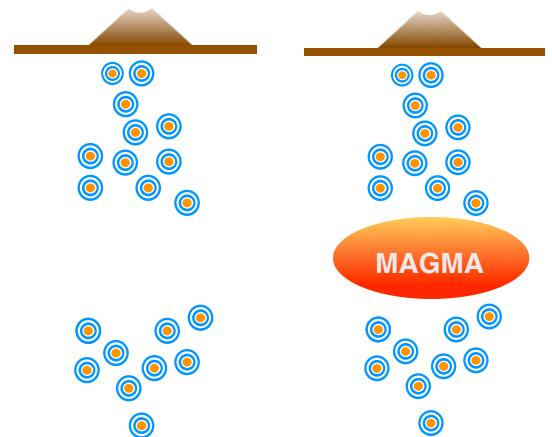
### **Les magmas n'existent que sous les volcans**

En 1755, le naturaliste G. Della Torre montre que Kircher s'est trompé: l'intérieur de la Terre ne contenant pas d'air et celui-ci étant indispensable aux combustions, il ne peut donc contenir de feu. L. Cordier observe en 1827 que la température dans les mines augmentant de 1 degré tous les 25 mètres, elle doit atteindre 1600°C à 50 km de profondeur et fondre les roches. La Terre serait alors une boule de magma recouverte d'une mince écorce solide (*beaucoup de personnes, même à notre époque, en sont restées à cette idée*). **Il se trompe toutefois**, comme le montre dès 1839 W. Hopkins: ce physicien remarque que la température de fusion des roches augmente avec la pression: les roches profondes ne se comportent donc pas comme celles que l'on peut étudier en surface. De plus, en étudiant le mouvement de rotation de la Terre, Hopkins montre que **notre planète ne peut pas posséder un intérieur liquide**. Son élève W. Thomson (alias Lord Kelvin), démontre en 1862, en étudiant les marées, que **la Terre se comporte comme si elle était essentiellement solide**. Au 20<sup>ème</sup> siècle, l'étude des ondes sismiques confirmera l'essentiel des conclusions de Lord Kelvin, à savoir que le globe terrestre se comporte comme un solide et que **les seules parties rocheuses en fusion sont des réservoirs de magma que l'on ne trouve que sous les volcans**, et dont l'emplacement sera étudié en utilisant les ondes sismiques.

**Questions rapides:** Quel argument utilise Della Torre pour contrer l'idée qu'il existe une réserve de «feu» à l'intérieur de la Terre? Quel philosophe grec a eu la même idée que lui? Quel phénomène physique explique que des roches peuvent se comporter comme des solides à plus de 1600 °C ? Pourquoi les idées de l'antiquité ont-elle pu commencer à être contestées au 16<sup>ème</sup> siècle ?



**2200 ans d'efforts.** Depuis Platon et Aristote (représentés ici dans un détail du tableau «l'école d'Athènes», de Raphaël) jusqu'à Lord Kelvin en 1862, plus de 2200 ans auront été nécessaire pour comprendre que les volcans sont alimentés par une source locale de magma, et que l'intérieur de notre planète n'est pas un océan de magma. Documents wikimedia.



### **Localisation de la chambre magmatique.**

Tous les foyers des séismes liés à la montée du magma avant une éruption dessinent deux «nuages» (à gauche) séparés par un «vide», où la roche n'est donc pas à l'état solide: c'est là que se situe la chambre magmatique (à droite) où s'accumule le magma.

Le nuage de foyers sous la chambre correspond aux fissures qui l'alimentent: le magma ne se forme donc pas dans la chambre, son origine est plus profonde...

# L'origine des magmas

Gaz et matières minérales en fusion sont les deux composantes des magmas, qui se séparent à leur arrivée en surface, comme ici lors qu'une éruption de l'Etna. Photo USGS.

Le comportement des magmas est très complexe, car ce sont des mélanges hétérogènes de liquides et de gaz comportant aussi des éléments solides en proportions changeantes, le tout sous des pressions variables et avec d'importantes différences de température.

**Les magmas séjournent longuement dans une chambre magmatique profonde**

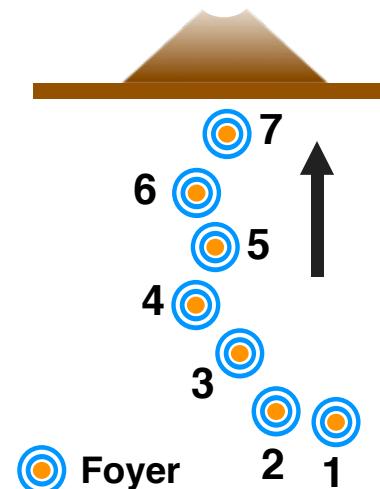
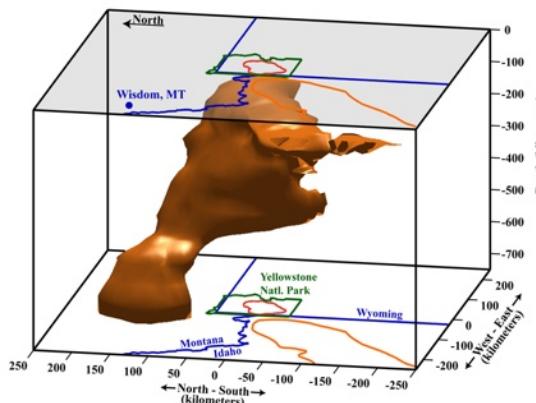
Au cours d'une éruption, un grand volume de magma sort du volcan en peu de temps: cela laisse penser qu'il est stocké en profondeur dans une «réserve». Cette réserve porte le nom de **chambre magmatique**. Sa présence a été confirmée par l'étude des séismes provoqués par la rupture des roches réalisée par le magma au cours de son ascension vers la surface (voir schémas ci-contre).

Le magma se créé, en effet, un chemin dans la roche en la fracturant. Ce passage sinueux et très étroit est la **cheminée** du volcan. A chaque éruption, le magma peut emprunter une cheminée voisine ou identique à la précédente ou bien en créer une nouvelle, voire plusieurs! Dans ce cas, un nouvel édifice volcanique pourra se former sur les pentes du cône principal. Ainsi, l'Etna, en Sicile, possède quatre cratères principaux et plus de 250 cônes volcaniques dispersés sur ses flancs. Entre les éruptions, la **cheminée est remplie de magma solidifié**: ce n'est donc pas un «tunnel» qui conduit à la chambre magmatique !

La chambre magmatique porte d'ailleurs un nom trompeur: ce n'est pas une espèce de profonde caverne remplie de magma, mais une zone profonde, entre 10 et 50 km sous la surface, très fracturée, un ensemble de fissures de toutes formes et de toutes tailles où le magma se concentre, et qui contient

seulement 10% environ de roches fondues. En effet, le **magma ne se forme pas dans la chambre magmatique**, il a une origine bien plus profonde. Il s'accumule dans la chambre et peut y rester pendant des siècles, au cours desquels sa composition chimique et son état évoluent. Le volume de la chambre est très important: il atteint plusieurs km<sup>3</sup> (**ci-contre: reconstitution du volume de la chambre magmatique géante présente sous la région volcanique de Yellowstone, aux USA. Surface couverte 500 x 500 Km, profondeur 700 Km. Le magma contient entre 8 et 15% de roches fondues. Doc. Université de l'Utah/ [Seismology and Active Tectonics Research Group.](#)**)

Le magma est un matériau sous pression, de consistance variable, **qui contient une grande quantité de gaz dissous**. C'est la présence de ces gaz qui va causer son ascension finale vers la surface.



**conséquence de l'ascension du magma**

La cassure des roches par le magma en mouvement provoque la formation d'ondes sismiques. Si on localise les foyers de ces séismes, les numéros correspondant à leur ordre d'observation, on constate qu'ils se rapprochent peu à peu de la surface, décrivant le parcours du magma, c'est à dire dessinant la forme de la cheminée.



**Une ancienne cheminée:** le Strombolichio, petit îlot en face du volcan Stromboli, est tout ce qui reste de la cheminée d'un ancien volcan aujourd'hui complètement érodé.

## *Les éruptions sont déclenchées par l'évolution de la composition des magmas*

A son arrivée dans la chambre magmatique, le magma est un mélange de roches fondues contenant différents gaz dissous. Il va se refroidir très lentement, pendant plusieurs siècles.

En se refroidissant, une partie du magma se solidifie, ce qui enrichit la partie liquide restante en gaz: les gaz mettent le magma sous pression, des bulles de gaz se forment, le volume du magma augmente et il pousse fortement sur les roches qui l'environnent. Ces roches finissent par se briser, et la magma s'insinue dans les fissures ainsi créées, et, fissure après fissure, déclenchant des séismes à chaque fois qu'il fracture des roches, il se dirige vers la surface (ce qui explique pourquoi les éruptions sont souvent précédées d'une série de séismes).

Les cassures successives de la roche conduisent enfin le magma au contact de la surface, et, sous pression, il jaillit sous des formes diverses qui dépendent de sa viscosité et de sa richesse en gaz.

Une fois en surface, le refroidissement des magmas, selon les conditions dans lesquelles il s'effectue, va donner naissance à une grande variété de roches que l'on nomme les roches éruptives.

### Question d'élève

*Est-ce qu'on peut récupérer l'énergie du magma ?*

C'est possible, mais pas partout. Dans de rares régions où une ou plusieurs chambres magmatiques sont présente à faible profondeur, comme l'Islande, il est possible d'utiliser la chaleur extrême du sous sol pour produire de la vapeur, utilisée pour fabriquer de l'électricité.

Même sans présence de magma, la chaleur du sous sol, peut être utilisée (c'est la géothermie) pour chauffer les bâtiments, mais cela n'est rentable que dans les régions où le sous sol est particulièrement chaud.

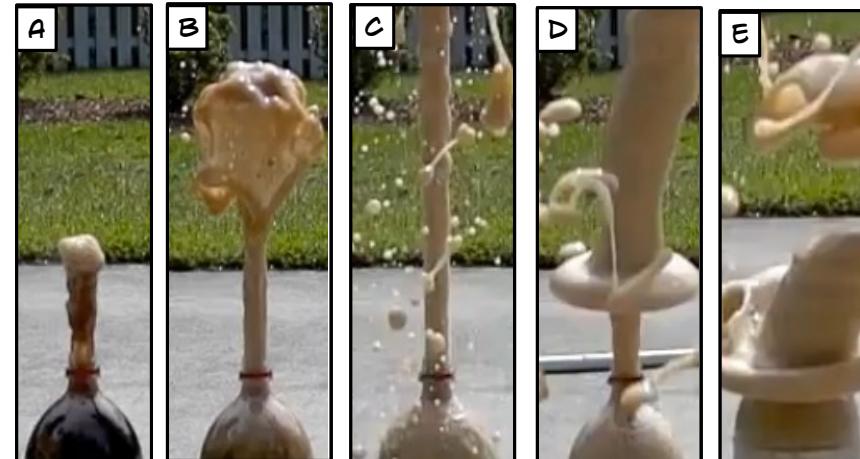
Signalons aussi une utilisation originale, dans l'île de Lanzarote: un restaurant utilise la chaleur se dégageant du sous sol pour alimenter un grill disposé «à l'air libre» et fonctionnant gratuitement 24h/24...

### **À RETENIR - résumé du chapitre -**

**Longtemps avant une éruption, du magma remonte d'une source profonde et séjourne longuement dans une vaste chambre magmatique où il s'enrichit en gaz, ce qui le met sous pression. Lorsque la pression est suffisante, il remonte par une cheminée vers la surface.**

**S'il est fluide, il forme des coulées de lave et perd son gaz facilement; s'il est pâteux, il provoque des explosions et des nuées ardentes.**

**Les matériaux de l'éruption s'accumulent petit à petit, construisant ainsi l'édifice volcanique.**



**Un «modèle» d'éruption volcanique est donné par une éruption «soda-ique»:** Si la teneur en gaz du magma est responsable des éruptions, on devrait observer les mêmes phénomènes en provoquant dans un soda, liquide riche en gaz, une brusque formation de bulles de gaz.

Le revêtement de certains bonbons à la menthe permet de provoquer une brusque formation de bulles dans le soda. On observe alors qu'une colonne de gaz s'élance hors de la «cheminée» (le goulot) en emportant le liquide avec lui (A). Ensuite, le sommet de la colonne s'aplatit (B), formant un «nuage» de liquide et de gaz. La colonne monte encore et il retombe de son sommet des «morceaux» de taille variée (C), puis elle s'effondre sur elle-même, (D) provoquant une «nuée ardente» (E) dévastatrice sur la bouteille.

Notre «modèle» nous permet donc de retrouver les diverses phases d'une éruption, ce qui contribue à valider l'hypothèse selon laquelle c'est la teneur en gaz des magmas qui est responsable des éruptions.

(Images tirées d'une [séquence vidéo](#) filmée à 1200 images/s, avec l'aimable autorisation de R. Woodhead.)

### Aller plus loin

*Quelles sont les roches éruptives? Comment se forment-elles ?*

*Le magma peut-il se solidifier complètement sans éruption ??*

*Existe-t'il d'anciennes chambres magmatiques rendues accessibles par l'érosion? A quoi ressemblent elles ?*

*Les diamants viennent ils du magma ?*