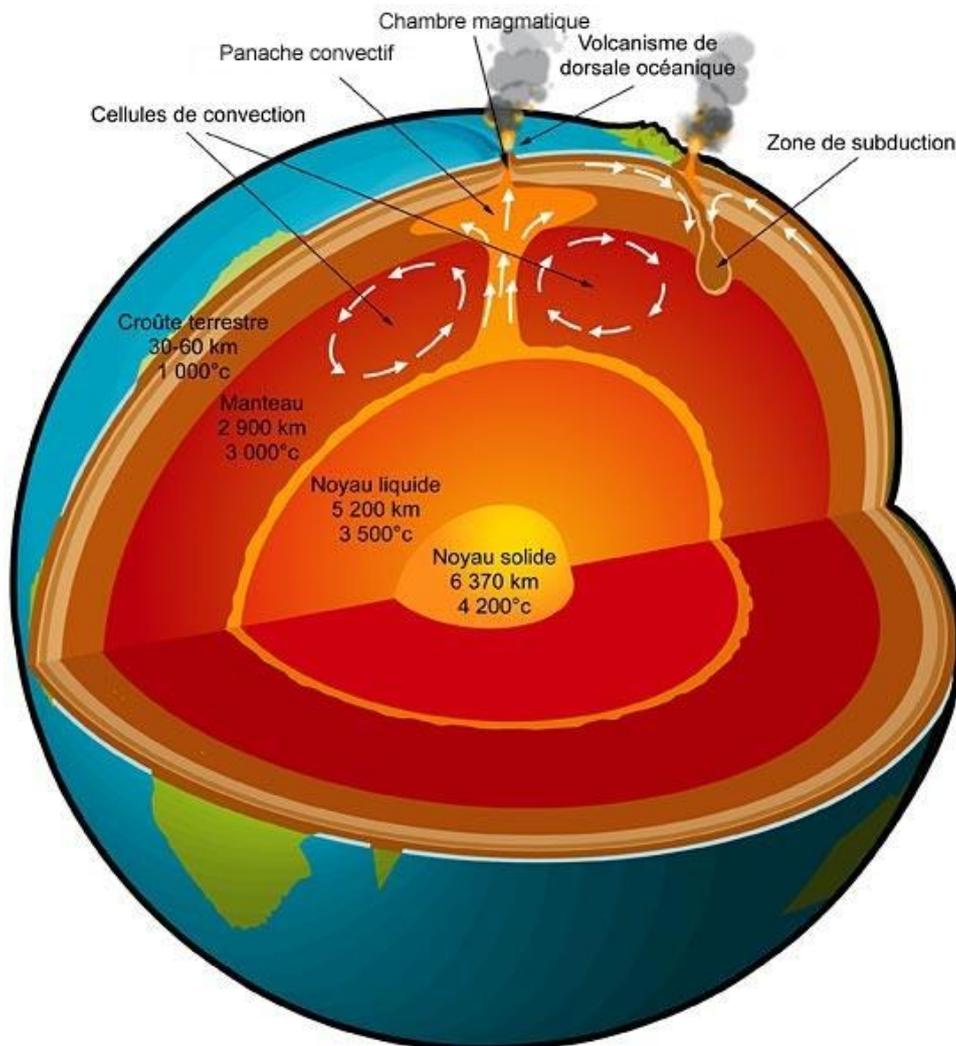


Les mouvements de la Terre



25-26 Mai 2019

Société Amicale des Géologues Amateurs
Muséum national d'histoire naturelle
43 rue Buffon CP 48 75005 Paris
www.saga-geol.asso.fr

Les mouvements de la Terre

**La Terre est une planète active, dynamique
L'écorce terrestre est un puzzle de plaques qui se déplacent**

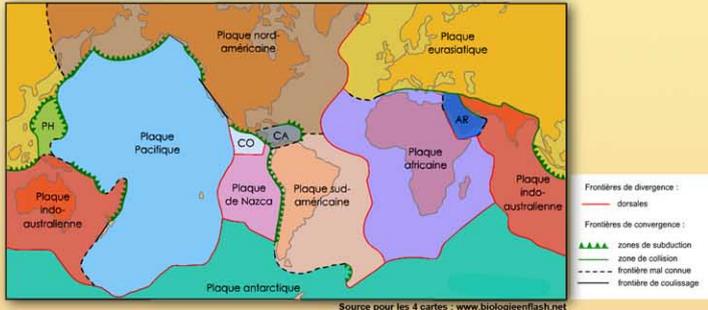
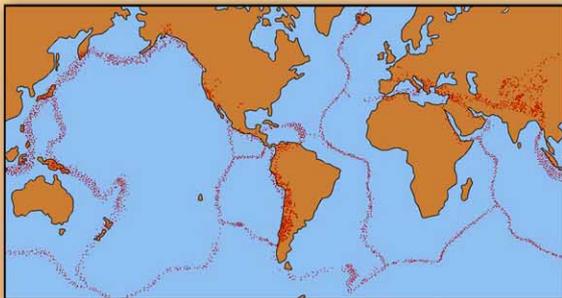


photo Laurent Deschodt, WIKIPEDIA

Grandes plaques lithosphériques

Islande
Frontière entre la plaque nord-américaine et la plaque eurasiatique

**Les effets de ces déplacements sont observables :
volcans, séismes et grandes chaînes de montagne ne sont pas répartis
au hasard à la surface de la Terre**

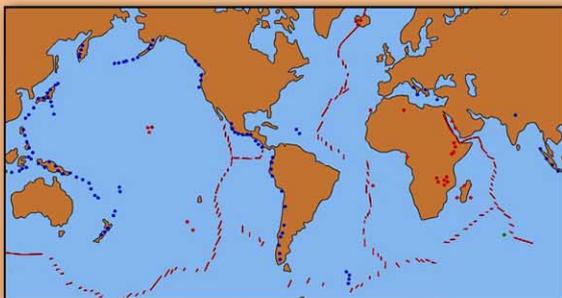


Répartition mondiale des séismes



Photo Kevin Schaefer, www.geo.fr

Faille de San Andreas en Californie



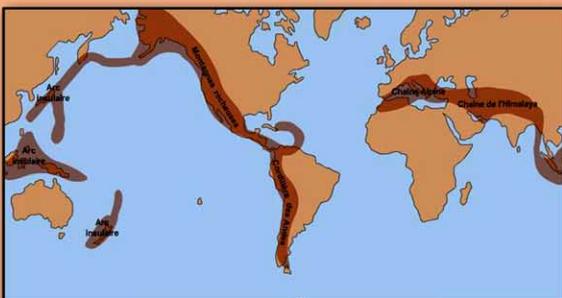
Répartition mondiale des volcans

- Volcanisme explosif andésitique
- Volcanisme effusif basaltique
- Volcanisme basaltique sous-marin



Photo Claude Antoine BECK

Volcans de la Cordillère des Andes



Grandes chaînes de montagnes

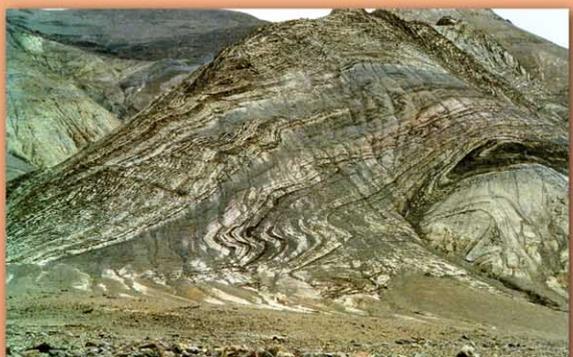
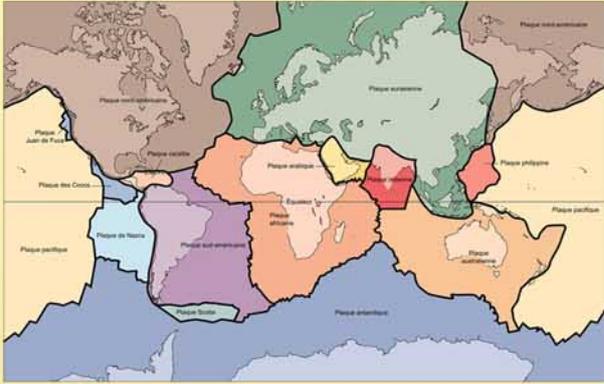


Photo C. Burg, 2002

Grands plissements en Himalaya

Tectonique des plaques

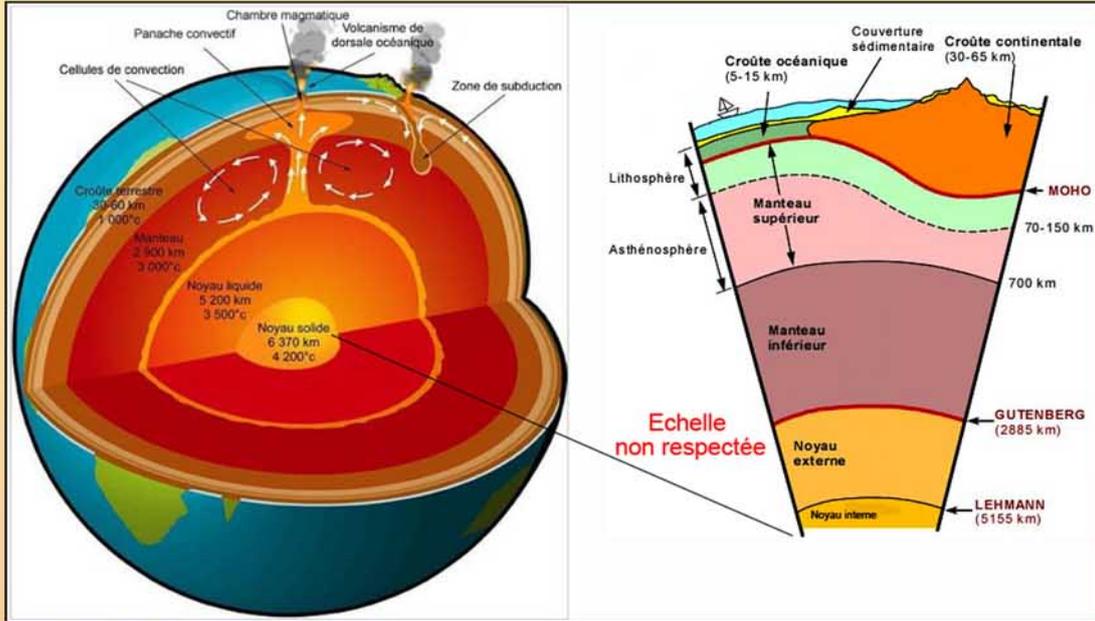


Source : wikipedia

La tectonique des plaques décrit l'ensemble des mouvements des plaques plus ou moins rigides qui constituent la lithosphère terrestre. 15 plaques majeures sont aujourd'hui reconnues et une quarantaine de plaques mineures.

Elle traduit en surface les mouvements de convection au sein du manteau terrestre. La vitesse du mouvement relatif des plaques est de quelques centimètres par an (0 à 10 cm).

Le « moteur » de la tectonique des plaques : les cellules de convection



Source www2.ggl.ulaval.ca pour la coupe à droite

La Terre est formée de plusieurs couches. De la surface vers le centre de la Terre, on distingue : la croûte, rigide ; le manteau (supérieur et inférieur), solide ; le noyau externe, liquide ; enfin le noyau interne ou graine, solide. Le manteau est animé de mouvements dits de convection. Ces mouvements sont liés à des différences de température au sein du manteau : les roches plus chaudes sont moins denses et remontent ; les roches plus froides descendent.

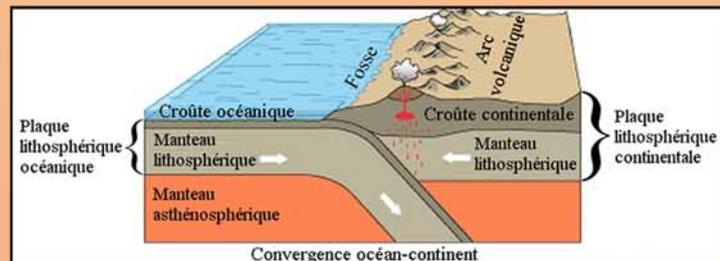
Les frontières des plaques : zones de subduction et zones d'accrétion

Dans les mouvements des plaques tectoniques, on peut observer deux zones principales de déformation :

Les zones de convergence ou zones de subduction.

Il y a subduction lorsqu'une plaque tectonique (le plus souvent océanique) plonge sous une plaque continentale. La croûte océanique plus dense alourdit la plaque océanique qui peut disparaître sous la plaque continentale.

Ces zones sont le siège de puissants séismes et d'un volcanisme, généralement explosif.



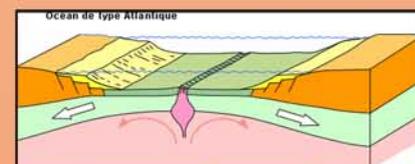
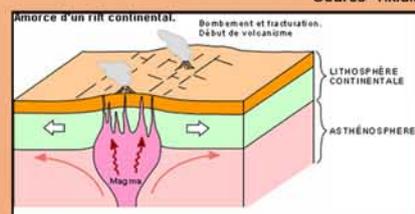
Source vikidia

Les zones de divergence ou zones d'accrétion

Il y a accrétion lorsque deux plaques s'éloignent l'une de l'autre.

C'est la zone d'expansion qui se situe au niveau des dorsales océaniques par renouvellement des apports volcaniques avec épanchement de laves en coussins (pillow-lavas).

Ce sont des zones de production de croûte océanique.



Source : www2.ggl.ulaval.ca

Séismes

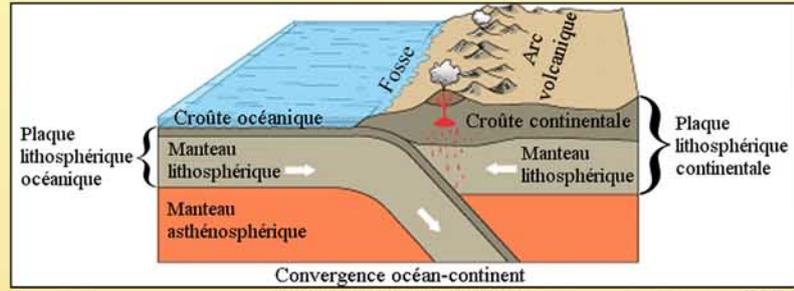
Un séisme ou tremblement de Terre est un ensemble de secousses et de déformations brusques de la croûte terrestre. Un séisme est produit par la libération brusque d'énergie accumulée par les déplacements des plaques tectoniques.

La croûte terrestre est la partie supérieure et solide des matériaux constituant la Terre.

On distingue :

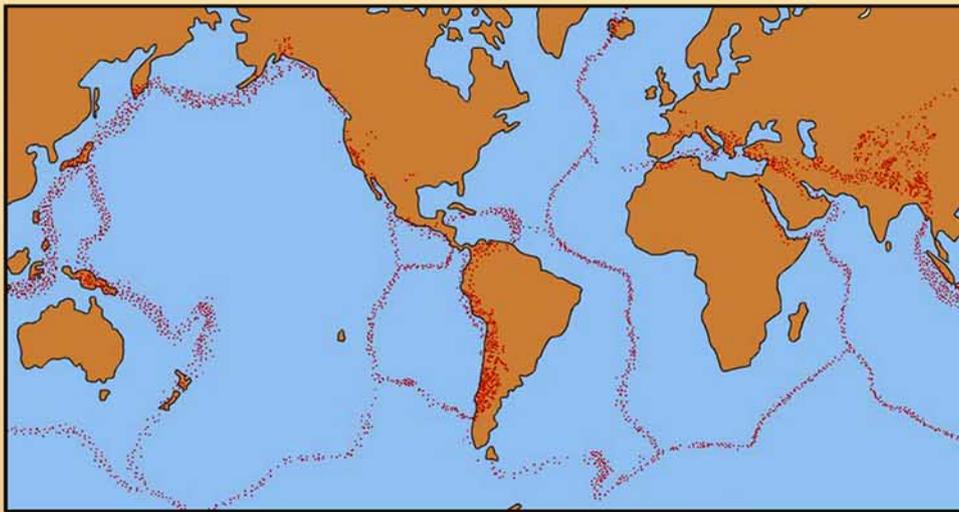
La **croûte continentale**, composée principalement de roches granitiques et sédimentaires. Son épaisseur varie de 15 à 70 km (croûte épaissie sous les montagnes).

La **croûte océanique** est principalement composée de roches basiques (basaltes, gabbros) et ultrabasiques (péridotites). Son épaisseur varie de 5 à 8 Km.



source : vikidia

Les séismes n'ont pas une répartition aléatoire à la surface de la planète. Ils se produisent surtout aux frontières des plaques lithosphériques.



Source : www.biologieenflash.net

Les ondes sismiques

La brusque rupture le long d'une faille ou d'un segment de faille provoque des vibrations qui se propagent de proche en proche à travers les roches : ce sont les ondes sismiques. Lorsqu'elles arrivent en surface, ces ondes font subir au sol un mouvement d'oscillation qui, selon son amplitude ou sa fréquence, pourra occasionner des dommages aux constructions.



Source : www.kanpai.fr/societe-japonaise/faire-cas-seisme



Source : BFMTV

Les ondes élastiques engendrées par un tremblement de terre s'observent facilement sur les enregistrements des sismographes.

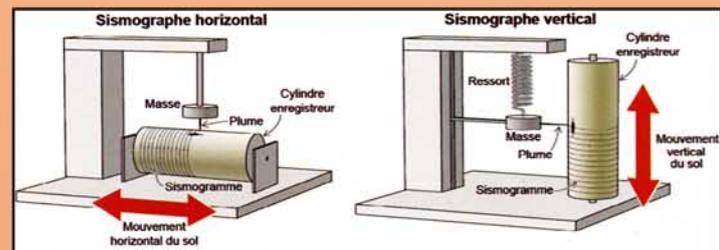


IGC/BBC



© Yuvanoé/CEA

Ancienne méthode de détection chez les chinois : un vase de bronze et ses 8 dragons et 8 crapauds



d'après De Wever, 2015

Schéma d'un sismographe moderne : enregistrement des mouvements horizontaux et des mouvements verticaux

- Cinquante ou soixante volcans sont en éruption chaque année à travers le monde. Plusieurs centaines de millions de personnes vivent près de volcans. Au XX^e siècle, 100 000 personnes ont été tuées par des éruptions volcaniques.

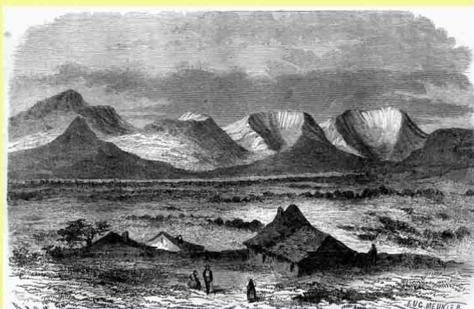
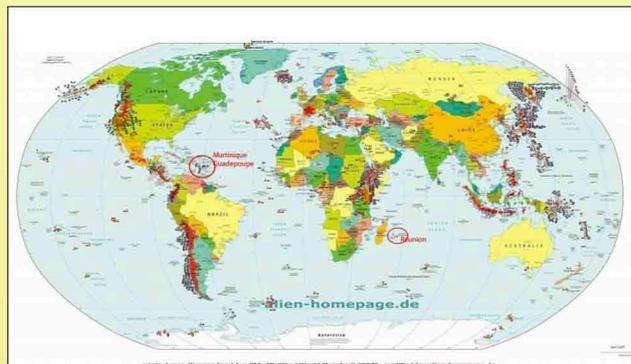


Fig 1. Volcans éteints formant la Chaîne des Puys, en Auvergne, in « La Terre avant le déluge » L.Figuier (1879).

Chaque type de volcan a un style d'activité éruptive caractéristique, résultant principalement de la viscosité de son magma. La viscosité de la lave est liée à sa composition en silice, ainsi qu'à la quantité de gaz dissous, principalement de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone. Plus un magma est chaud, moins il est visqueux. Les magmas les plus visqueux sont souvent les plus explosifs, à l'opposé, les magmas les moins visqueux ont tendance à former des coulées de lave fluide, « tranquilles ».



- Les volcans boucliers sont localisés au niveau de points chauds. Les éruptions se font aussi le long de fissures. Lors d'éruptions fissurales, grâce à l'importance des gaz, il y a formation de fontaines de lave qui peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres de haut, le long de fissures de plusieurs centaines de mètres (fig. 4).



Fig 4. Eruption fissurale sur le Mauna Loa à Hawaii (USA),.

- Lors de ce type d'éruption, en plus de coulées basaltiques fluides le long des flancs du volcan, il y a formation de dépôts constitués de cendres, de scories, de blocs et de bombes.
- On trouve souvent au sommet de ces volcans des calderas, liées à la vidange de chambres volcaniques superficielles et à l'effondrement du toit de l'édifice. L'île de la Réunion en est un excellent exemple: figure 5.



Fig 5. La cratère Dolomieu à l'intérieur de la grande caldera du Piton de la Fournaise, à la Réunion.

Les volcans boucliers, peu explosifs, sont rarement la cause de dégâts humains, seules les coulées sont dangereuses. Une fois l'éruption commencée, les coulées prennent une direction prévisible permettant d'évacuer rapidement les populations.

Volcans boucliers

Les volcans boucliers sont parmi les volcans les plus étendus.. Ils se sont construits lentement par l'accumulation de centaines de coulées de magmas fluides répandues sur de grandes distances et sur de faibles épaisseurs (fig. 2a et b). La fluidité des laves, majoritairement des basaltes pauvres en silice, donne un profil à l'édifice volcanique semblable à un bouclier de guerrier.

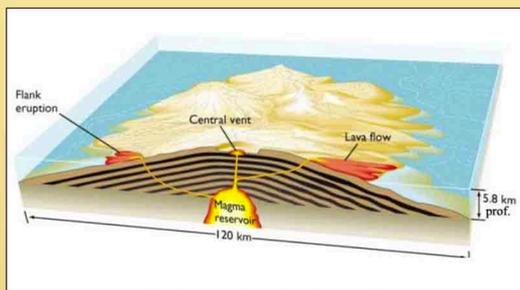


Fig 2a. Coupe type d'un volcan bouclier.

Fig 2b. Ci-dessous, Le Mauna Loa à Hawaii (USA),. Remarquer la très faible pente de l'édifice (5%).



Les volcans boucliers sont caractérisés en général par des éruptions non explosives, par la pauvreté en silice des laves (environ 50 %) et leur fluidité élevée.

Lors d'une éruption, la lave a tendance à s'écouler sur les flancs du volcan plutôt que d'exploser violemment dans l'atmosphère. Le plus important et le plus actif des volcans bouclier au monde est à Hawaii, il s'agit du Mauna Loa (fig. 2b).

Le basalte

Le **basalte** est composé de verre volcanique, de microlites de plagioclases calciques (en général du labrador), de minéraux ferromagnésiens, de pyroxènes (augite) et de phénocristaux d'olivine magnésienne, visibles à l'œil nu (fig. 3).



Fig 3. Deux lames minces de basalte, en lumière polarisée analysée à droite. Le fond noir isotrope est du verre basaltique. Deux générations de minéraux sont visibles :

- des phénocristaux, visibles à l'œil nu
- des microlites dans la pâte.

Les minéraux gris sont des plagioclases.

Les minéraux colorés sont des olivines et des pyroxènes, fortement magnésiens, et calciques pour certains pyroxènes.

Stratovolcans, ou volcans composites

- Les **stratovolcans** constituent le plus grand nombre de volcans isolés à la surface de la Terre (~60 %) et nombreux sont ceux caractérisés par des éruptions **andésitiques**, où la proportion de silice est relativement élevée, comprise entre 57 et 63 %. Ces laves sont moins chaudes et plus visqueuses que les basaltes. Cette viscosité élevée rend difficile le dégazage des laves et provoque des éruptions explosives. Les stratovolcans sont constitués, environ à parts égales, de coulées et de laves, et de dépôts de cendre (fig. 1).



Fig 1. Coupe type d'un stratovolcan.

L'édifice est constitué par un cône symétrique, constitué d'une alternance de coulées de lave, de dépôts de cendre, blocs et bombes. Quelques-unes des montagnes les plus « esthétiques » dans le monde sont des stratovolcans, comme le mont Fuji, au Japon (fig. 3).



Fig 3. Forme parfaitement symétrique d'un stratovolcan, le Mont Fuji, au Japon

L'andésite

L'andésite est une roche magmatique volcanique gris clair, caractéristique du volcanisme des zones de subduction et de convergence des plaques.

La roche est composée de cristaux visibles à l'œil nu (phénocristaux) de feldspath, appelés plagioclases, riches en calcium. Ils sont accompagnés de cristaux colorés de minéraux ferromagnésiens, comme le pyroxène, la hornblende et quelquefois la biotite. La pâte est vitreuse avec les mêmes minéraux en microlites (avec un plagioclase plus sodique) et de petites quantités de quartz (fig. 4a et 4b).

Comparaison avec les volcans boucliers

- La comparaison entre ce type de volcan et les volcans boucliers montre la différence de taille, les volcans boucliers étant beaucoup plus étendus que les stratovolcans, mais aussi de forme, avec une pente beaucoup plus importante de l'ordre de 30 % (fig. 2).

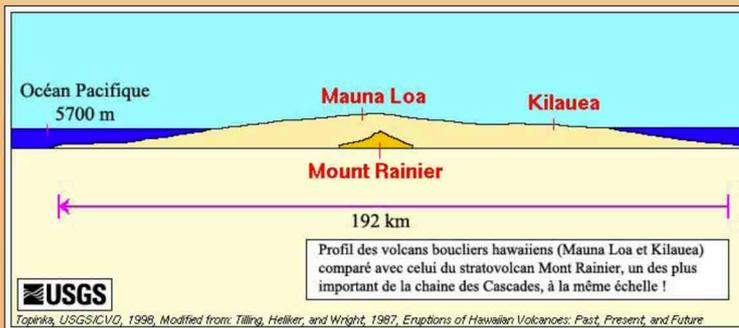


Fig 2. Comparaison entre les volcans boucliers et les volcans composites (stratovolcans). Mauna Loa vs. Mount Rainier.

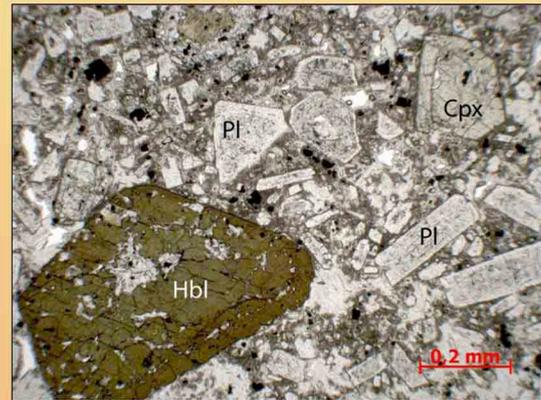


Fig 4a. Lame mince d'andésite en lumière polarisée non analysée (LPNA). Les feldspaths calco-sodiques ou plagioclases sont grisâtres: notés **Pl**. Dans le quart inférieur gauche, grosse hornblende, dite « basaltique », notée **Hbl**, de teinte naturelle vert-brun foncé. Dans le quart supérieur droit, cristal de pyroxène calcique noté **Cpx**.



Fig 4b. Même lame mince d'andésite, cette fois en lumière polarisée analysée (LPA). Les feldspaths calco-sodiques ou plagioclases, ressortent clairs sur le fond noir, en partie vitreux. Dans le quart supérieur droit, un cristal de pyroxène est coloré en jaune, tandis que la grosse hornblende, dite « basaltique » dans le quart inférieur gauche est en « extinction ».

Après les volcans boucliers et les volcans composites (stratovolcans), voici les volcans **dômes**, les **protusions** et les **cônes de cendre**.

On a ainsi, en fonction de la viscosité de la lave, des dômes surbaissés, des dômes-coulées, des dômes composites (fig. 4) ou encore des aiguilles de lave.

Dômes volcaniques et protrusions

- Ces édifices volcaniques sont caractérisés par un magma très visqueux, avec un pourcentage élevé de silice (> 60 %). Ces dômes apparaissent dans les cratères des volcans composites (fig. 1 et 2). Parmi les roches magmatiques les plus communes produites par ce type de volcan il y a la **rhyolite**. Pour les roches sans quartz, c'est la **phonolite** qui constitue la majorité des dômes.

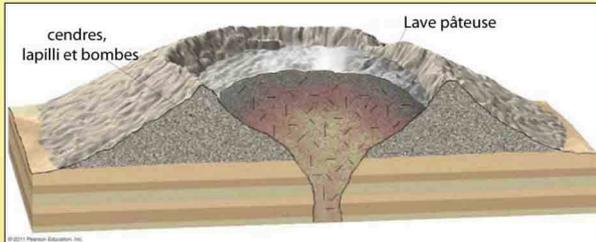


Fig 1. Une lave visqueuse, de relativement faible température, bloque le dégazage jusqu'à une déstabilisation d'un des flancs du dôme et provoque une éruption de type nuée ardente, avec des blasts latéraux, comme au Mont Ste Hélène en 1980.



Fig 2. Le dôme du volcan Ceboruco, à l'ouest du Mexique, mis en place lors de l'éruption de 1870 – 1875, n'est pour l'instant plus actif.

L'activité de ces volcans dômes est explosive, ce qui en fait des volcans très dangereux. Le magma sort sous la pression du gaz et ne s'épanche que très peu autour de la cheminée volcanique. Dans la chaîne des Puys, le Sarcoui est un excellent exemple de ce type de volcan, comme la fameuse aiguille de la montagne Pelée, en 1902 (fig. 3).

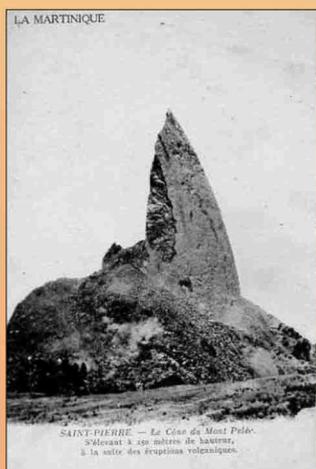


Fig 3. Aiguille de lave à la montagne Pelée, à la fin de l'éruption de 1902.

Les aiguilles sont une forme particulière de dôme. Sous la pression du gaz, la lave pâteuse sort comme du dentifrice par la cheminée volcanique, en prenant la forme de cette dernière. Le cas bien connu est l'aiguille de la montagne Pelée, à la fin de l'éruption de 1902, aiguille qui a mesuré jusqu'à 300 m de haut, malgré les différents effondrements (fig. 3).



Fig 4. Le Puy de Dôme est constitué en fait de deux dômes (dôme composite): le premier à droite et le second sur la gauche, sont de composition trachytique.

Les protrusions

Les **protrusions** sont des édifices volcaniques correspondant à une montée de lave très visqueuse, pratiquement solide ; il n'y a pas ou peu d'expansion latérale. La base est souvent masquée par les éboulis. En Auvergne, il y a le puy Chopine, et, dans le Velay, tous les **sucs phonolitiques**, comme le mont Gerbier de Jonc (fig. 5).



Fig 5. Protrusion phonolitique du Mont Gerbier de Jonc, où la Loire prend ses sources. Velay oriental, Ardèche.

Cône de scories

Les cônes de scories sont des volcans de taille modeste, formés de cendres volcaniques et de grosses particules, incluant des bombes volcaniques (fig. 7). Ils sont souvent créés en une seule éruption de type **strombolien** : 50 % des édifices stromboliens sont construits en moins de 30 jours.

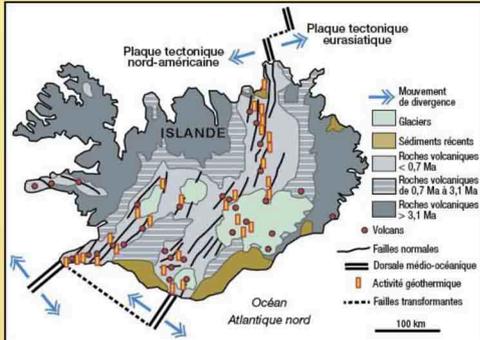
Essentiellement de composition **basaltique**, c'est le modèle type de volcan, avec coulées de lave et dépôts de fragments formant l'édifice. La coulée de lave peut être émise depuis le sommet, ou à la base de l'édifice (fig. 6).



Fig 6. Les Puys de la Vache et de Lassolas sont deux volcans monogéniques égeulés, de type strombolien. Chaîne des Puys, Puy de Dôme.

La géothermie, source d'énergie propre et renouvelable : Un exemple l'Islande

- Dans ce pays, les sources d'énergie issues de la chaleur interne de la terre ne manquent pas : volcanisme, sources d'eau chaude...



- Dans le sous-sol la température augmente avec la profondeur : c'est le gradient géothermique. Il est particulièrement élevé en Islande, où il dépasse 100°C par km. L'Islande se trouve à la rencontre entre des limites de plaques et des zones volcaniques et tectoniques très actives.

Les geysers

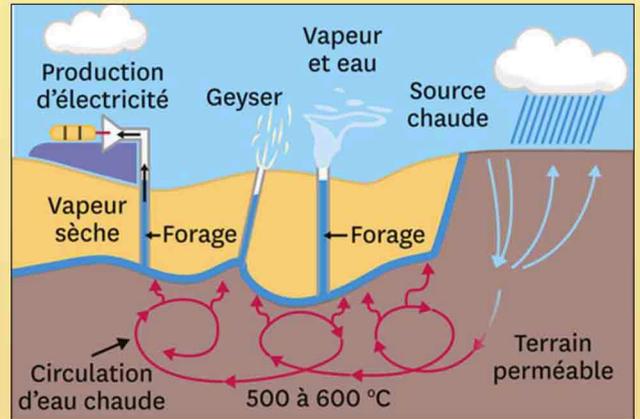
- La géothermie "naturelle" s'exprime par les **geysers**. C'est aussi plus de 600 sources chaudes situées dans l'ensemble de l'île, et de nombreux autres phénomènes paravolcaniques, tels que des fumerolles et des mares de boues.



Le geyser **Strokkur**: sa fameuse bulle bleue qui précède de quelques secondes le jet de 20 mètres. Clichés Daniel Levert

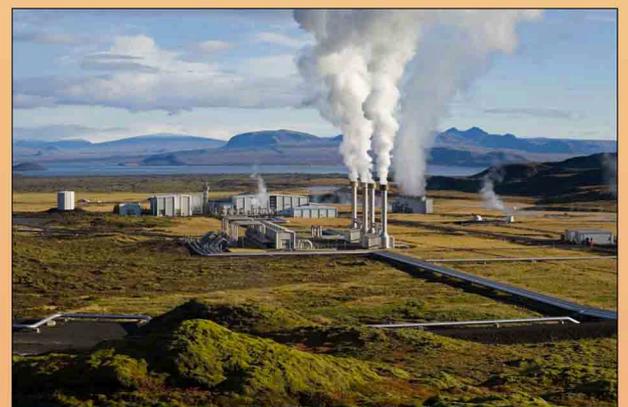


- Ces conditions exceptionnelles permettent à l'Islande d'utiliser toutes les ressources de la **géothermie à haute énergie**. Celle-ci permet d'atteindre des températures supérieures à 150 °C, grâce à des forages en profondeur, dépassant fréquemment 1 000 m.



L'apport simultané de chaleur et de vapeur pour l'électricité apporte de multiples solutions pour :

- Le réseau de distribution de chaleur à l'**habitat** (97% fourni par le chauffage urbain),
- l'**agriculture**, avec les serres et les bassins piscicoles
- l'**industrie**, avec la métallurgie de l'aluminium, les fermes de serveurs informatiques....



- En 2014, la production d'électricité des centrales géothermiques islandaises atteignait 5 238 Gwh, Malgré sa petite taille, l'Islande possède plusieurs des plus grandes centrales géothermiques au monde.