

LA PARTIE EXTERNE DE LA TERRE EST FORMÉE DE PLAQUES DONT LES MOUVEMENTS PERMANENTS TRANSFORMENT LA SURFACE DU GLOBE.

3 - La partie externe de la Terre est formée de plaques mobiles

4 - Les mouvements des plaques transforment la surface du globe.



富士山
甲列
大目峠

甲州犬目峠

甲州犬目峠 - Le col d'Inume dans la province de Kai.

Hokusai - 36 vues du mont Fuji, 1830

Un volcan de la Ceinture de Feu : le Krakatoa

Le volcan Krakatoa est situé dans un archipel qui est entre les îles de Sumatra et Java, en Indonésie. Il a été l'objet d'une éruption spectaculaire en 1883, qui a causé plus de 36 000 morts.

Dès le mois de mai 1883, des panaches de vapeur et de cendre, de plus en plus épais, sont observés au-dessus de l'archipel. Le bruit produit par l'éruption est audible jusqu'à Jakarta. Les bateaux qui continuent de naviguer dans le détroit de la Sonde, à proximité du volcan, peuvent rester dans l'ombre durant plusieurs heures. Le 26 août 1883 débute la phase la plus violente de l'éruption. Plusieurs explosions, audibles à des dizaines de kilomètres à la ronde, se produisent. Les cendres recouvrent la région jusqu'à 160 km du volcan, plongeant la région dans une nuit totale. Le 27 août, à 10h, le volcan explose, causant le bruit le plus fort jamais entendu par des humains: on l'entend à plus de 4000 km de distance. Dans la nuit et le jour qui suit, plusieurs tsunamis dévastent les régions alentour. Des vagues de plus de 40 mètres sont enregistrées à proximité de l'île, détruisant la ville de Merak et le grand port de Teluk Betung. L'activité du volcan se poursuit durant plusieurs mois. Il finit par s'arrêter en octobre et aucune nouvelle éruption ne se produit avant 1916.

Au pied du volcan, des pierres poncees et des cendres sont retrouvées en grande quantité. Le panache de cendres déversées dans l'atmosphère a conduit à une baisse de la température sur la Terre durant quelques années après l'éruption. Les couchers de soleil se sont, partout dans le monde, parés de teintes rougeoyantes à cause de la poussière volcanique en suspension dans l'air.

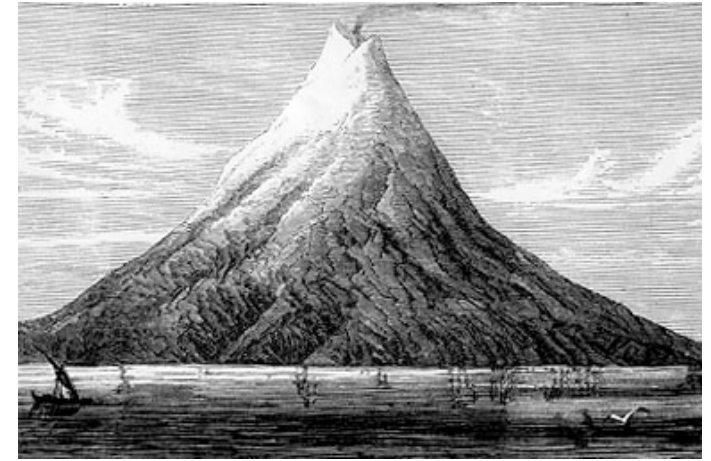
La fosse des Mariannes, le point le plus bas de la Terre.

La fosse des Mariannes, au sud-est du Japon, est l'endroit le plus profond de la Terre : son point le plus bas est situé à 11 000 m de profondeur. Cette **fosse océanique** a été découverte en 1875, lors de la première grande campagne océanographique mondiale, qui a été réalisée par une équipe de scientifiques à bord d'un navire britannique, le HMS Challenger. Le but de cette expédition était d'étudier les animaux vivants en pleine mer, ainsi que de comprendre la circulation des eaux dans les océans. Cette expédition permit également d'accumuler des données sur la composition de l'eau de mer, et de donner une idée plus précise des fonds sous-marins dont la profondeur fut mesurée à 492 endroits. C'est en l'honneur de cette exploration que le point océanique le plus profond, situé à l'extrémité sud de la Fosse des Mariannes, à une profondeur de 10 923 m, découvert en 1951, a été appelé Challenger Deep (deep signifie profondeur, en anglais).

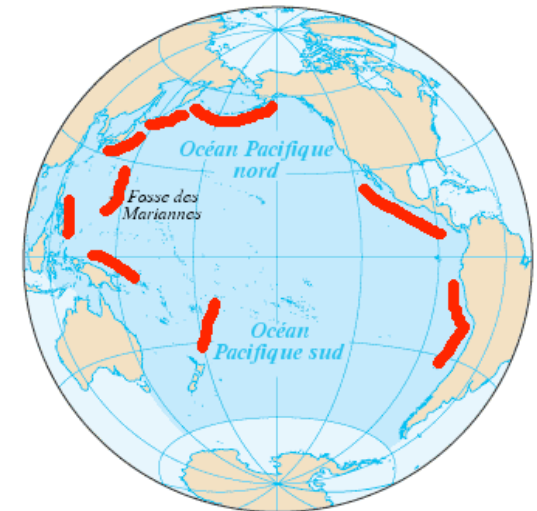
Le 23 janvier 1960, le Trieste, un sous-marin particulier, adapté aux énormes pressions des grandes profondeurs, nommé bathyscaphe, a permis à deux hommes, l'ingénieur J. Piccard et le Lt Don Walsh, de descendre sur le fond de la fosse des Mariannes, où règne une pression de 1156 hPa. Ils y ont découvert, contre toute attente, des animaux vivants. Depuis, l'exploration de ces grandes profondeurs est majoritairement accomplie par des robots pilotés depuis la surface.

Questions rapides: À partir des informations données par ce texte, donnez les caractéristiques de l'éruption du volcan Krakatoa. A quel type de volcanisme appartient-il ?

Où sont situées les fosses océaniques ? En comparant avec les cartes de la page précédente, pouvez-vous établir une corrélation entre l'emplacement des fosses sous-marines et la localisation des phénomènes géologiques ?



Aspect du volcan Krakatoa au début du XIXe siècle, avant son éruption dévastatrice.



Localisation des fosses océaniques (en rouge) dans le Pacifique.

Les séismes en bordure du Pacifique

La ceinture de Feu du Pacifique est une région où se produisent de nombreux séismes. Les zones densément habitées, comme le Japon, la côte ouest des États-Unis ou le Chili sont celles où les dégâts sont les plus importants. Depuis le début du XX^e siècle, plusieurs puissants séismes s'y sont produits. Le 11 mars 2011, un tremblement de terre de magnitude 9,0 sur l'échelle de Richter se produisit au large des côtes Nord-Est d'Honshu, l'île principale de l'archipel japonais. Ce séisme, suivi d'un tsunami dévastateur, a conduit au déplacement de l'île de 2,4 m, avec un déplacement maximal horizontal de 4 m et vertical de 70 cm par endroits.

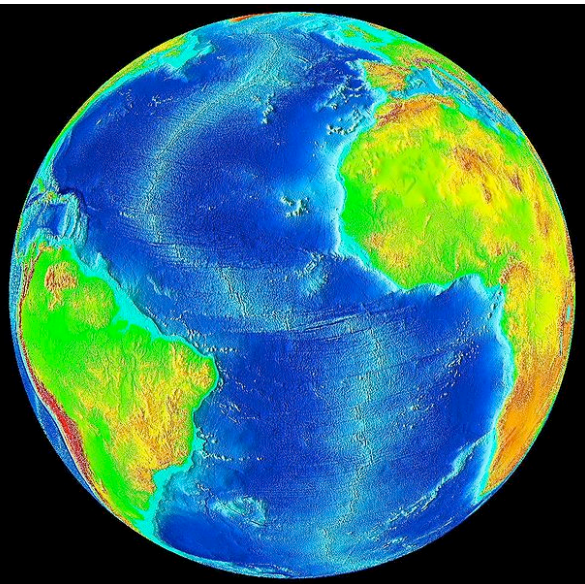
En 1995, le Japon avait connu un autre séisme important, dans la ville de Kobe. Le foyer du séisme se trouvant sous le port de Kobe, les dégâts avaient également été très importants.

La côte ouest des États-Unis est également une zone sismique densément peuplée. La **faille** de San Andreas, en Californie, est un ensemble de plusieurs petites failles qui s'étale sur 1 300 km et passe par Los Angeles et San Francisco. En 1906, un séisme sur cette faille a causé la mort de 3000 personnes et a rasé cette dernière ville. Plus récemment, en 1986, un séisme de magnitude 7,1 a tué 63 personnes et en a blessé 3757.

En quittant maintenant les rives du Pacifique, nous allons rencontrer un relief sous-marin qui est le lieu de fréquents séismes et d'un volcanisme intense, mais dont l'emplacement a retardé la découverte à la fin du 19^e siècle, et dont l'importance n'a été pleinement comprise qu'un siècle plus tard: les dorsales.

Des chaînes de montagnes sous-marines insoupçonnées: les dorsales

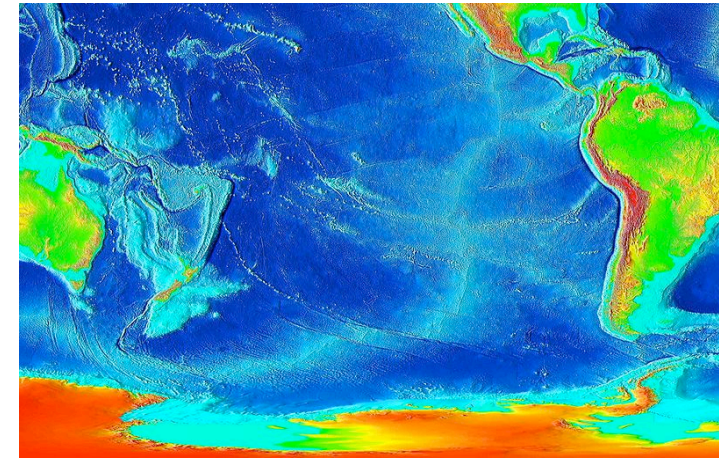
Au cours de son expédition de 1875, l'équipage du Challenger avait aussi découvert qu'il existait, au milieu de l'Atlantique, une chaîne de montagnes sous-marine. Après la Seconde Guerre mondiale, une équipe de scientifiques regroupant B. Heezen, M. Ewing (qui a mis au point la technique qui utilise des ondes sismiques pour explorer la composition des fonds marins) et M. Tharp, découvrit que ces montagnes étaient secouées par de fréquents séismes. Ewing et Heezen découvrirent aussi, en 1950, après avoir réalisé des mesures sous tous les océans du monde grâce à leur navire de recherche le Verna, que cette chaîne de montagnes se poursuivait sous tous les océans, formant un ensemble à peu près continu de 40000 km de long. Lorsque les sommets de ces montagnes, passées jusqu'alors inaperçues, dépassent de l'océan, ils forment des îles avec une activité volcanique effusive intense (Islande). Ces chaînes de montagnes ont été appelées, à cause de leur forme, des **dorsales**.



Ci-contre : sur cette reconstitution, la dorsale située au milieu de l'Atlantique montre bien qu'elle court d'un pôle à l'autre. Photo USGS.



Faille de San Andreas, dans la plaine de Carrizo, en Californie. Photo ?



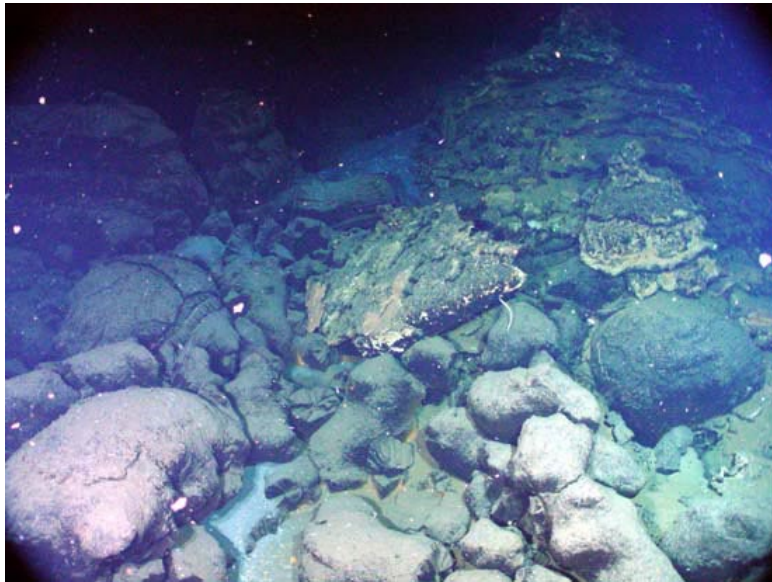
Sur cette reconstitution en fausses couleurs, la principale dorsale sous-marine du Pacifique apparaît sous la forme d'une longue ligne sinueuse bleu clair allant du sud de l'Australie jusqu'en Amérique centrale. Photo USGS.

La répartition des zones géologiquement actives de la Terre

Les zones géologiquement actives ne sont pas réparties au hasard sur Terre. Elles sont principalement localisées :

- au milieu de certains océans, comme l'Océan Atlantique ou l'Océan Indien (observable lorsque des îles sont situées sur le trajet de la dorsale, comme c'est le cas pour l'[Islande](#) ou la petite île de [Tristan da Cunha](#)).
- En bordure d'océan (surtout le Pacifique), au niveau de chaînes de montagnes (comme à l'ouest du continent américain, dans les Andes et les montagnes Rocheuses)
- dans certains archipels, comme le Japon ou les Antilles
- dans certaines chaînes de montagnes récentes, comme les Alpes ou l'Himalaya.

Ces zones géologiquement actives sont caractérisées à la fois par **des séismes**, d'intensité variable, et par du **volcanisme**, effusif ou explosif.

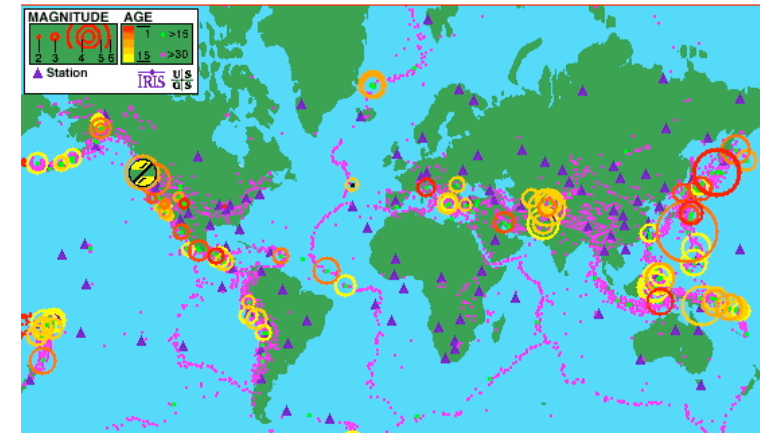


L'activité géologique au milieu des dorsales se caractérise par des séismes fréquents, mais de faible intensité, ainsi que par du volcanisme effusif. Sous l'eau, la pression empêche les gaz émis d'atteindre la surface, et l'écoulement de la lave se fait en formant des «tubes» semblables à des traversins, ou des «boules» qui ont valu à ces laves particulières le nom de laves «en coussin» (voir ci-contre, laves en coussin au niveau de l'axe d'une dorsale, photo NOAA).

En revanche, en bordure d'océan, que ce soit au niveau de chaînes de montagne ou d'archipels, les séismes sont plus violents et le volcanisme est explosif. Dans les chaînes de montagnes récentes, il y a rarement du volcanisme. Les séismes sont d'intensité plus

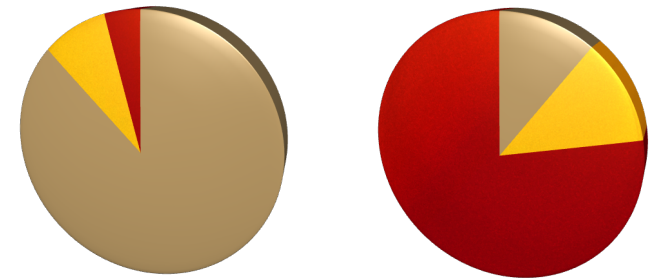
ou moins importante.

La répartition de ces zones géologiquement actives montre donc que **l'activité de la Terre est concentrée dans certaines régions particulières**. Le relief de ces régions est le témoin et la conséquence de l'activité géologique.



Localisation des séismes (points violets) et des éruptions volcaniques (cercles de diamètre croissant selon l'importance de l'éruption) entre 1994 et 1999. On constate facilement que séismes et volcanisme sont localisés au niveau des mêmes zones précises de la surface terrestre. D'après un schéma USGS (les triangles signalent l'emplacement des stations d'études sismiques).

● bordures océaniques ● isolés ● sous marins



Importance observée historiquement (à gauche) et **réelle** (à droite) **des différents sites de volcanisme**. Le volcanisme sous-marin est si discret qu'il a été très fortement négligé. Dans la réalité, ses éruptions «invisibles», au niveau des dorsales, sont responsables de la plus grande partie de la production de laves. Schéma RR d'après Simkin & Siebert, 1994.

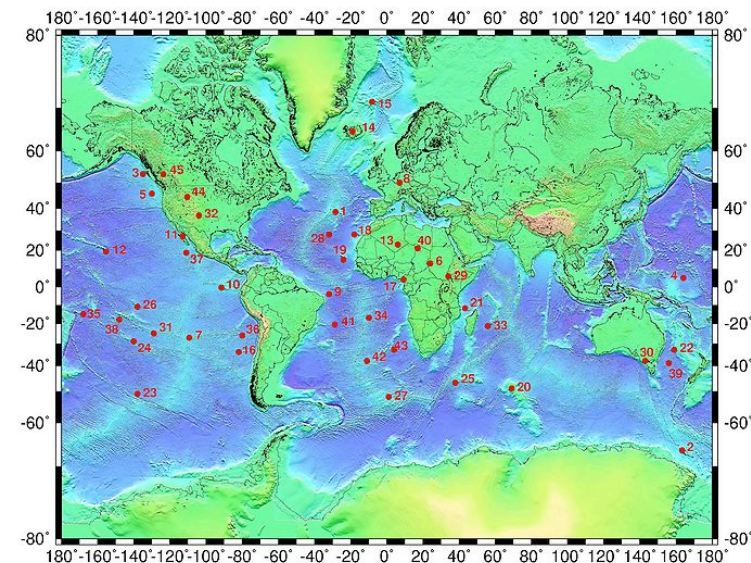
Quelques volcans actifs sont isolés

Certains volcans sont isolés des grandes régions géologiquement actives. Ces volcans sont appelés volcans de **points chauds**, ils sont créés par la remontée d'un panache de matériel chaud provenant de zones très profondes de la Terre et remontant jusqu'à la surface, où il provoque un volcanisme de type effusif.

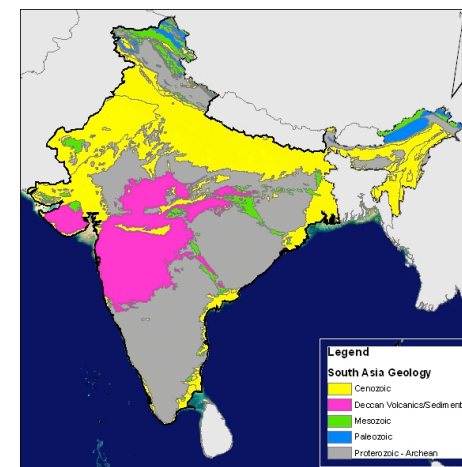
Lorsque ces volcans sont sous-marins, ils peuvent parfois dépasser la surface de l'eau et former des îles volcaniques comme Hawaï, la Réunion, l'île Maurice, les Maldives, les Açores, les Galapagos. Ces chapelets d'îles sont formés de l'accumulation de matériaux volcaniques sur les fonds océaniques. La quantité de lave émise peut être colossale: les îles d'Hawaï contiennent le volcan Mauna Loa, qui atteint 4170 m d'altitude au dessus du niveau de la mer, mais qui se prolonge sous l'océan Pacifique sur 5000 m. Si l'on tient compte de la déformation qu'il fait subir aux fonds marins à cause de son poids, ce volcan représente une masse de lave constituant une montagne qui s'élève de 17 km au-dessus de sa base... Un de ces volcans de point chaud se situe en France, sur l'île de la Réunion; c'est le Piton de la Fournaise, qui culmine à 2700 m d'altitude et est très actif.



Les volcans terrestres peuvent aussi libérer une immense quantité de lave pendant très longtemps. Les trapps du Deccan (*photo ci-contre, la disposition en «marches d'escalier» - «trapps» en Suédois - des coulées de lave est bien visible. D'après photo Wikimedia/ Kppethe*), en Inde, sont un exemple d'immense accumulation (jusqu'à 2400 m d'épaisseur) de roches volcaniques provenant d'éruptions qui se sont succédé pendant un ou plusieurs millions d'années (il y a 65 millions d'années environ), et qui s'étendent sur 500 000 km². Le fonctionnement de ce point chaud a libéré dans l'atmosphère des quantités gigantesques de gaz et de poussières, modifiant très certainement le climat mondial, participant ainsi à la disparition d'un grand nombre d'espèces comme les dinosaures.



Emplacement des «points chauds», à l'origine de volcans effusifs isolés. [Carte Wikimedia/Smithsonian.](#)



Localisation des Trapps du Deccan, indiqués en rose sur cette carte. *Doc. Wikimedia.*

Ci-contre: tableau récapitulatif des reliefs associés aux séismes et au volcanisme.

Relief	Séismes	Volcanisme
Dorsales	fréquents, mais de faible intensité	effusif, sous-marin le plus souvent, avec formation de laves en coussin.
Archipels, bordures d'océans	nombreux et parfois très violents	explosif, chaînes de volcans.
Chaînes de montagnes récentes	intensité variable	rare
Volcans isolés	faible	effusif, avec émission d'énormes volumes de laves.

La répartition des séismes et des manifestations volcaniques permet de définir une douzaine de plaques

La répartition des séismes et des volcans découpe la Terre en différentes régions de taille variable, les **plaques tectoniques**. Ces plaques, nous le verrons plus en détail au prochain chapitre, ne sont pas des conventions, mais de réels morceaux de surface terrestre: la partie rigide de la planète Terre n'est donc **pas formée d'un seul tenant, mais est cassée en plusieurs morceaux jointifs, les plaques**. Certaines de ces plaques sont uniquement océaniques, comme la Plaque Pacifique et la Plaque nazca. D'autres sont uniquement continentales, bien que ce soit beaucoup plus rare: la plaque turque et la plaque iranienne sont des deux seules plaques qui possèdent cette caractéristique. Enfin, la plupart possèdent une partie océanique et une partie continentale.

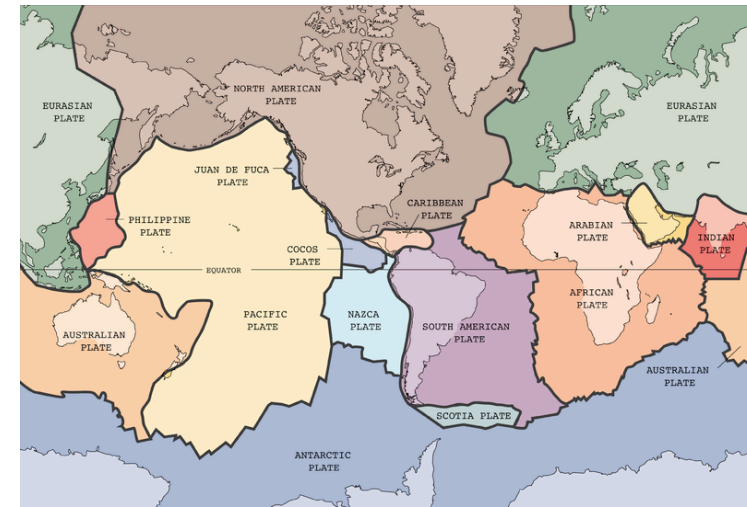
Les limites entre ces plaques peuvent être très claires, comme dans le cas des dorsales océaniques ou des fosses. Elles sont parfois plus complexes, quand la frontière correspond à une zone montagneuse.

Les plaques rigides de la lithosphère reposent sur l'asthénosphère, moins rigide.

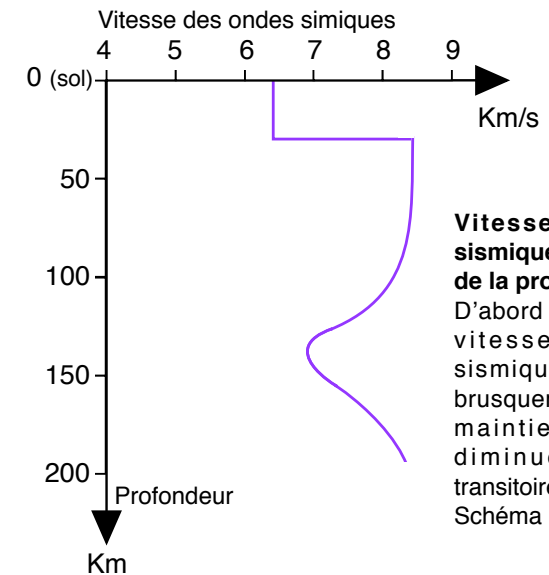
L'étude des séismes et de la manière dont les ondes qu'ils créent se propagent a permis de comprendre la structure des plaques tectoniques. On peut en effet calculer la vitesse à laquelle les ondes sismiques se déplacent à l'intérieur du globe terrestre, et en déduire des informations sur sa composition: lorsque la roche change de composition ou d'état physique, la vitesse des ondes sismiques change aussi.

Ce type de recherches a été entrepris dès le début du XXe siècle. En 1909, Andrija Mohorovičić met en évidence que la vitesse des ondes sismiques augmente brutalement à environ 35 km de profondeur. Cette discontinuité est appelée, d'après son découvreur, discontinuité de Mohorovičić, ou Moho. Elle correspond à la frontière entre deux zones qui ne sont pas faites des mêmes roches.

Plus profondément (en moyenne) entre 100 et 200 km, la vitesse des ondes diminue : cette région est appelée «zone à faible vitesse». La discontinuité est moins flagrante que celle du Moho, mais elle ne correspond pas à un changement de composition des roches, mais à un changement d'état: **la roche devient déformable**, elle n'est plus rigide. Attention toutefois: elle ne fond pas! **Contrairement à une image répandue, les plaques ne flottent pas sur du magma!** En effet, plus on s'enfonce dans la Terre, plus la température augmente. Comme la pression est aussi de plus en plus importante, les roches qui composent la Terre restent solides. Au niveau de la zone à faible vitesse, cependant, l'augmentation de la pression est insuffisante pour compenser l'augmentation de la température, et la roche, toujours solide, est un petit peu plus déformable, plus fluide, ce qui suffit à modifier la vitesse des ondes sismiques.



Les principales plaques tectoniques de la Terre. La surface solide de la Terre est brisée en une douzaine de plaques de taille variable. Attention: sur ce type de cartes, l'importance des plaques antarctique, nord-américaine et eurasiennne est fortement exagérée. Doc. USGS.



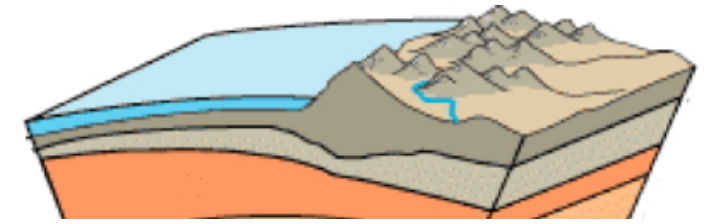
Les plaques n'ont pas la même structure sous les océans et sous les continents

La partie de la Terre située au-dessus de la zone à faible vitesse est appelée **lithosphère**, du grec *lithos*, qui signifie roche. Elle est en effet composée de diverses roches, parmi lesquelles on retrouve des roches sédimentaires, comme le calcaire, des basaltes d'origine volcanique, et du granite. Toutes ces roches se comportent comme des blocs solides, plus ou moins cassants si ils sont soumis à des forces intenses.

La profondeur de la zone à faible vitesse varie en fonction des régions de la Terre. Au niveau des dorsales océaniques, elle n'est qu'à une vingtaine de kilomètres. Sous les océans, elle se situe à une profondeur de quelques kilomètres à une centaine de kilomètres, tandis que sous les continents, elle peut atteindre 200 km, voire plus sous les chaînes de montagnes. Cela signifie que la lithosphère, bien que toujours très mince par rapport aux dimensions de la Terre (12700 km de diamètre) **n'a pas partout la même épaisseur**: on peut distinguer une lithosphère océanique, épaisse de quelques dizaines de km, et une lithosphère «continentale», bien plus épaisse.

La partie située en dessous de la zone à faible vitesse est appelée **asthénosphère**, du grec *asthenos* signifiant faible. Cette couche est composée d'un seul type de roche et est capable de «fluer»: sous l'influence de forces énormes, elle ne va pas casser, mais va se déformer, va «s'écouler» très lentement (à des vitesses de l'ordre du cm/an) dans des directions privilégiées.

C'est la lithosphère qui compose les plaques qui découpent la surface de la Terre en une douzaine de morceaux inégaux. Dans l'asthénosphère, ce découpage de surface n'est pas retrouvé. **Les plaques, ces gigantesques morceaux de lithosphère, flottent donc sur l'asthénosphère** (comme la lithosphère est moins dense que l'asthénosphère, ils flottent *vraiment*, comme un bouchon de liège flotte sur l'eau).



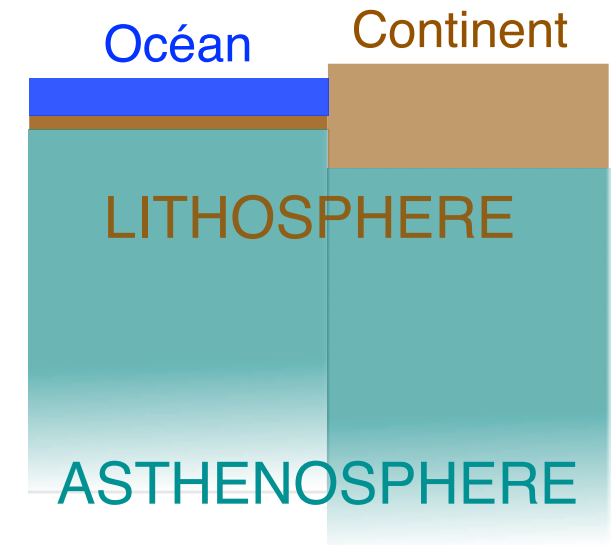
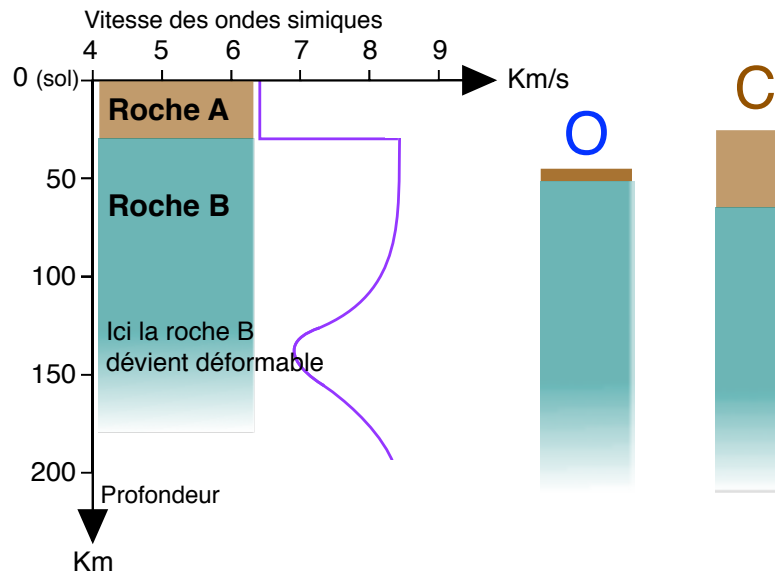
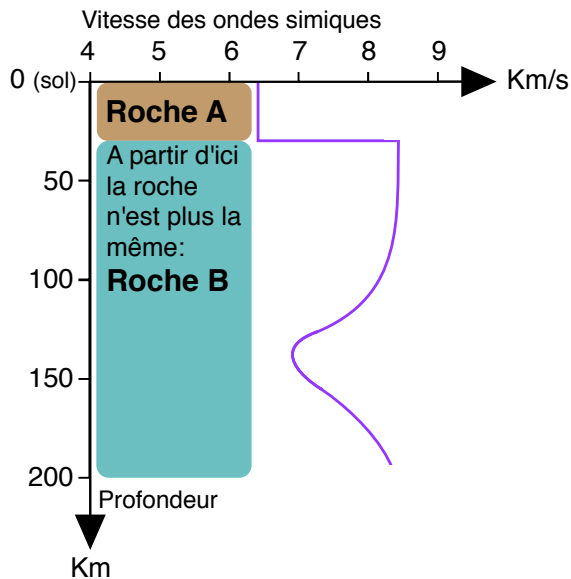
Structure de la partie supérieure de la Terre

Les deux couches de la lithosphère sont représentées en marron, l'asthénosphère en orange. Remarquez la différence d'épaisseur entre la lithosphère «océanique», fine, et celle des continents, plus épaisse.

D'après un schéma USGS.

Comment on construit une représentation de la lithosphère

en partant des données de vitesse des ondes sismiques (de gauche à droite): on commence par représenter le changement de nature des roches trahi par la brusque augmentation de vitesse des ondes, puis on représente la région où la roche B devient déformable, correspondant à une baisse de vitesse des ondes. Cette zone est la frontière entre lithosphère et asthénosphère. On tient ensuite compte des différences d'épaisseurs de ces couches de roches entre zones océaniques (O) et continentales (C) pour enfin aboutir au modèle représenté ci-dessous. Schémas RR.



Questions rapides: Comment se répartissent les séismes et les volcans? Quelles sont les particularités des volcans de point chaud ? Où sont situées les dorsales ? Quelles sont les différences entre lithosphère et asthénosphère ? Qu'est-ce que la ceinture de Feu ? Où sont situées les fosses océaniques ? Quelle est la structure d'une plaque tectonique ?

Mini Glossaire

Asthénosphère : Couche profonde de la Terre où les roches ont un comportement ductile: elles peuvent s'y déformer, sous une forte pression, à des vitesses de l'ordre du cm/an.

Basalte : roche volcanique de couleur sombre, issue d'un magma refroidi rapidement.

Bathyscaphe : Sous marin adapté à la plongée à très grande profondeur.

Dorsale : Chaines de montagnes sous marine, caractérisée par une forme arrondie et la présence, dans l'axe de la dorsale, d'un intense volcanisme effusif.

Ductile : qui peut être étiré sans se casser, se dit de ce qui est malléable (comme de la pâte à modeler).

Effusif : magma très fluide, qui coule comme un liquide.

Faïlle : plan séparant deux blocs rocheux qui glissent l'un par rapport à l'autre. C'est là que se produisent les séismes.

Fosse océanique : dépression sous-marine profonde, longue et étroite

Granite : roche de couleur claire, composée de minéraux de grande taille formant des grains

HMS : Her Majesty Ship; navire de la marine britannique.

Laves en coussin : Laves émises par des volcans sous-marins, et qui prennent une forme de «boules» ou de cylindres à cause de la pression de l'eau.

Lithosphère : Couche supérieure de la Terre, rigide et cassante, formée de roches accessibles en surface.

Ondes sismiques : ondes créées par les séismes, mais aussi les chocs et les explosions, qui se propagent dans les roches

Paré : décoré

Propager: se déplacer de façon régulière, de proche en proche.

Péridotite : roche verdâtre qui devient ductile à la limite lithosphère/asthénosphère.

Plaque tectonique : morceaux de lithosphère formant toute la partie externe de la Terre.

Point chaud : endroit à la surface de la Terre, à l'intérieur ou à la frontière d'une plaque géologique, possédant une activité volcanique régulière.

Relief: les formes que peut prendre la surface de la Terre.

Trapps : Accumulations de coulées de laves en quantité très importante, se superposant sur plusieurs dizaines de m dans les paysages et formant des falaises de basalte en «marches d'escalier», ce qui leur a donné leur nom (trapp = escalier, en Suédois et Hollandais)

Tsunami : immense vague provoquée par le mouvement rapide d'un grand volume d'eau, ce mouvement étant souvent déclenché par un séisme sous-marin (Sendaï, 2011), mais pouvant aussi provenir de l'explosion d'un volcan (Krakatoa, 1883).

Pendant le cours... Questions d'élève:

Si la lithosphère flotte, elle peut couler ?

Pas tant qu'elle est moins dense que l'asthénosphère. Nous verrons par la suite qu'il existe certains endroits où la lithosphère «coule», en effet, mais à une vitesse très lente.

Qu'est ce qu'il y a entre les plaques ?

Rien. Les plaques sont jointives, accolées les unes aux autres. Dans certaines régions, vous pouvez passer d'une plaque à l'autre sans vous en apercevoir, surtout si vous ne faites pas attention au relief.

De quoi s'est fait l'asthénosphère ? Et la lithosphère ?

La lithosphère est faite de roche que vous connaissez: le basalte, le granite, et souvent des roches sédimentaires comme le calcaire, qui recouvrent tout cela. En profondeur, la lithosphère est constituée d'une roche appelée péridotite, qui constitue aussi l'asthénosphère.

J'ai un livre sur les volcans, il montre que les plaques elles flottent sur du magma rouge...

C'est une erreur que l'on rencontre souvent: pour représenter le fait que l'intérieur de la terre est chaud, on le colorie souvent, sur les schémas, en orange ou en rouge, et vous pensez ainsi logiquement, mais à tort, que c'est du magma: l'intérieur de la Terre est bien essentiellement solide, bien que déformable, et les plaques ne flottent pas sur du magma rougeoyant, mais sur l'asthénosphère, solide mais ductile, qui est chaude, mais ne fond pas. Répétons-le : le seul endroit où l'on trouve du magma, c'est sous les volcans!

Les plaques, elles bougent, non ?

Ca se pourrait... il est temps de commencer le chapitre 4!

À RETENIR: les séismes et les volcans dessinent sur le globe les limites de grandes régions où les séismes sont rares (mais où peuvent exister quelques volcans isolés). Ces régions sont des plaques tectoniques, car la surface de la Terre n'est pas d'un seul tenant, mais cassée en une douzaine de morceaux. L'étude de la structure de ces plaques permet de faire la différence entre la lithosphère, couche de roches solide de quelques dizaines de km d'épaisseur qui constitue les plaques, et l'asthénosphère, zone plus profonde où la roche est déformable, bien que solide.

4 - Les mouvements des plaques transforment la surface du globe

Les plaques et leurs mouvements: petite histoire d'une révolution scientifique

À peine plus d'un siècle après la découverte de l'Amérique, les cartographes européens purent réaliser des cartes relativement fidèles de certaines parties des côtes de ce continent. L'un des plus fameux d'entre eux, A. Ortelius, remarqua alors, en 1596, que les côtes de l'ouest de l'Afrique et de l'est de l'Amérique du Sud semblaient s'emboîter. 24 ans plus tard, le philosophe F Bacon remarqua aussi cette correspondance géographique difficilement explicable, qui devint de plus en plus évidente au fur et à mesure que les cartes se firent plus étendues et plus précises.

En 1668, F. Placet proposa que le «morceau» manquant entre Afrique et Amérique se soit brutalement effondré dans l'océan. L'idée d'une brusque catastrophe dans le passé a duré longtemps, mais en 1857, H. Owen proposa une théorie qui faisait appel à un mouvement lent, progressif, mais «incroyable»: d'après lui, la chaleur interne de la Terre la faisait gonfler comme un soufflé, et les continents se cassaient et s'écartaient au fur et à mesure que la Terre gonflait... Cette idée élégante (mais fautive) n'eut pas de succès, et en 1858, A. Snider Pellegrini invoquait toujours une catastrophe ayant rapidement séparé le continent américain de l'Afrique et de l'Europe.

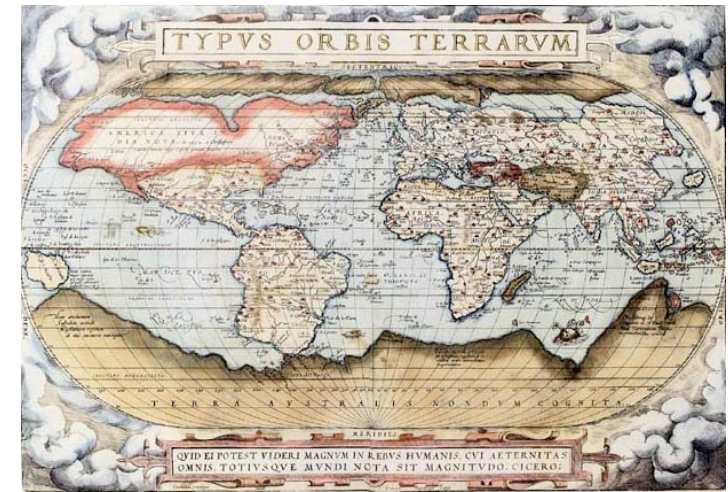
C'est Georges Darwin qui imagina, en 1879, la plus grande catastrophe: il supposa que dans le passé la Lune ait été arrachée de la Terre, laissant un «trou», le Pacifique, vers lequel les continents auraient alors glissé en se fracturant; Europe, Afrique et Asie partant d'un côté et l'Amérique de l'autre... En 1895, le géologue E. Suess démontra que l'on trouvait les mêmes fougères fossiles, à la même époque, en Afrique, Amérique du Sud et Inde, et l'expliqua par la présence, dans le passé, de «ponts» rocheux entre ces continents, qui se seraient enfoncés sous les océans. Cette idée de «ponts» disparus est alors acceptée par la majorité des géologues de l'époque.

Toutefois, l'exploration des fonds océaniques et les découvertes des sciences physiques vont contredire chacune de ces théories, qui répandent pourtant l'idée de mouvements, de glissements des masses continentales.

Deux scientifiques vont, chacun de leur côté, reprendre ces idées pour proposer au début du 20e siècle deux modèles voisins qui, bien qu'inexactes, vont permettre d'avancer et de poser de bonnes questions.

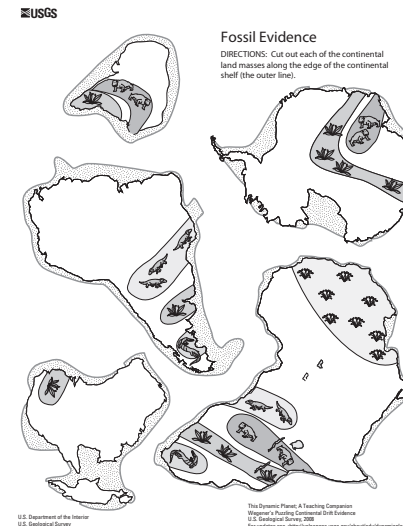
- En 1910, F.B. Taylor propose que l'Atlantique se soit formé par la dérive lente du continent américain, qui se serait peu à peu séparé de l'Europe et de l'Afrique en raclant les fonds marins, ce qui aurait formé un «bourrelet» sur sa côte ouest: les Andes et les Rocheuses.
- En 1912, Alfred Wegener, astronome et météorologue, propose lui aussi que les continents aient lentement «dérivés» sur les fonds océaniques, qu'il imagine constitués de roches déformables. Wegener est le premier à s'appuyer sur une masse d'observations géographiques, géologiques (roches et minerais identiques en Amérique du Sud et Afrique, par exemple), climatologiques et paléontologiques (mêmes fossiles présents aux mêmes époques).

Malheureusement, bien que ses observations aient été pertinentes, Wegener n'a pas été capable de découvrir l'origine des forces capables de mettre les continents en mouvements. Sa théorie a donc été massivement rejetée par une grande partie de la communauté des géologues. Mais elle allait bientôt se voir complétée et étendue bien au-delà des idées de son concepteur...



Carte du monde d'A. Ortelius (1596)

Même avec les erreurs et les imprécisions de l'époque, la correspondance des côtes entre Afrique et Amérique du Sud (ci-contre) surprend le géographe, qui propose que l'Amérique ait été «arrachée de l'Europe et de l'Afrique... par des tremblements de Terre et des inondations». Doc. Wikimedia/ RR.



Faites-le-vous même :

Comme Wegener (portrait ci-dessus, vers 1925), essayez d'assembler les continents en vous basant sur leurs formes ainsi que sur les fossiles que l'on peut y trouver.

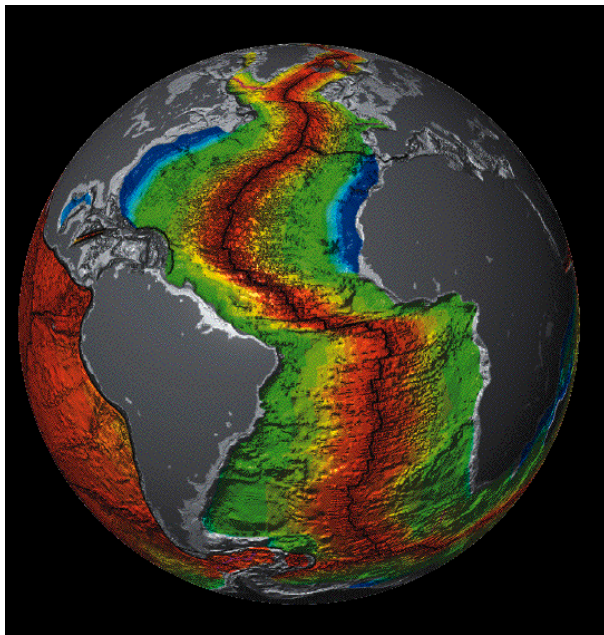
[Feuille à télécharger, imprimer et découper ici.](#)

Instructions et [légende traduite en français ici.](#)

Document USGS / traduction RR.

Ce que disent les fonds océaniques

C'est le géologue A. Holmes qui, en 1930, découvre un «moteur» éventuel pour le mouvement des continents: il montre qu'il est possible qu'il **existe dans l'asthénosphère des courants, très lents**, dont il pense qu'ils sont capables d'entraîner et de déplacer des derniers. Mais démontrer l'existence de ces courants n'est pas possible à l'époque, et il va falloir attendre la seconde partie du XXe siècle pour voir se développer les idées de Wegener. En effet, après la Seconde Guerre mondiale, des motivations militaires conduisent au développement de nombreuses techniques permettant une meilleure connaissance des fonds sous-marins. C'est d'ailleurs un marin, le capitaine (et géologue) H.H. Hess, qui a été un des premiers à utiliser un sonar pendant la guerre, qui va démontrer en 1960 l'existence de courants dans l'asthénosphère. Hess propose que les continents ne «dérivernt» pas en labourant le fond de l'océan, mais soient portés par **le fond rigide de l'océan qui, lui, se déplacerait à la manière d'un «tapis roulant»**, comme le propose, à l'époque, le géologue R Dietz !

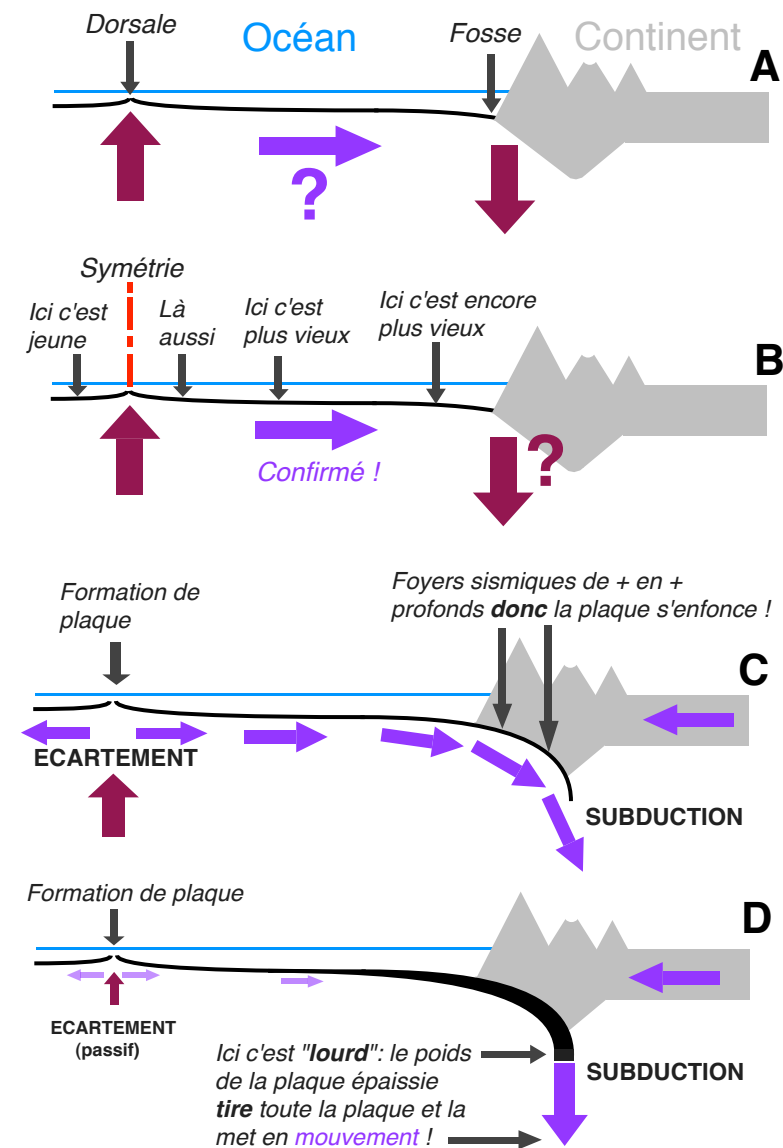


Plusieurs géologues, spécialistes des fonds marins, vont alors en dix ans seulement accumuler assez de découvertes pour confirmer les idées de Hess. Ils découvrent ainsi que **les fonds sous-marins ne sont pas du même âge partout** : au cœur des océans, les fonds océaniques sont beaucoup plus récents que sur les bordures des continents. Il existe même des régions dans les océans, au niveau des dorsales, où les fonds océaniques sont actuels !

Carte ci contre: âge des fonds océaniques de l'atlantique. L'âge va croissant du noir (actuel) au bleu (180 millions d'années): on trouve des terrains dont l'âge se distribue de façon symétrique par rapport à la dorsale, et qui sont d'autant plus vieux qu'ils sont éloignés de cette dernière. D'après un [document USGS](#)).

Tout se passe donc comme si **le fond des océans se formait de façon continue au niveau des dorsales, s'en écartant progressivement...** Cette idée qui paraissait incroyable en 1960 se retrouve pleinement confirmée dès 1970 par plusieurs découvertes réalisées au fond des océans.

Mais si de la lithosphère se forme au niveau des dorsales, il faut bien qu'elle disparaisse à un autre endroit (sinon la Terre gonflerait, ce qui n'a pas été constaté). C'est alors que de nombreux géologues repensent aux découvertes réalisées par le géologue japonais K. Wadachi en 1935: il avait montré qu'au voisinage des îles du Japon, **les foyers de séismes devenaient de plus en plus profonds**. En 1949, le géologue H. Benioff montre que cette disposition particulière se retrouve **au voisinage de toutes les fosses océaniques**. Ce phénomène étrange trouve alors une explication formulée en 1967 par J. Oliver et B. Isacks: les foyers des séismes qui s'enfoncent de plus en plus profondément au voisinage des fosses océaniques signalent **l'enfouissement de la lithosphère océanique qui, à ce niveau, «coule» dans l'asthénosphère**. Par la suite, il apparaît qu'en **s'enfonçant dans l'asthénosphère, la plaque «plongeante» entraîne avec elle tout le reste de la plaque** à laquelle elle appartient, la mettant ainsi en mouvement.



Élaboration progressive du modèle de la tectonique des plaques. En 1960, Hess découvre des courants ascendants et descendants dans l'asthénosphère, et suppose les fonds océaniques mobiles (A). Entre 1960 et 1970, l'étude des fonds océaniques montre leur symétrie par rapport aux dorsales et une répartition de leur âge qui s'explique si ces derniers sont bien mobiles, se formant à la dorsale (B). Les découvertes de Wadachi et Benioff sont expliquées si l'on suppose que la plaque «océanique» finit par s'enfoncer profondément, coulant lentement dans l'asthénosphère, par un phénomène de subduction (C). Ce mouvement a été identifié depuis comme étant le véritable «moteur» du mouvement des plaques (D). Doc RR.

L'ensemble de ces découvertes (formation de lithosphère au niveau des dorsales, enfouissement au niveau des fosses) débouche sur une théorie globale, la **tectonique des plaques**: les plaques de lithosphère sont mobiles les unes par rapport aux autres. Elles sont entraînées principalement par **le poids des plaques plongeantes** dans l'asthénosphère. **Les continents, qui font partie des plaques, suivent le mouvement.** Toutefois, et contrairement au fond des océans, ils ne peuvent pas facilement «couler» dans l'asthénosphère, car ils sont plus «légers» que le basalte qui compose la lithosphère «océanique». Dans l'histoire de la Terre, [les continents ont donc connu des positions diverses](#), se rassemblant, s'entrechoquant et se séparant plusieurs fois.

L'utilisation du GPS, système de positionnement mondial, a permis 1995 de valider la théorie de la tectonique des plaques grâce à des mesures très précises du déplacement depuis des plaques. On a ainsi pu calculer la vitesse et la direction des plaques. Examinons plus en détail ces mouvements des plaques et leurs conséquences.

Les plaques se forment au niveau des dorsales

Les dorsales forment une chaîne continue sur tous les océans, longue de 60 000 km. Elles sont généralement hautes de 2 à 3 km, mais, étant situées à environ 6 km de profondeur, elles n'apparaissent pas à la surface des océans, si ce n'est sous la forme de quelques îles volcaniques. Une seule exception de taille: l'**Islande**. Que nous apprend t'elle ?

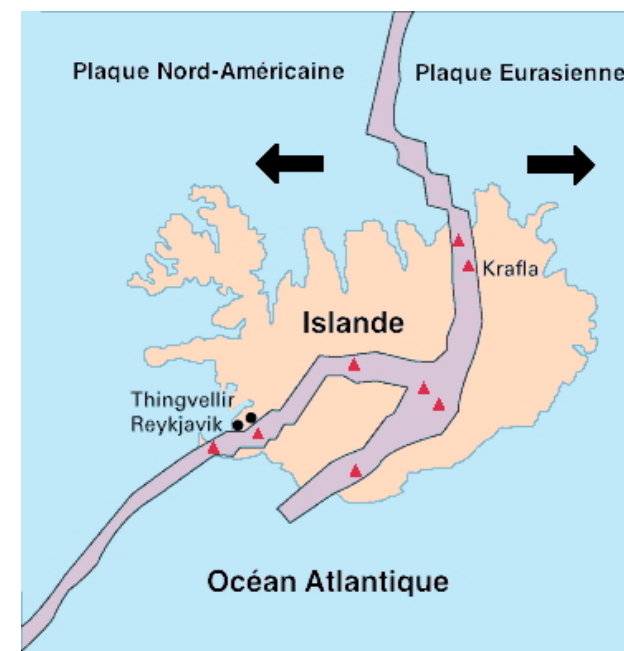
L'Islande est une île volcanique qui possède de nombreux gisements de **basalte**, roche de couleur sombre dont nous avons vu qu'elle provient du refroidissement de magmas fluides. L'île a un relief tourmenté, avec de nombreuses vallées escarpées qui suivent un axe nord-est/sud-ouest. **Les séismes y sont très fréquents, mais de faible magnitude**; les manifestations du volcanisme (une éruption tous les 3 ans en moyenne) omniprésentes (**éruptions, geysers, sources chaudes...**). Dans l'axe de la Dorsale qui correspond au tiers de la surface de l'île, on trouve des zones, de 5 à 10 km de large, avec de **nombreuses failles** de 30 à 100 km de long **dont les bords s'écartent, en moyenne, d'un cm par an.** On trouve également des volcans libérant des laves fluides en grande quantité, dont le refroidissement conduit à des basaltes. Les roches formées à ce niveau sont **les mêmes que celles qui forment le fond des océans.**

C'est donc au niveau du cœur de la dorsale que **se crée la lithosphère océanique.** En s'éloignant, les deux plaques permettent la remontée de l'asthénosphère, ce qui conduit à la formation de poches de magma sous la dorsale. Le magma, en arrivant en surface, se solidifie et crée la lithosphère océanique. Par conséquent, **plus on s'éloigne de la dorsale, plus la lithosphère océanique est vieille.** Elle se recouvre petit à petit de sédiments marins, qui peuvent atteindre des épaisseurs de plusieurs kilomètres.

Une remontée de l'asthénosphère vers la surface peut se produire au niveau d'un continent dont les bords sont étirés: **le continent va alors de fracturer en deux, et un océan va se former entre les deux blocs qui vont dériver** et se séparer de plus en plus au fur et à mesure que de la lithosphère océanique supplémentaire se formera. C'est ainsi que se sont séparés, il y a 200 millions d'années, l'Amérique du Sud et l'Afrique. Les différents stades de ce processus peuvent être, de nos jours, observés à divers endroits de la Terre.

Plaque	Vitesse (Cm/an)	Direction
Pacifique	10	Nord-Ouest
Eurasie	1	vers l'Est
Afrique	2	Nord
Antarctique	Tourne sur elle-même	
Inde-Australie	7	Nord
Amérique du Nord	1	Ouest
Amérique du Sud	1	Nord
Nazca	7	Est
Philippine	8	Ouest
Arabie	3	Nord-Est
Coco	5	Nord-Est
Caraïbes	1	Nord-Est

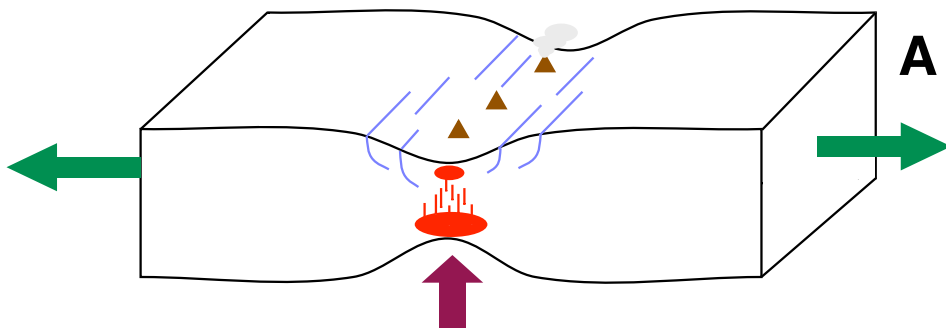
Vitesse et direction du mouvement des plaques, mesurées par GPS. Doc. CB.



Situation de l'Islande. L'île est «coupée en deux» par la dorsale (en violet), et se retrouve partagée entre deux plaques tectoniques en cours d'écartement. Cet écartement progressif s'accompagne d'un volcanisme effusif intense, dont les principaux sites sont indiqués (triangles rouges). Doc RR d'après une source USGS.

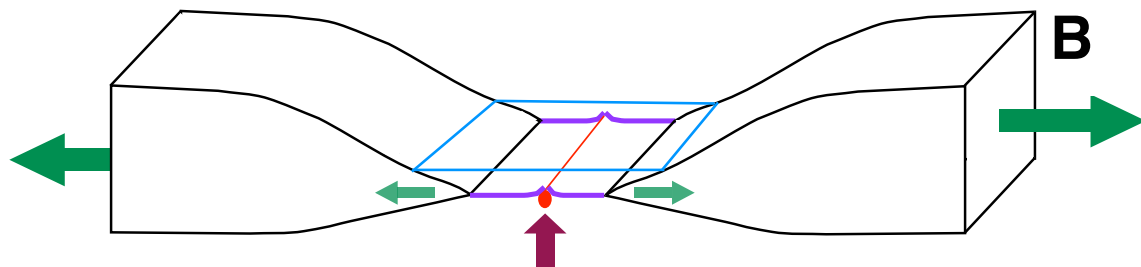
Ouverture d'un océan:

Ci-dessous (A) est illustrée la situation d'un continent qui, soumis à des forces qui l'étirent (en vert) et à un courant «chaud» ascendant venant de l'Asthénosphère, s'amincit en même temps que se forme dans l'axe de cet amincissement du magma (en rouge) à l'origine d'un volcanisme intense (triangles).

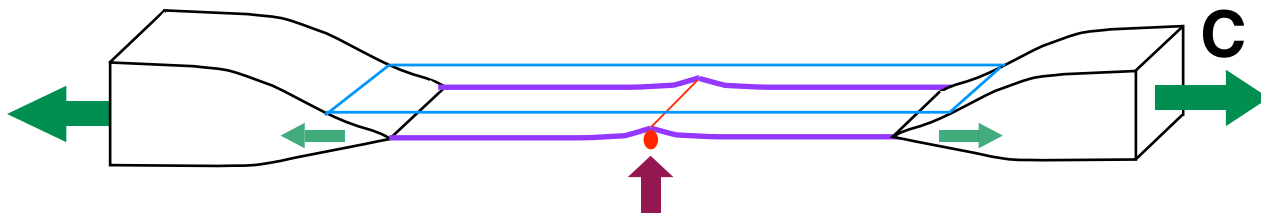


L'étirement du continent aboutit à la formation de nombreuses failles (en violet) orientées dans l'axe de l'amincissement. Cette situation, qui a été, dans un lointain passé, celle de l'Afrique et de l'Amérique du Sud, est aujourd'hui observable dans l'est de l'Afrique.

Le schéma suivant (B) décrit la situation quelques millions d'années plus tard: les deux morceaux du continent primordial se sont séparés, et entre eux s'est formé (et se forme toujours, au niveau d'une dorsale centrale - en rouge) de la lithosphère «océanique» (en violet).



Enfin, des dizaines de millions d'années plus tard, la formation continue de lithosphère «océanique» au niveau de la dorsale a nettement séparé les deux continents anciennement reliés, séparés à présent par un grand océan. C'est la situation actuelle de l'Amérique du Sud et de l'Afrique, séparées par l'Atlantique. Schémas RR.



Failles présentes dans le parc National de Thingvellir. Ces failles sont un axe nord-est/Sud-Ouest, et soulignent ici la séparation entre les plaques nord-américaines et Eurasienne: à gauche, la partie la plus escarpée signale le début de la plaque américaine, alors qu'à droite nous sommes sur la plaque eurasiennne. La route se situe au niveau d'un futur océan, le fossé où elle est située s'élargissant en moyenne d'un centimètre par an.

Photo Oddur Sigurdsson / [USGS](https://www.usgs.gov/)

Là où les plaques s'affrontent: l'exemple des Îles Kouriles

Les îles Kouriles sont un archipel d'îles volcaniques, situées à l'est de la Russie, au nord de l'archipel japonais (voir carte). Ces îles font partie de la Ceinture de Feu du Pacifique, que nous avons découverte au chapitre 3. Plus de cent volcans, dont quarante actifs, y sont présents. Ce volcanisme est de type explosif (ci-contre: Éruption du volcan Sarychev, sur l'île Matua, faisant partie de l'archipel des îles Kouriles, le 12 juin 2009. Cette observation a été réalisée «vue de dessus» par les astronautes de la station spatiale internationale. [Film du survol](#) . Image NASA).



Ce volcanisme est de type explosif (ci-contre: Éruption du volcan Sarychev, sur l'île Matua, faisant partie de l'archipel des îles Kouriles, le 12 juin 2009. Cette observation a été réalisée «vue de dessus» par les astronautes de la station spatiale internationale. [Film du survol](#) . Image NASA).

Les informations sur la composition des magmas produits ainsi que des tests en laboratoire permettent de déterminer que les magmas pâteux émis sont liés à la présence d'eau (dans la composition chimique des roches, il ne s'agit pas de «lacs» d'eau pure) à très grande profondeur. Il va falloir trouver l'origine de cette eau pour expliquer pourquoi le volcanisme explosif est lié aux zones proches des fosses océaniques...

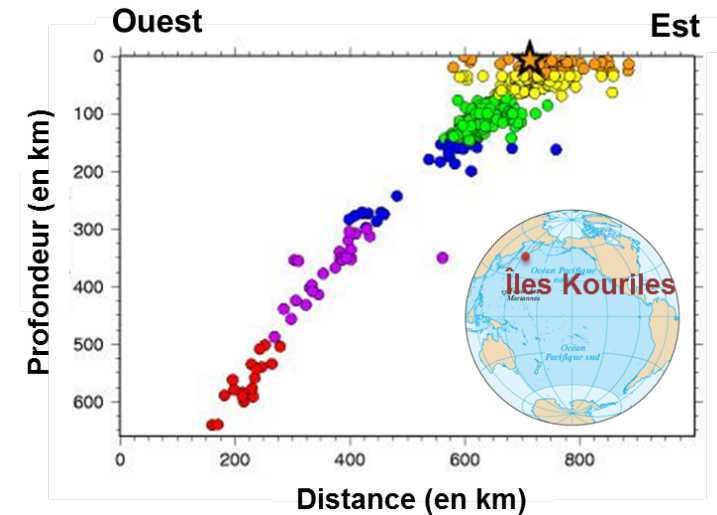
Comme dans toute la cette région, les séismes sont fréquents aux Kouriles: c'est même un des endroits les plus sismiques du monde (un tremblement de terre de magnitude > 5 tous les deux mois en moyenne). La profondeur des foyers

des séismes, en fonction d'un plan Nord Ouest-Sud Est, est présentée sur le document de droite. On y constate que les foyers des séismes suivent un plan incliné de l'est vers l'ouest, jusqu'à plus de 600 km de profondeur. Comme les séismes sont provoqués par la cassure de roches «solides», cela signifie qu'il y a à cet endroit une couche de roche solide, inclinée, dans l'asthénosphère (la lithosphère ayant moins de 100 km d'épaisseur...). D'où viens cette roche solide, et pourquoi casse t'elle si fréquemment ? Les géologues ont **interprété** ces observations en faisant l'**hypothèse** qu'une plaque tectonique lithosphérique, rigide, est en train de «couler» lentement dans l'asthénosphère. Les frottements qu'elle subit de fait de son enfouissement (à des vitesses de l'ordre du cm/an) provoquent les cassures à l'origine des séismes détectés. Ce **modèle** de «plaque plongeante», a été amplement **confirmé** par d'autres observations, et permet d'expliquer, comme nous allons le voir, de nombreux phénomènes.

Questions rapides: Identifiez sur la photo du Sarychev en éruption les cendres volcaniques et la nuée ardente. De quel type d'éruption s'agit-il ? Ce genre d'éruption est-il fréquent dans la zone où l'on trouve ce volcan ? Quel phénomène cause la répartition particulière des foyers des séismes dans cette région ?



Les îles Kouriles. Le volcan Sarychev (voir texte) est indiqué par la flèche rouge ; le trait jaune signale la ligne où l'on a mesuré régulièrement la profondeur du foyer des séismes, ce qui a permis de créer la «coupe» suivante, allant jusqu'à 700 km de profondeur. Doc. CB.



Les foyers des séismes plongent profondément dans l'asthénosphère. Profondeurs des séismes en fonction de leur localisation suivant un axe NO-SE, dans l'archipel des îles Kouriles. Les foyers se répartissent sur une ligne plongeant profondément dans l'asthénosphère (voir texte). Doc. CB.

Les plaques se rapprochent et s'enfouissent au niveau des fosses océaniques.

Les plaques lithosphériques se sont formées, et se forment toujours, au niveau des dorsales. Les plaques s'écartent de par et d'autre d'une dorsale, qui constitue donc une **frontière divergente** pour les deux plaques. Il existe également des **frontières convergentes**, où les plaques se rapprochent. Ces frontières sont des zones de **subduction**. A ce niveau, une plaque «coule» dans l'asthénosphère, plongeant sous une autre à la vitesse de quelques cm par an.

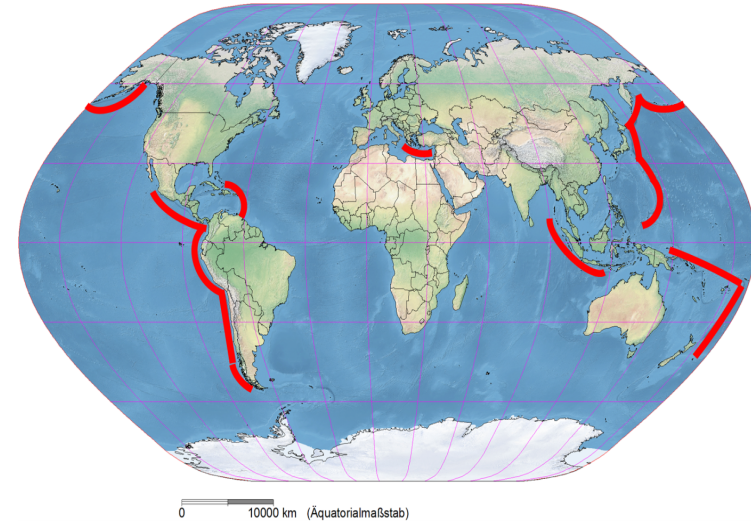
Mais comment une plaque de lithosphère peut-elle «couler» dans l'asthénosphère ? Pour les continents, la réponse est facile: constitués de roches moins denses que l'asthénosphère, ils ne «coulent» pas facilement, car leur densité ne change pas (ou peu) avec le temps.

Par contre, la lithosphère océanique, en vieillissant, **devient de plus en plus dense**. Deux effets contribuent à l'augmentation de sa densité. D'une part, la plaque lithosphérique, chaude lorsqu'elle est créée, se refroidit petit à petit, ce qui augmente sa densité. D'autre part, elle se recouvre de sédiments marins dont le poids a tendance à «l'enfoncer» davantage. Le poids de la plaque plongeante est tel **qu'elle entraîne avec elle tout le reste de la plaque lithosphérique**, dont les éventuels continents qui en font partie: **c'est la subduction qui met les plaques en mouvement !**

Lorsque deux plaques lithosphériques s'affrontent, la plus dense s'enfonce dans l'asthénosphère, passant ainsi sous la moins dense. Lorsque la rencontre a lieu entre deux plaques lithosphériques océaniques, c'est la plus dense, souvent la plus vieille, qui plonge en premier. Les plaques continentales étant plus légères que les plaques océaniques, ce sont toujours ces dernières qui disparaissent dans l'asthénosphère alors que les continents surnagent, se déplaçant, portées par leurs plaques, depuis l'époque de la formation de la Terre.

Le **modèle** de la plaque lithosphérique plongeante dans l'asthénosphère au niveau d'une zone de subduction a été **confirmé** par de nombreuses **observations et expériences**. Il **correspond donc bien à la réalité**. En effet, la présence des zones de subduction permet d'expliquer:

- la **formation et l'emplacement des fosses océaniques**, étroites et profondes, à l'endroit où une plaque commence à s'enfoncer sous une autre .
- les **séismes fréquents** aux foyers de plus en plus profonds, la plaque plongeante frottant en s'enfonçant contre celle qui subsiste. Ces frottements génèrent des séismes, dont les foyers se répartissent selon un plan incliné.
- la présence de chaînes de **volcans explosifs**, car lorsque la plaque plongeante s'enfonce, l'eau des océans qui l'a imbibée pendant des millions d'années s'échappe et, en remontant, provoque localement la fusion de la plaque du dessus. Il se forme ainsi un magma qui est à l'origine du volcanisme explosif caractéristique de ces zones.
- l'origine des **chaînes de montagnes bordant les zones de subduction**: les plaques qui se rencontrent se déforment (voir page suivante): la plongeante s'enfonce, celle qui surnage est «emboutie», se déforme, se casse, se tord localement et se «ride»: c'est ainsi que se forment les chaînes de montagnes comme les rocheuses ou les Andes.



Localisation des zones de subduction dans le monde. Elles occupent principalement les rivages du Pacifique, mais on en trouve aussi au niveau des caraïbes, de l'Indonésie et en Méditerranée. Doc . CB.

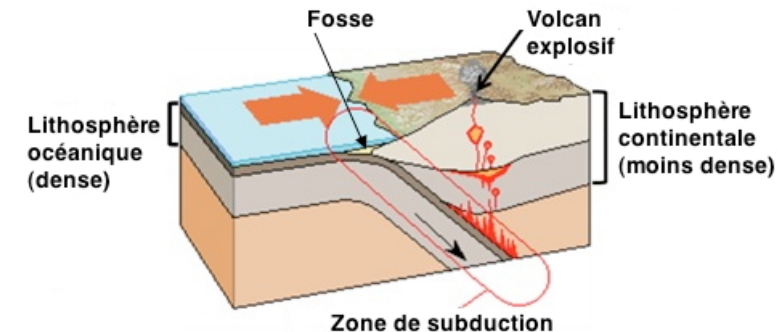


Schéma d'une zone de subduction. La plongée de la plaque océanique provoque la formation d'une fosse, le déclenchement de séismes et la formation d'un magma pâteux à l'origine d'un volcanisme explosif. Schéma USGS, annotations CB.

Subduction et collision des continents déforment la lithosphère, ce qui crée les chaînes de montagnes.

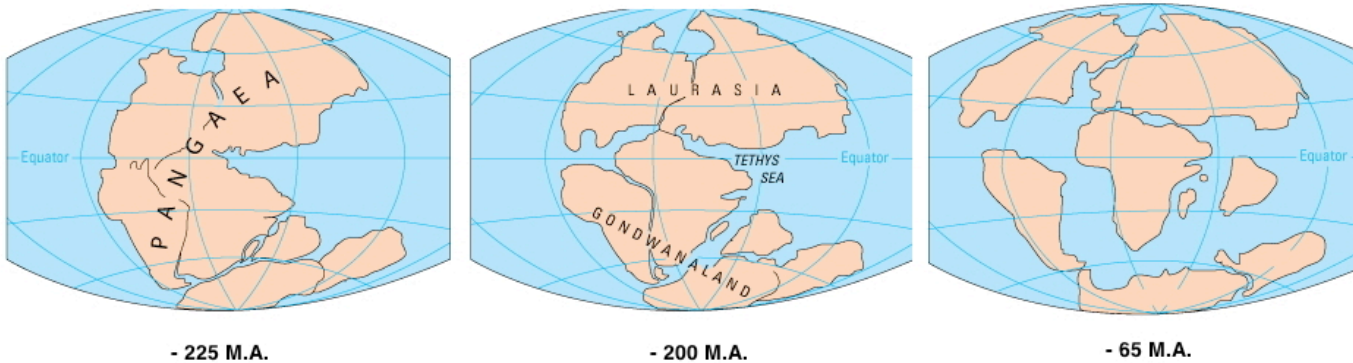
Une montagne est un relief élevé à la surface de la Terre, un ensemble de montagnes formant une chaîne. La cause principale de la formation de chaînes de montagnes est la **collision** de deux plaques continentales.

En effet, la densité de la lithosphère continentale est trop faible pour lui permettre de s'enfoncer dans l'asthénosphère. Par conséquent, lorsque la subduction conduit deux lithosphères continentales à entrer en collision (voir schéma ci-contre), aucune d'entre elles ne disparaît. **Elles s'empilent l'une sur l'autre** et forment une chaîne de montagnes.

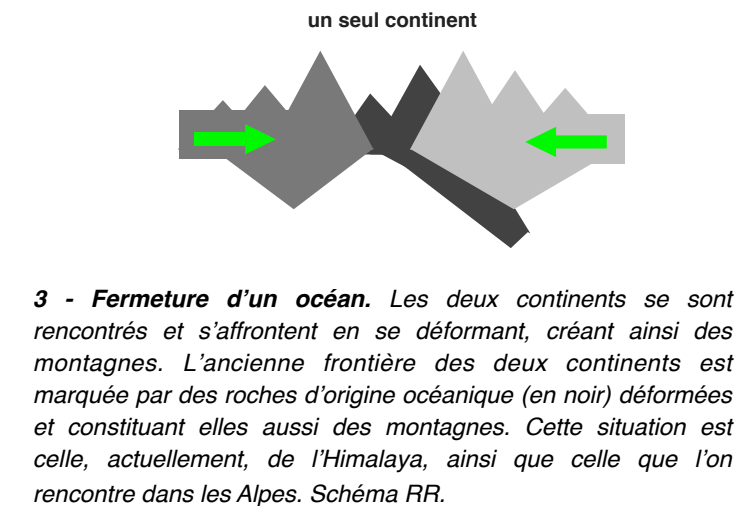
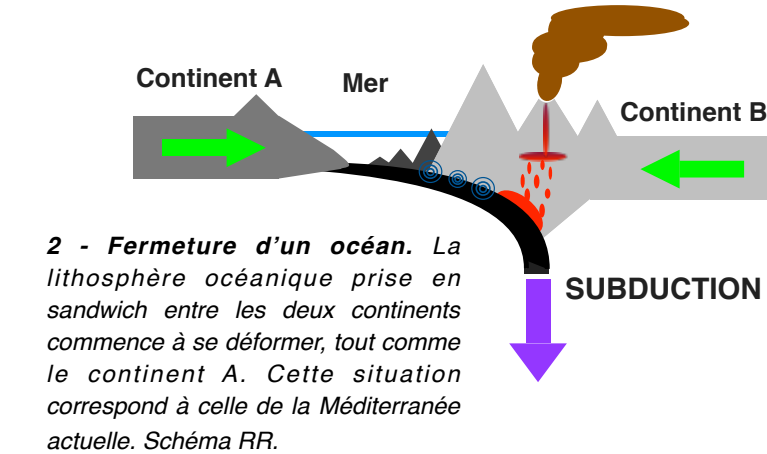
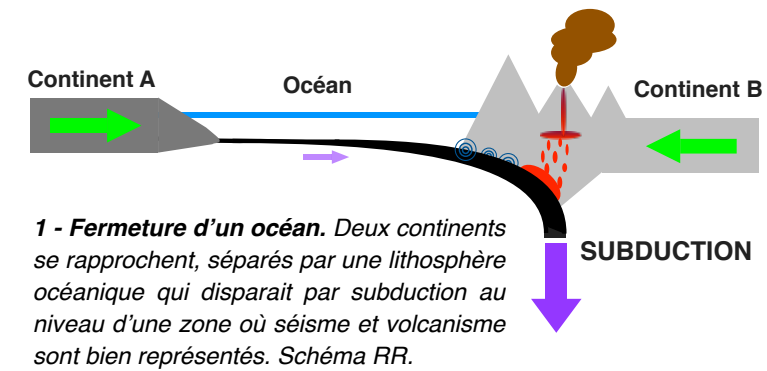
Entre les deux lithosphères continentales, des fragments de la lithosphère océanique peuvent être pris en sandwich et subsister ainsi dans une chaîne de montagnes.

La collision se fait très lentement et dure des dizaines de milliers d'années. Elle conduit au plissement des terrains (ce qui se voit particulièrement lorsque le sol est formé de couches sédimentaires parallèles) ou à leur cassure (ce qui déclenche des séismes et forme des failles). On peut reproduire à plus petite échelle les conséquences de la collision continentale.

Les chaînes de montagnes sont donc les indices des collisions des continents du passé. En utilisant le mouvement actuel des plaques tectoniques, il est aussi possible de **reconstituer l'aspect de notre planète dans un lointain passé**, ou même de prévoir quelle sera son apparence dans un futur lointain. Tout au long de l'histoire de notre planète, emportés par les mouvements des plaques auxquelles ils appartiennent, **les continents se sont assemblés, fracturés, éloignés puis assemblés de nouveau**. Ainsi, la plupart des grandes chaînes de montagnes récemment formées sont alignées entre les Alpes et l'Himalaya. Elles sont le résultat de la disparition d'un océan de très grande taille, la Téthys et de la collision entre deux continents, l'un situé au Nord qui s'appelait la Laurasia et l'autre, au Sud, appelé Gondwana. **L'aspect de notre planète a donc profondément changé au cours de son Histoire.**



Reconstitution de l'emplacement des continents dans le passé: il y a 225 millions d'années (M.A.), un «supercontinent», la Pangée, a commencé à se fragmenter. Ses morceaux sont les continents actuels, qui se réuniront un jour. Il est très difficile de reconstituer ce qui est arrivé aux continents avant cette date, car les indices, comme des chaînes de montagnes, ont été complètement détruits par l'érosion. Schémas USGS.



QUESTIONS DE COURS

- 1/ Au niveau mondial, comment se répartissent les séismes et les volcans ?
- 2/ Qu'est-ce qu'une dorsale ?
- 3/ Qu'est-ce qu'une plaque tectonique ?
- 4/ Quelle est la différence principale entre lithosphère et asthénosphère ?
- 5/ Qu'est-ce qu'une frontière convergente ? Quel relief en est caractéristique ?
- 6/ A quel endroit les plaques sont-elles les plus épaisses ?
- 7/ Les plaques flottent-elles sur du magma ?
- 8/ Que se passe-t'il au niveau d'une zone de subduction ?
- 9/ Quel est le relief formé lors de la collision de deux continents ?
- 10/ Quel est l'ordre de grandeur de la vitesse de déplacement des plaques tectoniques ?

COLLES

- 1/ Expliquez pourquoi on peut trouver, au sommet des plus hautes chaînes de montagnes, des roches d'origine océanique. (2 pts)
- 2/ Comparez dans un tableau la lithosphère et l'asthénosphère au niveau de leur emplacement, leur consistance et leurs propriétés. (6 pts)
- 3/ La Terre est âgée de 4500 millions d'années. Pourtant, on ne trouve pas de roches d'origine océaniques âgées de plus de quelques centaines de millions d'années. Pourquoi ? (4 pts).
- 4/ Expliquez pourquoi les séismes sont fréquents dans les zones de subduction. Donnez un exemple pour illustrer vos affirmations. (3 pts)
- 5/ L'expression ancienne «dérive des continents», est à la fois vraie et fausse. Expliquez pourquoi. (4 pts)
- 6/ Pourquoi les plaques de lithosphère «océanique» finissent-elles par «couler» dans l'asthénosphère ? Pourquoi cela n'est-il pas possible pour la lithosphère «continentale» ?
- 7/ Comment se fait-il que l'on retrouve les mêmes roches et les mêmes fossiles âgés de 230 millions d'années au Brésil et sur la côte ouest du continent africain ? (2 pts)

EXERCICES

1 - Land of the free (3 pts)

Benjamin Franklin, un des pères fondateurs des États-Unis d'Amérique, était un scientifique et un inventeur. En 1782, il écrivit : «*The crust of the Earth must be a shell floating on a fluid interior.*».

11 - Traduisez donc cette phrase en bon Français.

12 - B. Franklin se trompait-il ou pas ? Expliquez votre réponse (2 pts)

2 - Le précurseur (8 pts)

En 1915, A. Wegener publie son livre «La genèse des continents et des océans». Au chapitre 2, on peut y lire: «*Les paléontologues (...) sont invariablement amenés à la conclusion que la plupart des continents actuellement séparés par de grandes étendues océaniques doivent avoir eu anciennement une liaison continentale, sur laquelle s'est accompli un échange ininterrompu des flores et faunes terrestres. (...) L'Amérique du Sud doit avoir été contiguë à l'Afrique au point de constituer avec elle un bloc continental unique. Ce bloc s'est scindé pendant le Crétacé en deux parties qui se sont écartées dans le cours des temps comme dérivent les tronçons d'un glaçon se brisant dans l'eau. Les contours de ces deux socles sont encore aujourd'hui remarquablement semblables. Ce n'est pas seulement le grand coude saillant rectangulaire que présente la côte brésilienne au Cap San Roque qui est reproduit en sens inverse par le coude rentrant de la côte africaine au Cameroun, mais, pour les régions situées au sud de ces deux points, à chaque saillie de la côte brésilienne correspond une partie rentrante semblable de la côte africaine, de même qu'à chaque baie du côté brésilien correspond une saillie du côté de l'Afrique. Des mesures faites sur un globe terrestre montrent que leurs ampleurs sont identiques.*»

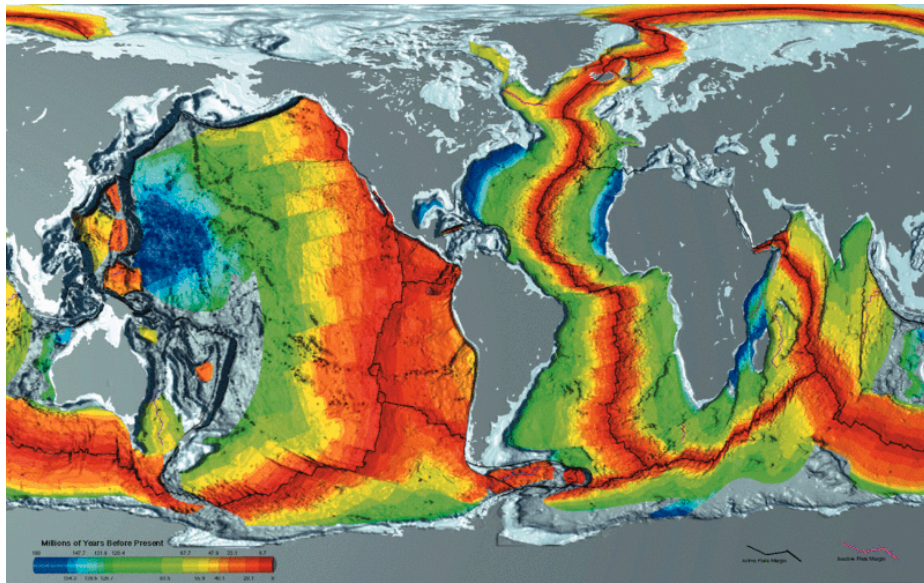
21 - Quels sont les indices, relevés par Wegener, qui indiquent que par le passé l'Amérique du Sud et l'Afrique étaient liées ? (2 pts)

22 - Quelle image donne Wegener pour illustrer cette séparation ? En quoi cette dernière est-elle exacte, et en quoi est-elle inexacte ? (5 pts)

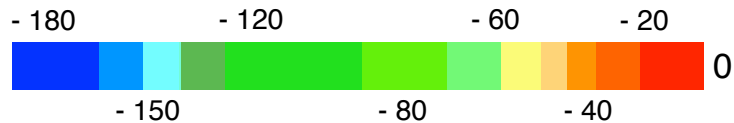
23 - Quelle confirmation expérimentale est donnée par Wegener pour confirmer ses idées ? (1 pts)

3 - Sous l'Océan... (10 pts)

Le document ci-dessous est une carte de l'âge des fonds sous marins .



Voici la légende des couleurs utilisées, les âges étant exprimés en millions d'années:



31 - Sachant que l'Atlantique a une largeur de 2840 km entre le Brésil, situé sur la côte est de l'Amérique du Sud, et le Libéria, situé sur la côte ouest de l'Afrique, et en vous aidant de l'âge des fonds océaniques présentés sur le document, donnez la vitesse à laquelle croît la lithosphère océanique dans l'Océan Atlantique. (3 pts)

32 - A quoi voit-on que les dorsales ne fabriquent pas toutes de la lithosphère à la même vitesse ? (2 pts)

33 - Où est située la dorsale la plus active (qui produit le plus rapidement de la lithosphère) ? Et la plus lente ? (Expliquez vos réponses). (4 pts)

34 - Où est située la plus vieille lithosphère océanique du monde ? (1 pts)

4 - Terre de glace

L'Islande est une île volcanique, presque coupée en deux par un ensemble de grandes failles.

41 - Proposez une hypothèse reliant l'existence des failles en Islande et le volcanisme. (3 pts)

42 - La photo ci-dessous a été prise en juillet 2000 au parc national de Thingvellir. (photo Wikimedia/Julius Agrippa)



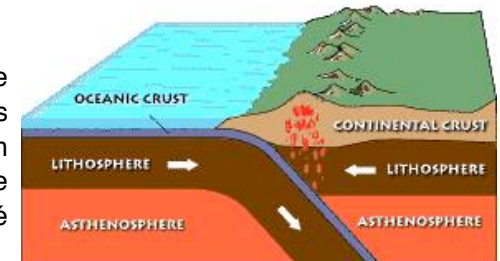
Expliquez pourquoi on peut dire que les promeneurs que l'on y voit sont en train de marcher sur le fond d'un futur océan. (3 pts)

5 - Errare humanum est

Observez bien le schéma ci-contre.

51 - Que représente-il ? (1 pts)

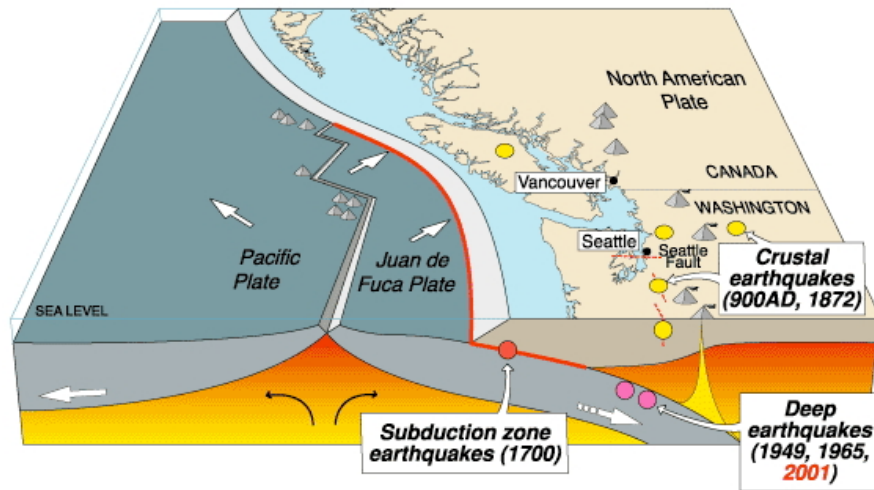
52 - Le dessinateur qui a réalisé ce schéma (source USGS) n'a pas commis d'erreurs, mais il a fait un choix assez malheureux, qui risque de provoquer un erreur. Quel a été ce mauvais choix ? (3 pts)



6 - Les commentaires sont libres

(10 pts)

Le document ci-dessous est tiré d'un site de l'USGS traitant des séismes se déroulant sur la côte ouest de l'Amérique (Sud Ouest du Canada et état de Washington aux USA).



61 - Donner un titre à ce schéma (1 pts)

62 - Rédiger un commentaire sur les événements schématisés ici. (4 pts)

63 - Sans commettre à proprement parler une erreur, le dessinateur a fait un choix malheureux lorsqu'il a réalisé ce schéma. Lequel ? (2 pts)

64 - Les foyers de séismes remarquables sont situés sur le schéma. Pourquoi tous ces foyers ne sont-ils pas situés au niveau de la zone de contact entre les deux plaques ? (3 pts)

7 - F.A.M.O.U.S (6 pts)

En 1973 et 1974 a eu lieu l'expédition scientifique FAMOUS (French American Mid Ocean Underwater Survey), pendant laquelle une zone de dorsale de 100 Km² située à 2600 m de profondeur a été étudiée intensivement au moyen de 3 sous-marins et plus de 20 navires océanographiques.

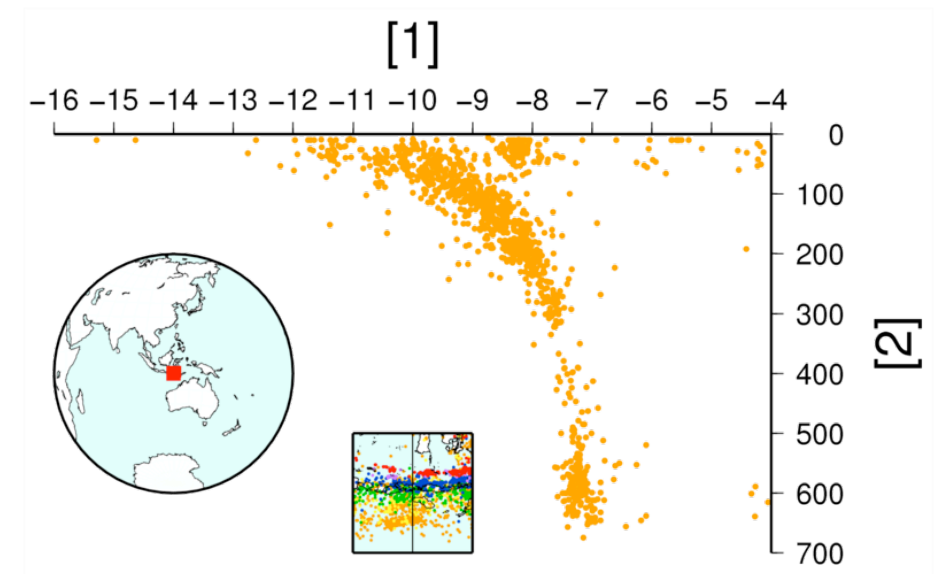
71 - Traduisez en français la signification du sigle FAMOUS. (1 pts)

72 - Pour s'habituer à ce qu'ils risquaient de découvrir en plongée, les pilotes des sous-marins sont allés se former en Islande. Pourquoi donc ? (3 pts)

73 - Parmi les nombreuses découvertes réalisées, il y a l'absence totale de sédiments dans la région étroite (moins d'un km) située dans l'axe de la dorsale. Comment expliquer cette absence ? (2 pts)

8 - On s'enfonce (5 pts)

Le document ci-contre (USGS) montre l'emplacement des foyers des séismes sur les côtes d'Indonésie, au nord de l'Australie (en [1], la distance en km le long de l'axe nord-sud des mesures, en [2] la profondeur en km).



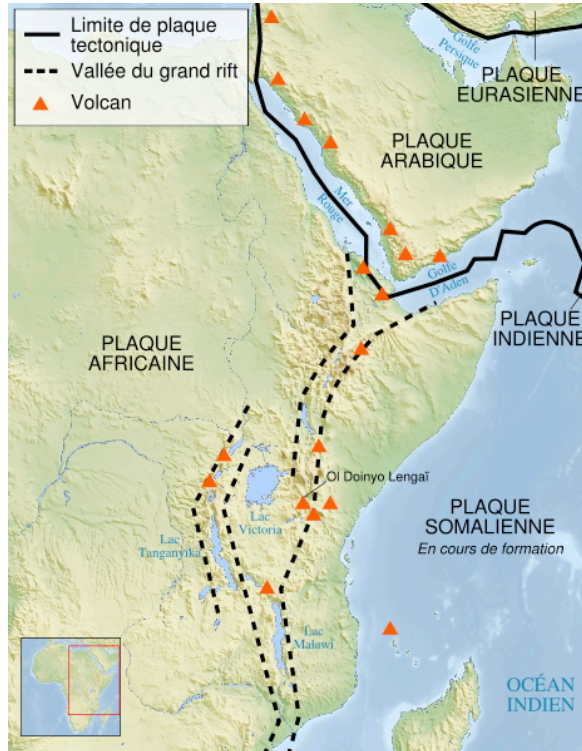
81 - Décrivez comment se répartissent les foyers des séismes (2 pts)

82 - Expliquez l'origine de cette répartition. Que peut-on en conclure au sujet de la région où ces relevés ont été effectués ? (3 pts)

9 - Ça déchire (8 pts)

Dans l'est de l'Afrique, la «vallée du grand rift» est une dépression de quelques dizaines de km de large qui se prolonge sur plus de 6000 km, et est

profonde de quelques centaines de m. On y trouve à la fois de grands lacs (le Tanganika, la Malawi...) et de nombreux volcans actifs (voir carte) dont certains très célèbres (le Kilimandjaro, le mont Kenya...) sont éteints alors que d'autres, nombreux, sont très actifs (L'Erta Ale, le Dallol...). Les séismes y sont également fréquents.



91 - Quelle information peut-on tirer de l'emplacement des différents volcans, tel qu'ils sont représentés sur la carte ? (2 pts)

92 - Comment expliquer l'ensemble des phénomènes se déroulant dans cette région ? (4 pts)

93 - Dans quelques millions d'années, à quoi ressemblera cette région ? (vous pouvez faire un schéma pour exprimer vos idées) (2 pts)

Carte: [Wikimedia/Semhur](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Semhur)

10 - Les génies des alpages. (13 pts)

Les Alpes sont la chaîne de montagne la plus haute d'Europe. Elles forment un arc étalé sur plusieurs pays. C'est une des premières chaînes de montagnes qui ait été étudiée. On trouve dans les Alpes plusieurs roches différentes:

- des calcaires et d'autres roches d'origine marine qui sont le résultat du dépôt de sédiments sur des fonds océaniques durant des dizaines de millions d'années.
- des basaltes, formant des coussins ou des tubes.

On observe également dans les Alpes des failles et des déformations des roches qui montrent que ces dernières ont subi l'application de forces très importantes.

10.1 - Recherchez, en vous aidant de la photo suivante (vue satellite de la chaîne des Alpes: les sommets enneigés sont bien visibles, ainsi que la forme générale de la chaîne - NASA) et d'un atlas, sur quels pays s'étendent les Alpes, et quel en est le sommet le plus élevé. (2 pts)



10.2 - Repérez la faille visible sur la photo suivante (faille du Pas-Guiguet, au nord du fort de St Eynard. Photo [Geol Alp](https://www.geol.alp.fr/), Maurice Guidon), dont vous ferez un schéma titré et légendé.

Reconstituez la forme de la structure avant la déformation.

Cette déformation a-t-elle provoqué une elongation ou un raccourcissement de la structure ? (5 pts)



10.3 - À partir des documents suivants (Photos A et B), décrivez ce qui se situait à l'emplacement actuel des Alpes il y a 150 - 170 millions d'années. (2 pts)



Photo A: Laves en coussin visibles dans le massif du Chenaillet. Ces structures ont été formées il y a 170 millions d'années.

Photo Wikimedia/WeFt.



Photo B : La «tour» d'Aï , visible au premier plan, ainsi que celle de Mayen, derrière elle, sont des falaises de calcaire. La roche qui les compose a été formée dans un océan profond, il y a 150 millions d'années. *Photo Wikimedia/Bernd Brägelmann.*

10.4 - Avec les connaissances que vous avez du cours précédent et vos réflexions provenant des questions précédentes, Rédigez, en français correct, un paragraphe décrivant «l'histoire et l'origine des Alpes» depuis 170 millions d'années. (4 pts)

CORRECTIONS

QUESTIONS DE COURS

1/ Au niveau mondial, les séismes et les volcans se répartissent le long d'alignements correspondant aux limites des plaques tectoniques. Il existe toutefois quelques volcans isolés.

2/ Une dorsale est une chaîne de montagnes au niveau de laquelle une remontée de l'asthénosphère permet la formation de lithosphère océanique.

3/ Une plaque tectonique est une grande zone mobile de la surface de la Terre, rigide et peu déformable, épaisse d'une dizaine à une centaine de km, et flottant sur l'asthénosphère.

4/ La lithosphère, externe, est rigide alors que l'asthénosphère, plus profonde, est déformable (à une vitesse très lente, de l'ordre du cm/an)

5/ Une frontière convergente est la limite entre deux plaques se dirigeant en sens opposés. Le relief qui en est caractéristique est une fosse océanique.

6/ Les plaques sont les plus épaisses aux endroits correspondant à des continents.

7/ Les plaques ne flottent pas sur le magma, mais sur l'asthénosphère, qui a pour l'essentiel le comportement d'un solide extrêmement visqueux.

8/ Au niveau d'une zone de subduction une plaque passe sous une autre.

9/ Lors de la collision de deux continents, le relief formé est une chaîne de montagnes.

10/ L'ordre de grandeur de la vitesse de déplacement des plaques tectoniques est le centimètre par an.

COLLES

1/ On peut trouver au sommet des plus hautes chaînes de montagnes des roches d'origine océanique, car les montagnes se forment lors de la collision de continents autrefois séparés par un océan. Des roches provenant de l'ancien fond océanique peuvent se trouver «en sandwich» entre les deux continents, et vont se retrouver intégrées dans la chaîne de montagnes, dont elles feront partie.

2/ Tableau comparant la lithosphère et l'asthénosphère au niveau de leur emplacement, leur consistance et leurs propriétés.

Couche	Lithosphère	Asthénosphère
Emplacement	Externe	interne
Consistance	Solide, peu déformable	Très légèrement fluide, déformable
Propriétés	Forme de grandes plaques rigides mobiles	non cassante, parcourue de courants très très lents

3/ On ne trouve pas de roches d'origine océaniques âgées de plus de quelques centaines de millions d'années à cause de la subduction: les anciennes plaques «océaniques» ont depuis longtemps coulé dans l'asthénosphère, et sont inaccessibles ou détruites. On peut même en déduire qu'une plaque «océanique» possède une «durée de vie» qui se limite à quelques centaines de millions d'années. Ensuite, trop lourde, elle commence à disparaître en glissant lentement dans les profondeurs du globe...

4/ Les séismes sont fréquents dans les zones de subduction car la plaque plongeante «frotte» contre celle qui la surplombe en s'enfonçant. Ces «frottements» provoquent des cassures des roches, et donc sont à l'origine d'ondes sismiques, donc de séismes.

On peut donner comme exemple la zone de subduction d'une partie des plaques du Pacifique sous la Californie, qui provoque de nombreux séismes dans cette région (les îles du Japon sont aussi un bon exemple).

5/ L'expression ancienne «dérive des continents» est :

- «vraie» car les continents voient bien, dans le temps, leur position changer lentement, ils «dérivent» bien, dans le sens ils ne sont pas fixes.
- «fausse» car en réalité ce ne sont pas les continents tout seuls qui dérivent, mais les plaques dont ils font partie qui, elles, sont mobiles.

6/ Les plaques de lithosphère «océanique» finissent par «couler» dans l'asthénosphère car au fur et à mesure qu'elles vieillissent, elles deviennent

de plus en plus denses à cause de leur refroidissement et de l'accumulation de sédiments à leur surface.

Cela n'est il pas possible pour la lithosphère «continentale» car celle-ci n'a pas de densité variable: elle est moins dense que l'asthénosphère et le reste, elle ne peut donc pas «couler» dedans.

Remarque: *Il peut arriver toutefois qu'un continent soit alourdi t», par exemple par une couche de glace de plusieurs km qui le recouvre, ce qui «l'enfonce» dans l'asthénosphère». Si la glace fond, la continent va lentement «remonter». Parfois, des morceaux de continents peuvent être aussi entraînés dans l'asthénosphère au cours de subductions, mais ils ont toujours tendance à «remonter» vers la surface, et peuvent même y revenir.*

7/ On retrouve les mêmes roches et les mêmes fossiles âgés de 230 millions d'années au Brésil et sur la côte ouest du continent africain, car à cette époque ces deux continents étaient réunis en un seul.

EXERCICES

1 - Land of the free (3 pts)

11 - *«The crust of the Earth must be a shell floating on a fluid interior.»* se traduit par «la croûte terrestre doit être une coquille flottant sur un intérieur fluide»

12 - Pour l'essentiel, B. Franklin ne se trompait pas. En effet, la lithosphère, par rapport aux dimensions de la Terre, est bien une fine «coquille» qui flotte sur un intérieur (l'asthénosphère) plus fluide, plus déformable. Ce que B. Franklin n'avait pas prévu, c'est que cette coquille était brisée en plusieurs morceaux, les plaques tectoniques...

2 - Le précurseur (8 pts)

21 - Les indices relevés par Wegener indiquant que par le passé l'Amérique du Sud et l'Afrique étaient liées sont:

- des fossiles identiques (il parle des paléontologues, et vous avez sans doute regardé dans un dictionnaire, si vous ne le saviez pas, de quoi s'occupe un paléontologue, non ?)
- la correspondance des contours des deux continents (en particulier, mais pas uniquement, la correspondance entre le cap San Roque au Brésil et la côte du Cameroun en Afrique)

22 - Pour illustrer cette séparation, Wegener donne l'image suivante: «deux parties qui se sont écartées dans le cours des temps comme dérivent les tronçons d'un glaçon se brisant dans l'eau».

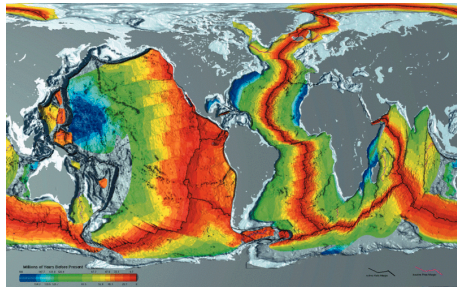
Cette image est exacte, car les bords des deux continents se correspondent bien, comme le feraient les bords d'un glaçon brisé; mais par contre, elle est inexacte (ou insuffisante) parce que ce ne sont pas les continents seuls qui se séparent en flottant sur un fluide, mais les plaques qui les portent qui se séparent, l'espace étant comblé par la formation de lithosphère «océanique». Pour reprendre l'image de Wegener, c'est comme si un glaçon était prisonnier d'une mince couche de glace: le glaçon et la couche se casseraient et s'éloigneraient alors que de la glace mince se formerait toujours entre les deux morceaux du glaçon, au fur et à mesure qu'ils se sépareraient...

23 - Wegener présente comme confirmation «expérimentale» des mesures qu'il a effectuées sur un globe terrestre (donc une carte bien plus exacte que celles que l'on obtient sur une feuille), et qui montrent que non seulement les formes des côtes de l'Amérique du Sud et Ouest de l'Afrique se correspondent, mais que les dimensions des parties qui semblent s'emboîter sont identiques.

3 - Sous l'Océan... (10 pts)

31 - Le Brésil et le Libéria sont actuellement distants de 2840 km. Si on regarde la carte, on voit que les fonds océaniques les plus vieux entre ces pays, ceux qui sont au contact des continents, sont de couleur verte, ce qui correspond à un âge de 120 millions d'années environ d'après la légende. Il a donc fallu 120 millions d'années pour «fabriquer» 2840 km de lithosphère.

La vitesse, c'est la distance/ le temps. Ici, si on divise 2840 par 120 millions d'années, on obtient une vitesse de fabrication de 0,00002 km/an, soit 2 cm/an environ.



32 - On voit que les dorsales ne fabriquent pas toutes de la lithosphère à la même vitesse à la largeur différentes des «bandes» de fond océaniques du même âge (donc de même couleur sur la carte). Cette différence de largeur s'explique par une différence de vitesse de formation des roches: plus la formation est

rapide et plus l'étendue d'une même couleur de part et d'autre de la dorsale, sera grande.

33 - Si on prend l'exemple des terrains «rouge-orange» formés en 30 millions d'années environ, on voit que la dorsale atlantique a fabriqué une étendue bien moins grande de lithosphère que la dorsale du Pacifique. Cette dernière fabrique donc de la lithosphère plus rapidement. C'est même la plus active, alors que la moins active (bande la plus étroite) est la dorsale située au sud-est de la pointe sud du continent africain.

34 - La plus vieille lithosphère océanique du monde (en bleu foncé sur la carte) se situe à l'ouest du Pacifique, au niveau de la côte est du Japon.

4 - Terre de glace

41 - L'Islande est une île presque coupée en deux par une dorsale. A ce niveau, il se produit un écartement des plaques de part et d'autre de la dorsale. Cela signifie que la roche, en Islande, est soumise à des forces qui «tirent» dessus, ce qui a pour conséquence de la fracturer: de la casser: des failles se forment. On peut faire l'hypothèse que cet étirement de la lithosphère, provoquant la formation de faille, amincit la lithosphère, ce qui

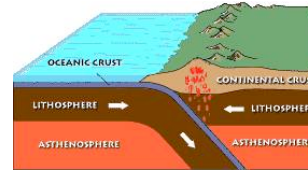
permet à l'asthénosphère d'être plus proche de la surface, et provoque la formation locale de magma, donc d'une activité volcanique.



42 - Les promeneurs du parc national de Thingvellir sont en train de marcher sur le fond d'un futurocéan, car ce parc se situe dans l'axe de la dorsale. On peut d'ailleurs voir sur la photographie les bords extrêmes des deux plaques, formant un étroit défilé. Ces parois s'écartent en moyenne de quelques cm par an, au fil des séismes. La route est tracée entre ces falaises, donc au

niveau où de formera (et à commencé à se former) de la lithosphère océanique, plancher d'un futur océan.

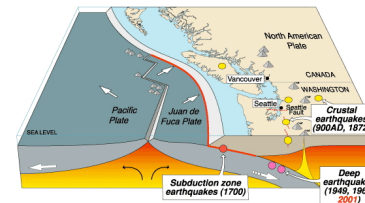
5 - Errare humanum est



51 - Le schéma représente une zone de subduction.

52 - Le dessinateur a mal choisi la couleur avec laquelle il représente l'asthénosphère. En effet, il l'a colorée en orange foncé, couleur qui peut faire penser à du magma, ce qui est contraire à la réalité: l'asthénosphère est, à notre échelle de temps, une roche «solide», même si elle est chaude, et ne ressemble donc pas à du magma !

6 - Les commentaires sont libres (10 pts)



61 - Titre de ce schéma. Il y a bien sur plusieurs possibilités. Citons comme exemple: «zone de subduction de l'est du pacifique», «mouvement de la plaque Juan de Fuca (son nom est lisible), «origine des des séismes se déroulant au Sud Ouest du Canada et dans état de Washington» (en reprenant les indications de la question...).

62 - Commentaire

La plaque Juan de Fuca prend naissance au niveau d'une dorsale située sous le Pacifique, à proximité des côtes du continent nord-américain. Cette plaque plonge rapidement sous le continent (le nord de la dorsale est même déjà sous le continent). En plongeant, la plaque provoque des séismes dont les foyers se situent au large, sous l'océan; mais aussi, plus profondément, à la verticale de villes comme Seattle ou Vancouver. La perte de l'eau contenue dans cette plaque favorise la formation de magma visqueux, créant une chaîne de volcans explosifs sur la continent (cônes gris du schéma).

63 - Le dessinateur a fait un choix malheureux et incohérent de couleurs pour représenter l'asthénosphère et le magma. En effet, sous la dorsale, la couleur rouge semble représenter le magma qui se forme (mais alors il est présent en trop grande quantité). Par contre, sous les volcans, le magma qui se forme est coloré en... jaune! De plus, le schéma laisse penser qu'il existe une couche de magma (rouge, comme à la dorsale) sous le continent, ce qui est faux.

64 - Les foyers de nombreux séismes sont situés au niveau de la zone de contact des plaques (points rouges) mais il existe aussi des foyers, notés en jaune, situés bien plus près de la surface. Pourquoi ? Il faut se rappeler qu'un séisme est déclenché par la cassure d'une roche soumise à des forces. Ici, la subduction de la plaque tend à « bomber » le continent, dont la surface va se déformer « en arc de cercle ». Comme les roches de la lithosphère ne sont pas très déformables, elles vont donc casser près de la surface, ce qui va provoquer ces séismes. (*La question était difficile, il fallait bien réfléchir à la cause des séismes et chercher un mécanisme pour l'expliquer, ce qui est une démarche scientifique!*).

7 - F.A.M.O.U.S (6 pts)

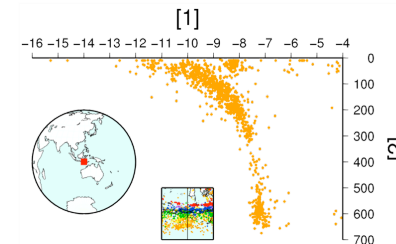
71 - Le sigle FAMOUS signifie French American Mid Ocean Underwater Survey, ce qui en français nous donne « étude franco-américaine sous-marine du milieu de l'océan ». Le sigle FAMOUS constitue un mot qui lui aussi veut

dire « fameux, exceptionnel », ce qui soulignait la caractéristique nouvelle et jamais tentée, l'époque, de ce type d'étude.

72 - Les pilotes des sous-marins sont allés se former en Islande pour s'habituer à ce qu'ils risquaient de découvrir en plongée, car ce pays est le seul exemple de dorsale que l'on peut visiter à pied sec, et ils vont plonger au milieu de l'Atlantique, donc au niveau de la même dorsale, mais sous l'eau. Il y a donc de bonnes chances qu'ils y retrouvent le même type de relief (falaises, roches, fissures, failles...).

73 - Depuis la cinquième, vous savez que les sédiments se déposent lentement dans le fond des cours d'eau, donc des vallées, et au niveau des océans et des mers. Ce dépôt se fait de façon à peu près continue, mais il est très lent. Or, dans l'axe de la dorsale, le fond de l'océan est très « jeune », géologiquement parlant (quelques millions d'années), ce qui signifie que les sédiments n'ont pas eu le temps d'y parvenir et surtout de s'y accumuler. Cette absence, en fait, contribue à prouver la jeunesse de la roche formée à cet endroit.

8 - On s'enfoncé (5 pts)



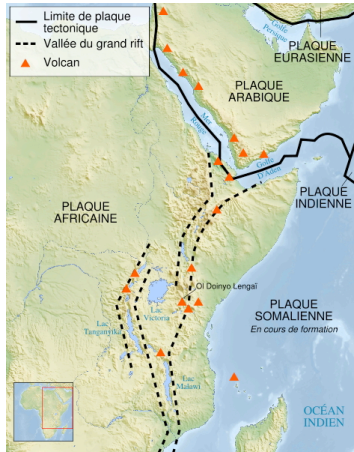
81 - Les foyers des séismes se répartissent selon un arc de cercle de plus en plus profond. Ils sont tout d'abord superficiels, puis plongent rapidement à plus de 600 km de profondeur, selon une ligne qui devient presque verticale.

82 - Cette répartition s'explique par la subduction d'une plaque qui plonge très rapidement dans l'asthénosphère, en frottant sur la plaque qui la surplombe et en se cassant, ce qui provoque des séismes même à très grande profondeur.

On peut en conclure que la région où ces relevés ont été effectués est située sur une frontière convergente de plaques, et qu'il s'y produit de

nombreux et puissants séismes, ainsi que des éruptions volcaniques de type explosif (ce type de volcanisme étant associé aux zones de subduction).

9 - Ca déchire (8 pts)



91 - Sur la carte, les volcans sont alignés selon une direction nord-sud, le long d'une ligne pointillée. On peut tirer de cette chaîne de volcans la conclusion que l'on doit se trouver au niveau de la frontière d'une plaque

92 - Plusieurs hypothèses peuvent expliquer l'ensemble des phénomènes se déroulant dans cette région, mais une seule les explique tous.

Tout d'abord, l'alignement des volcans et les séismes peuvent faire penser à une zone de subduction. Toutefois, deux phénomènes ne s'expliqueraient pas dans ce cas: le fait que

l'on soit à l'intérieur d'un continent (et non en bordure), et le grand nombre de grands lacs comme le Tanganika ou le Malawi.

Les lacs peuvent nous mettre sur la voie: ils occupent des «creux» du terrain, emplis par les pluies. La seule situation où l'on a à la fois séisme, volcanisme et formation de creux dans l'intérieur d'un continent est lorsque ce dernier est étiré, au début de la formation d'un océan. On peut donc faire l'hypothèse que l'on se trouve ici au niveau d'un océan en train de «s'ouvrir».

93 - Dans quelques millions d'années, cette région ressemblera à la mer Rouge (située plus au nord): deux continents, L'Afrique et l'actuelle partie est de ce continent, devenue «indépendante» de la plaque africaine, seront séparés par une mer étroite (situation du premier schéma de la p. 13).

10 - Les géniés des alpages. (13 pts)

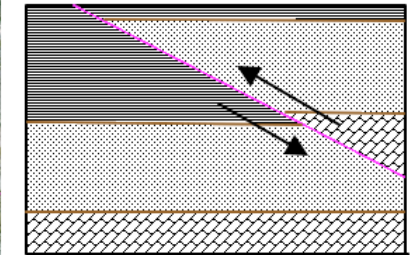
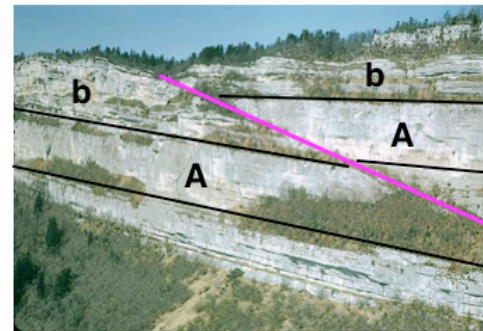
Les Alpes sont la chaîne de montagne la plus haute d'Europe. Elles forment un arc étalé sur plusieurs pays. C'est une des premières chaînes de montagnes qui ait été étudiée. On trouve dans les Alpes plusieurs roches différentes:

- des calcaires et d'autres roches d'origine marine qui sont le résultat du dépôt de sédiments sur des fonds océaniques durant des dizaines de millions d'années.
- des basaltes, formant des coussins ou des tubes.

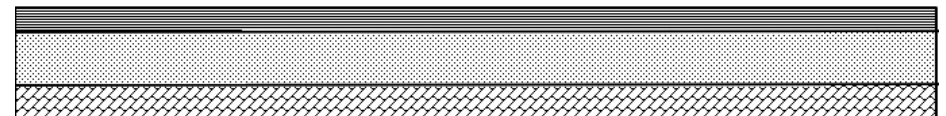
On observe également dans les Alpes des failles et des déformations des roches qui montrent que ces dernières ont subi l'application de forces très importantes.

10.1 - Sur la vue satellite, et même sans un atlas, vous devez avoir identifié sans difficultés le nord de l'Italie. A partir de ce point de repère, vous avez dû trouver que les Alpes s'étendent sur le nord de l'Italie (justement), le sud-est de la France, la Suisse, le sud de l'Allemagne, l'Autriche et la Slovénie. Le sommet le plus élevé est le mont-blanc (4810 m).

10.2 - Sur la photo, la faille barre transversalement la falaise, décalant les couches A et b (votre schéma devrait ressembler à celui de droite, la faille est en rose).



Pour reconstituer la forme de la structure avant la déformation, il faut faire glisser par la pensée la faille en sens inverse de son mouvement. On obtiendrait alors une superposition des trois couches de roches horizontales, comme cela:



Le sens de la déformation montre bien que la structure, la roche ont été comprimées, puisque la partie de droite est montée «sur» celle de gauche: la faille a permis le raccourcissement de la structure.

10.3 - Les documents présentent des laves en coussins âgées de 170 millions d'années ainsi que des roches calcaires de 150 millions d'années, le tout se trouvant dans la chaîne des Alpes. A l'emplacement actuel des Alpes, il y a 170 millions d'années, on trouvait une activité volcanique sous marine dont la trace est la lave en coussin. Il s'agissait probablement de la formation de lithosphère océanique au niveau d'une dorsale. 20 millions d'années plus tard, on trouve les traces d'une sédimentation ayant eu lieu dans un «océan profond». On peut donc penser qu'à cette époque, l'emplacement actuel des Alpes était occupé par un profond océan aujourd'hui disparu.

10.4 - «Histoire et l'origine des Alpes» depuis 170 millions d'années.
En utilisant les informations fournies, on peut reconstituer le scénario suivant:

- Il y a plus de 170 millions d'années, un océan (ou une mer) sépare le nord de l'Italie actuelle du reste de l'Europe. Sur le fond de cet océan, on trouve une activité volcanique qui produit des laves en coussins.
- Progressivement, alors que des sédiments se déposent sur les fonds océaniques profonds, une subduction se met en place, et cette mer commence à se refermer.
- Il y a moins de 150 millions d'années, le mouvement des plaques finit de faire «couler» dans l'asthénosphère la lithosphère océanique de cet ancien océan. Il en reste toutefois quelques morceaux qui vont être pris en sandwich entre l'Europe et l'Italie du nord.
- Les continents entrent en collision, il se forme petit à petit une chaîne de montagnes en forme d'arc de cercle, et des matériaux océaniques, selon les déformations du sol et les mouvements liés aux failles, se retrouvent incorporés dans ces montagnes, où on les trouve encore aujourd'hui!

L'enter des copies

Bêtises lues dans les exercices & devoirs...

1) Entre les plaques, il y a des fissures pleines de magma
NON ! Les plaques sont jointives, c'est pour cela qu'elles frottent les une sur les autres...

2) La lithosphère glisse sur l'asthénosphère qui est lisse
Ben voyons! l'asthénosphère n'a rien de lisse, ce n'est **PAS** une étendue liquide!

3) La lithosphère flotte sur du magma en fusion
Répétons bien fort: **L'ASTHENOSPHERE SE COMPORTE COMME UN SOLIDE. ON NE TROUVE DE MAGMA QUE SOUS LES VOLCANS.**

4) Dans l'asthénosphère, il y a des courants qui poussent la lithosphère
Nan! Les courants existent, mais sont bien trop faibles pour faire cela, ils accompagnent le mouvement, mais ne font pas le gros du travail.

5) La lave qui monte dans la dorsale pousse les plaques.
Et non! les plaques sont «tirées» par la subduction, pas «poussées» par les dorsales!

6) La plaque qui plonge descend à des millions de km.
Hum... le centre de la Terre n'est «qu'à» 6350 km sous nos pieds...

7) La plaque qui plonge fond et ça forme le magma des volcans explosifs.
Pas du tout. La plaque perd de l'eau, qui en remontant va permettre la formation de magma...

Glossaire



L'Himalaya est une chaîne de montagne causée par la collision du continent Indien et de l'Asie, autrefois séparés par un océan disparu - Photo NASA.

Les définitions des termes scientifiques à connaître (en gras), mais aussi des mots d'un emploi peu commun en quatrième, et utilisés dans ce chapitre. N'est donné ici que le sens dans lequel ils sont employés dans le manuel.

Archipel : ensemble d'îles voisines

Asthénosphère : Couche profonde de la Terre où les roches ont un comportement ductile: elles peuvent s'y déformer, sous une forte pression, à des vitesses de l'ordre du cm/an.

Basalte : roche volcanique de couleur sombre, issue d'un magma refroidi rapidement.

Climatologie: science du climat et de son évolution dans le temps.

Collision: rencontre des parties continentales (qui ne «coulent» pas dans l'asthénosphère) de deux plaques se déplaçant dans des directions opposées.

Communauté: ensemble de personnes qui partagent un intérêt ou un métier commun.

Concepteur: celui qui construit une idée, une théorie, mais aussi les plans d'un objet ou d'une machine

Dorsale : Chaînes de montagnes sous marine, caractérisée par une forme arrondie et la présence, dans l'axe de la dorsale, d'un intense volcanisme effusif.

Ductile : qui peut être étiré sans se casser, se dit de ce qui est malléable (comme de la pâte à modeler).

Enfouissement: disparition dans les profondeurs de la Terre.

Fosse océanique : dépression sous-marine profonde, longue et étroite

Frontière convergente : ligne de rencontre entre deux plaques de rapprochant l'une de l'autre.

Frontière divergente : limite séparant deux plaques qui s'éloignent l'une de l'autre

Granite : roche de couleur claire, composée de minéraux de grande taille formant des grains.

Hypothèse : supposition logique permettant d'expliquer l'origine ou le déroulement d'un phénomène.

Interprétation : Explication d'une observation en utilisant une théorie, un ensemble d'idée particulier.

Exemple: on voit, chaque jour, le soleil traverser le ciel, de l'est à l'ouest. On peut interpréter ce phénomène de deux façons: soit en disant que le Soleil tourne autour de la Terre (ce qui est faux), soit en disant que c'est la Terre qui tourne sur elle-même.

Laves en coussin : Laves émises par des volcans sous-marins, et qui prennent une forme de «boules» ou de cylindres à cause de la pression de l'eau.

Lithosphère : Couche supérieure de la Terre, rigide et cassante, formée de roches accessibles en surface.

Plaque tectonique : morceaux de lithosphère formant toute la partie externe de la Terre.

Magnitude : intensité d'un séisme.

Modèle : ensemble cohérent de théories et d'observations, confirmé par des expériences, qui décrit la réalité.

Paléontologie : science des formes de vies du passé, étudiant principalement les divers fossiles.

Pertinente : juste, logique, bien réalisée ou imaginée.

Philosophe: personne qui réfléchit et recherche la cause des phénomènes naturels. Les philosophes sont les «ancêtres» des scientifiques modernes.

Précurseur: Celui (ou celle) qui le premier a une idée nouvelle, qui se développera par la suite.

Relief: les formes que peut prendre la surface de la Terre.

Sismique: qui a un rapport avec les séismes, ou bien se dit qu'une région où les séismes sont fréquents.

Soufflé : pâtisserie qui «gonfle» rapidement et de façon très importante au four, et doit être consommée rapidement sous peine de «retomber».

Sonar : appareil qui utilise les ondes sonores émises dans l'eau et recueillies après que les objets sous-marins les aient renvoyées pour construire une image des fonds marins ou de tout objet sous marin.

Subduction : passage d'une plaque tectonique sous une autre.

Autour des plaques tectoniques...

En 1866, le peintre Albert Bierstadt a représenté une tempête dans les montagnes Rocheuses, chaîne provenant de la subduction de la lithosphère de l'est du Pacifique sous la plaque nord-américaine. Photo Brooklyn muséum.

Idées de voyage

Les chaînes de montagnes sont un des meilleurs endroits pour observer les effets des mouvements des plaques! De plus, elles offrent, en toutes saisons, des paysages magnifiques et, en hiver, les attraits du ski, si l'on peut le pratiquer. En France métropolitaine, nous avons bien entendu les Pyrénées et les Alpes, mais dans le monde il est aisé de trouver :

- des chaînes liées à une subduction: les rocheuses aux USA et au Canada, la cordillère des Andes en Amérique du Sud.
- des chaînes liées à une collision: l'Himalaya.

Idées de lecture

Il existe assez peu de livres faciles à lire sur le sujet. Citons:

Expédition "Famous" à 3000 mètres sous l'Atlantique, par C. Riffaud et X. le Pichon, (Albin Michel, 1975) un livre ancien que vous pouvez trouver dans les CDI et qui raconte la première exploration d'une dorsale.

Idées de films

Plusieurs documentaires accessibles, en particulier par [YouTube](#), mais très souvent ils risquent de vous induire en erreur: ces films, assez anciens, où mal réalisés, montrent une asthénosphère en magma et ne montrent pas que la subduction est le «moteur» des plaques...

Une [conférence intéressante](#) de X. le Pichon, un des «découvreurs» et explorateurs français des dorsales (vous pourrez même télécharger le texte).

Dédicace



Ce chapitre est dédié à Alfred Wegener (1880-1930), astronome et météorologue, qui eu l'idée que les continents avaient du se mouvoir au cours des temps géologiques. Incompris et moqué par la plupart de ses collègues, il trouva peu de soutiens pour sa théorie de la «dérive des continents». Explorateur des régions polaires et en particulier du Groenland, il y mourut de froid au cours d'une expédition scientifique en novembre 1930 en compagnie de son collègue Rasmus Villumsen.

Le pont le plus «long»



Parmi plusieurs «curiosités» géologiques, l'Islande possède le pont le plus «long», puisqu'il relie l'Europe à l'Amérique! Plus précisément, cette passerelle relie la plaque Europe-Asie à la plaque nord-américaine en franchissant une des failles constituant la dorsale, frontière entre les plaques. Photo

Wikimedia/Reiykholt