

Chapitre 2 : GEOMORPHOLOGIE STRUCTURAL

I. Introduction

- la formation de la terre

la conception actuelle de la formation du globe est récent (1960-1980), toutes les conceptions officielles étaient fixistes => océan et continents ont toujours occupé une position fixe durant toute l'histoire.

Chez les grecs, la conception d'Aristote était extrêmement proche des 6 jours de la bible => *théorie du catastrophisme*, puis c'est la *théorie créationniste*. Avec les explorations on a eu des critiques car les observations ne correspondaient pas à la réalité. On s'aperçut d'un certain nombre de faits :

- on avait des ensembles floristique et faunistique qui étaient différents selon les lieux
- on retrouve des mêmes ensembles géologiques de part et d'autre des océans.

→ **1561-1626** : Sir Francis Bacon, promoteur de la fondation des savants, il afflua fortement sur le courant de pensée aboutissant au siècle des lumières.

→ **En 1668**, le français François Placet (prémontré) publie la corruption du grand et du petit monde où il est montré qu'avant le déluge l'Amérique n'était pas séparée des autres parties du monde. L'océan pacifique serait dû à un effondrement de la partie centrale de l'Eurasie.

Pour beaucoup de gens cette publication fut la preuve que la légende de l'Atlantide correspondait bien à la réalité.

→ **1769-1859** Alexander von Humboldt, naturaliste et explorateur pense aussi à l'emboîtement. Grâce à ces voyages il découvre que les roches ont les mêmes caractéristiques géologiques. On retrouve également les mêmes fossiles de chaque côté de l'atlantique (glossopteris, le mesosaurus...), on les retrouve également au Indes, en Australie. Un continent unique serait donc la base de la terre, l'océan atlantique serait qu'une vaste vallée creusée dans le continent.

→ **Mais en 1858**, Antonio Spider-Pelligrini, reprend l'idée de la mobilité des continents dans son ouvrage la création et ces mystères dévoilés. Dans cet ouvrage il explique que les continents se sont formés à partir d'un seul bloc de roche en fusion d'un seul côté de la terre, puis intervient le déluge qui mit fin à l'état d'instabilité de ce bloc en le refroidissant.

L'inventaire biologique et hydrologique avançait à grand pas et toutes les observations confirmèrent cette idée d'union et de séparations des continents.

→ **Linné**, naturaliste suédois, il aboutit à la publication par l'anglais Charles Darwin qui est de l'origine des espèces par voies de sélection naturelle (1859). Cet ouvrage resta un index jusqu'à sa disparition au milieu du XX^{ème} siècle. Il existerait une incompatibilité entre l'évolution et l'interprétation des textes sacrés.

→ **Lord Kelvin**, fort opposant.

→ théorie catastrophique, **George Darwin** parle aussi de mobilité des continents en 1879. Les constatations naturalistes étaient cohérentes et non réfutables. Mais avec les progrès des sciences, beaucoup de choses avançaient qui permettent de nouvelles découvertes

→ **Isaac Newton** publie sa théorie principe mathématique de philosophie naturelle, théorie liée à l'œuvre de Leibniz. Il s'attaque à l'étude scientifique du monde. Début des mesures précises avec des instruments de plus en plus performants.

→ **Pierre Bouguer** inventa la photométrie, mesure du rayonnement lumineux, il fait également des mesures gravimétriques (mesure de l'attraction terrestre), il montre les différences de pesanteur entre le niveau de la mer et les Andes. Ces mesures sont reprises par Charles de Borda et par Sir George Everest, il travailla dans l'Himalaya avec un appareil encore plus précis mis au point par DeKoster (précision 1:100000). Il fallut une bonne maîtrise de la radio pour améliorer les précisions.

→ **Georges Bidell-Airy et J Henry Pratt**.

Pour Bidell-Airy la compensation du relief topographique est assurée en profondeur par une racine de même densité que les roches de surface donc plus légère que le manteau environnant. Cette racine légère diminue l'apesanteur totale liée au relief,

Pour Pratt : variation latérale de la densité des roches et de la densité dans la partie supérieure du manteau.

Pour les deux cette pression est hydrostatique, selon montre que le relief terrestre flotte sur le manteau

c'est *isostasie*, les deux théories se complètent l'une l'autre.

Isostasie : est un phénomène par lequel les éléments de la croûte ou, plus généralement, de la lithosphère qui se trouvent enfouis à de faibles profondeurs (de l'ordre de 100 km) sont soumis à la même pression indépendamment des irrégularités topographiques en surface. La compensation isostatique contrecarre l'érosion. C'est ainsi que la roche plutonique est mise à jour.

→ **Léonce Elie de Beaumont** (1798-1874), polytechnicien, géologue. En 1842, assure la première couverture de cartographie géopolitique de la France. Il est à la base de la géographie moderne. Il admettait que les causes générales des phénomènes géologiques étaient dues à un refroidissement du cœur de la planète. Il aurait une contraction du globe.

→ **Eduard Suess** (1831-1914) propose l'existence plus ou moins éphémère de ponts continentaux reliant les continents entre eux. Cela devient le standard pour les paléontologues.

Contradiction entre observation et théorie officielle. Dès 1859, l'américain James Hall émet une théorie du géosynclinal qui est formalisée en 1873 par James Dwinght-Dan.

Géosynclinal : formation d'une ride où s'accumulent des sédiments entraînant un enfoncement de plus en plus important provoquant un rapprochement, la fosse se remplit. Cela entraîne des phénomènes de métamorphisme et les sédiments subissent des désordres (charriage) (Alpes etc...). Ce concept rend assez bien compte de la réalité du terrain.

En 1900 précision du géosynclinal par le français Émile Haug, a beaucoup travaillé sur l'échelle subalpine. Explication de la genèse des chaînes de montagnes notamment celle alpine.

On y retrouve des roches ophiolites qui sont un ensemble de roches appartenant à 1 portion de lithosphère océanique charriée sur 1 continent lors de la convergence de 2 plaques lithosphériques

Jean Auboin clarifia en 1959 la notion de géosynclinal en découvrant sa dynamique. Il est composé de plusieurs zones parallèles. Moteur : mouvements internes de la Terre.

1908, F.B Taylor formula l'hypothèse que l'océan atlantique est étai formé à la suite de la séparation de 2 continents.

Alfred Wegener, théorie de la dérive des continents il présente à l'UGI, idée nouvelle sur la structure des grandes structures de la surface terrestre. Il se base sur ces observations du Groenland. Il montre comment les continents ont pu être rattachés. Leur position actuelle est un instantané d'un ensemble de mouvements => dérive des continents.

Époque carbonifère, l'Europe se trouvait sous l'équateur.

Il met en place les grandes structures géologiques de la planète.

Il existe :

- des zones de compression liées au rapprochement des continents, des structures se chevauchent en formant des montagnes.
- Zones d'étirement (distension), les continents s'éloignent les uns des autres, surface océanique profonde profonde correspondant aux basaltes des zones océaniques
- zones de translation où les surfaces coulissent latéralement ce sont des failles transformées.

Mais on ne connaît pas le moteur de la terre, peut-être les effets de marais ou la force de Coriolis, les forces centrifuges... Mais ces forces sont totalement insuffisantes pour ces mises en mouvement.

Les géologues alpins utilisaient la dérive des continents pour aboutir à leurs travaux.

1937, « nos continents baladeurs sur la dérive ».

II. le triomphe de la haute technologie et des mobilistes

La guerre 14-18 et celle de 39-45 entraînent de nombreux progrès techniques. On arrive à plonger de plus

en plus profond. Les Batyscaphe de Piccard (1884-1962), en 32 ces ballon atmosphérique montent très haut. En 1948, le FNSR2 plonge à 1380m, en 54 à 4050m, en 60 le trieste plonge à 10000m. L'exploration des grands fonds océaniques peut donc avoir lieu.

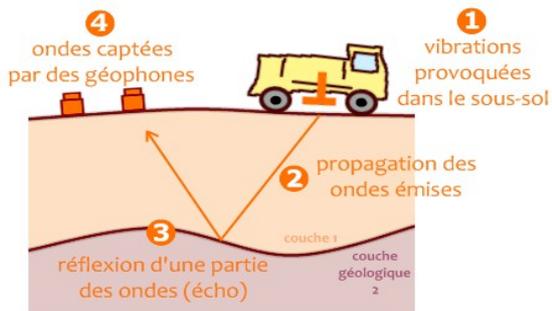
A cette époque il y a une véritable course entre les pays liés à la découverte des fonds océaniques.

On explore la partie de la dorsale océanique du rift, et aussi d'une faille transformé. On arrive alors à établir une carte précise d'une partie du fond océaniques, aujourd'hui les cartes sont de plus en plus précise lié a la recherche militaire, au sonar...

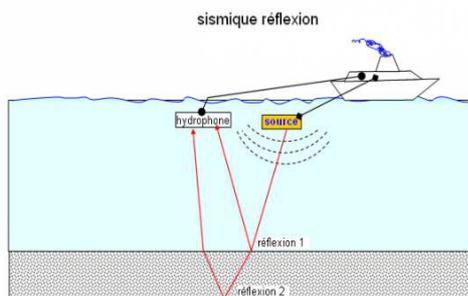
Découverte de gisement hydrothermo (flux relativement chaud) accompagné de gisement de minéraux extrêmement riche => remise en cause de la vie et de son origine.

De nos jours, les explorations continues avec des outils de plus en plus fiable et de plus en plus maniable.

Def : sismique réflexion :



La sismique réflexion utilise la réflexion des ondes sur les interfaces entre plusieurs niveaux géologiques. On utilise des canons à air comprimé en mer, des camions vibreurs ou de la dynamite à terre pour créer des ondes. Les ondes émises se propagent et sont en partie réfléchies à chaque limite de couche. Elles sont reçues par des capteurs (hydrophones en mer ou géophones sur terre). La sismique réflexion peut être monotraces ou multitraces. Dans ce dernier cas, en plus d'augmenter le rapport signal sur bruit, il est possible de calculer les vitesses des milieux traversés. Cette information permet ensuite de convertir les données en profondeur.



Sismique de réflexion en milieu marin

On réalise des sondage extrêmement profond, (ex : le Mohorovicic), on découvre la limite entre la lithosphère et l'asthénosphère.

Les carte géologique sont de plus en plus précise, et un relevé systématique de toutes les données.

→ Veille sismique : Pour être fiable, une méthode doit reposer sur un ensemble d'observations le plus large possible. Pour cela, divers sites sensibles ont été équipés d'appareils de mesure qui enregistrent en permanence les paramètres géophysiques qui peuvent annoncer l'approche d'un tremblement de terre: c'est la veille sismique.

→ programme ECORS : Étude Continentale et Océanique par Réflexion et réfraction Sismiques. Il s'agit d'explorer la croûte terrestre dans son ensemble, ses variations d'épaisseur et sa structure interne, afin de reconstituer ses propriétés et son évolution.

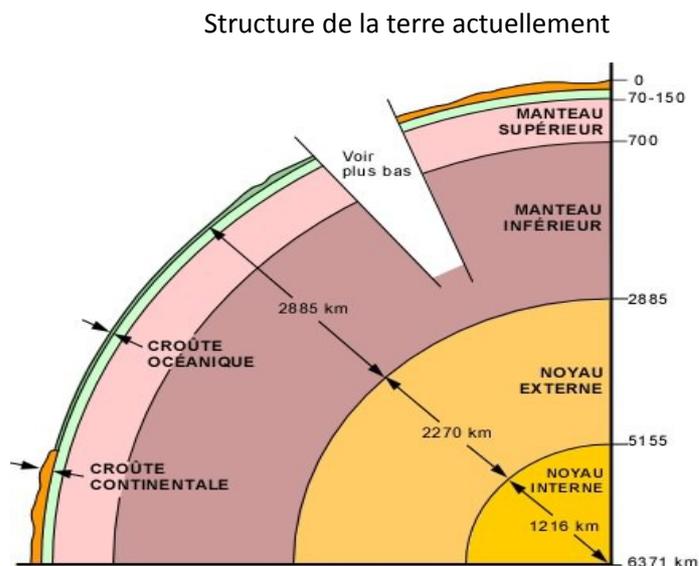
la connaissance précise des zones fracturées est utile pour le risque sismique et pour les explorations sous-marines.

III. Structure du globe

On a pensé que le globe était composé de 2 couches :

- le Sial Sima (manteau)
- et le Nife (centre de la terre cela correspondrait au noyau)

Puis on découvre la présence d'un noyau central à base de fer et de nickel.



Discontinuité sismique où se réfractent certaines ondes à une profondeur variable, c'est ce que l'on appelle le moho, le moho est la limite entre la croûte terrestre et le manteau supérieur de la Terre. En 1921, Gutenberg met en évidence une discontinuité plus profonde séparant le noyau du manteau. On a mis en évidence en 1936 d'autre discontinuité comme celle de Lehmann à 5100 de profondeur qui divise le noyau en un noyau externe (liquide) et un noyau interne (solide).

Gutenberg a prouvé qu'il fallait distinguer une croûte continentale légère composée de granite et d'une autre croûte beaucoup plus rigide.

En 1967, une étude a permis de séparer les milieux solides des milieux visqueux, les ondes sismiques se propagent plus vite dans les milieux solides que dans les milieux visqueux que dans les milieux liquides. La vitesse de ces ondes est proportionnelles par rapport aux milieux dans le quelle elle se propage.

Il existe deux types d'ondes :

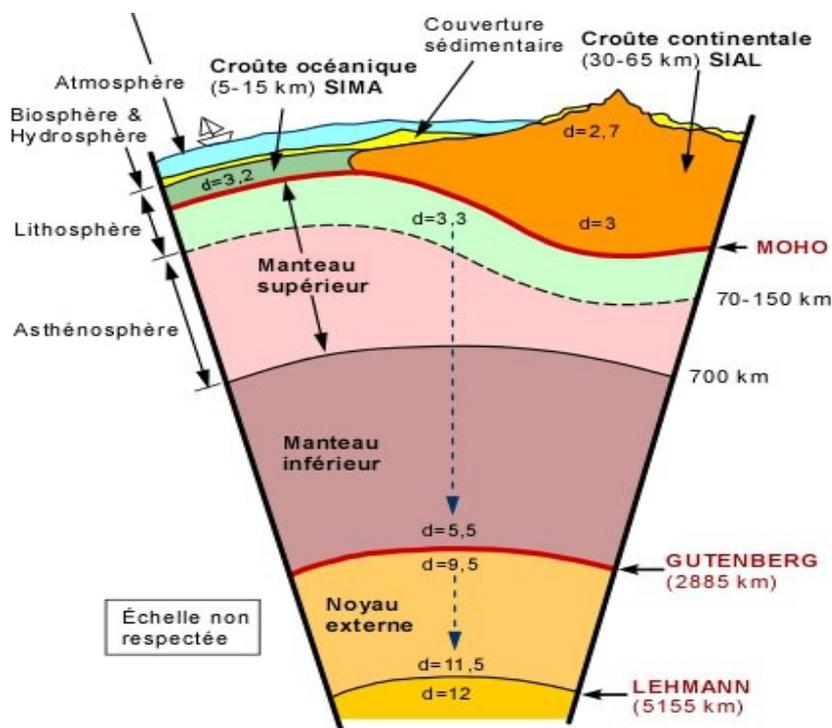
- les ondes S, ondes secondaires appelées aussi ondes de cisaillement ou ondes transversales. À leur passage, les mouvements du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde. Ces ondes ne se propagent pas dans les milieux liquides, elles sont en particulier arrêtées

par le noyau externe de la Terre. Leur vitesse est de $4,06 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Elles apparaissent en second sur les sismographes

- Les ondes P, ondes de compression ou ondes longitudinales. Le déplacement du sol qui accompagne leur passage se fait par des dilatations et des compressions successives. Ces déplacements du sol sont parallèles à la direction de propagation de l'onde. Ce sont les plus rapides ($6 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ près de la surface) et donc les premières à être enregistrées sur les sismographes. Elles sont responsables du grondement sourd que l'on peut entendre au début d'un tremblement de terre.

La différence des temps d'arrivée des ondes P et S suffit, connaissant leur vitesse, à donner une indication sur l'éloignement du séisme. On peut ainsi localiser son épicentre à l'aide de trois sismogrammes. Les ondes de volume se propagent comme toutes les ondes, et en particulier comme les rayons lumineux : elles peuvent être réfléchies ou réfractées, c'est-à-dire déviées à chaque changement de milieu, au passage manteau-noyau par exemple. Elles peuvent ainsi suivre des trajets très complexes à l'intérieur de la Terre. Leur temps de parcours dépend de ce trajet, elles n'arrivent pas toutes en même temps au même endroit.

La croûte terrestre



Le manteau serait chimiquement homogène et cristallographiquement hétérogène. Il présente des discontinuité géologique qui serait dû à des transition de phase c'est à dire à des modifications de structure la matière.

Zone de transition à 400km où la vitesse des ondes sismiques augmentent.

On passe d'une structure spinelle (structure cristalline composé d'une structure d'anion et de cation bien défini) à une structure pérovskite (structure cristalline commune à de nombreux oxydes).

Le manteau inférieur à une viscosité 30 inférieur au manteau supérieur.

Théorie de la tectonique des plaques => Mickenzie et Porker. Elle est issu de la théorie prémonitoire (Holmes et de Hess et Porker), compilation de toutes les connaissance de l'époque.

Définition :

- Tectonique : science qui étudie la déformation des roches après leur dépôts définitifs à toutes les échelles. Elle cherche à comprendre l'origine de ces déformation et comment elle se déforme.
- Plaque : c'est un volume réputé rigide qui est peu épais par rapport à sa surface
- Subduction : enfoncement en ampleur d'une portion de plaque sous une autre.
- obduction : chevauchement de grande surface par une plaque océanique d'une zone de croûte continentale, on les retrouve sur les arcs insulaire et les marges continentales. Elle se marque en surface avec la présence de complexe ophiolitique (Les ophiolites sont un ensemble de roches appartenant à une portion de lithosphère océanique, charriée sur un continent lors d'un phénomène de convergence de deux plaques lithosphériques (par obduction)).
- minéral), ils marquent tous les grands charriages (déplacement de matière).
- Accrétion : augmentation de volume d'une accord par ajout de matière extérieur on a deux types d'accrétion :
 - accrétion continental ou prisme d'accrétion
 - accrétion océanique à partir de l'émission de basalte au niveau de la dorsale (du rift océanique).

Le diamètre de la planète ne varie pas sensiblement dans le temps géologique, il y a création continue de plancher de croûte océanique le long des dorsale océanique.

Ces deux faits entraîne physiquement une destruction du matériel de surface (croûte) et réincorporation de se matériel dans les magma interne du globe (le manteau).

Sur notre globe il y a très peu de terrain très ancien (les plus vieux 600 millions d'années, fin du précambrien), les plus vieux sédiments métamorphisé connu (avec fossiles, des stromatolites 2,4 milliard années). Les stromatolites sont des constructions de récifs calcaires liés à la croissance de cyanophycées (algue bleu => photosynthèse) qui elles fixent le calcaire. Ces stromatolites sont les premier organismes photosynthétiseur apparu sur notre globe et il existe toujours.

La plus grande partie des très vieux granites ne dépassent pas 2,5 milliard d'années à l'époque du carélien et on en trouve qui ont 1 milliard d'année dans le briovérien mais la plus part date du cambrien (570-510 millions d'années). Ces granites datent pour la plus part du cycle orogénique calédonien, puis le cycle hercynien est de direction général relativement est-ouest (massif central, Pyrénées etc...).

Ces observations ont permis de déterminer les grandes lignes de la structures interne de la planète, de regardes des subduction en pleine action mais aussi de déterminer l'âge des planchers océaniques.

Les croûtes océaniques sont toutes jeunes (les plus vielle datent de la fin du jurassique moyen 160 millions d'années), elles se trouvent dans le nord ouest de l'océan pacifique, dans une partie de l'océan atlantique, du Sahara et le long des côtes est des E.U.

Cela est dû au renouvellement constant de ce plancher, on parle d'expansion des fonds océaniques.

La dorsale se confond avec une faille transformante.

On fait des datations relatives par analogie par rapport à l'orientation du magnétisme terrestre c'est l'étude du paléomagnétisme.

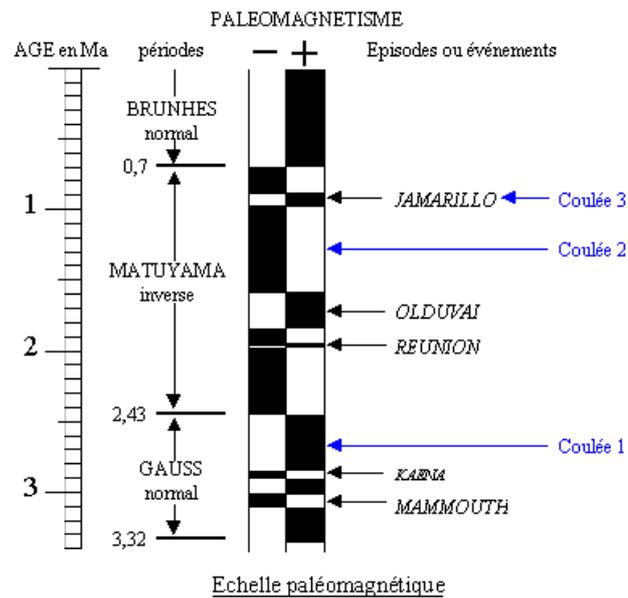
La planète Terre est pourvu d'un champs magnétique lié au caractéristiques de son noyau. Ce champs électro-magnétique fait que les particules de roches sensible au magnétisme vont s'orienter dans le sens de ce champs. Lorsque que les éléments (fer et autre) ne peuvent plus se déplacer dans la rocher ils sont fixer dans leurs direction respectives (ex : basalte froid). Ainsi on connaît le champs magnétique existant lors de l'émission des laves.

Le champs magnétique varie dans le temps (découvert par le géophysicien français Bernard Bruhnes). On

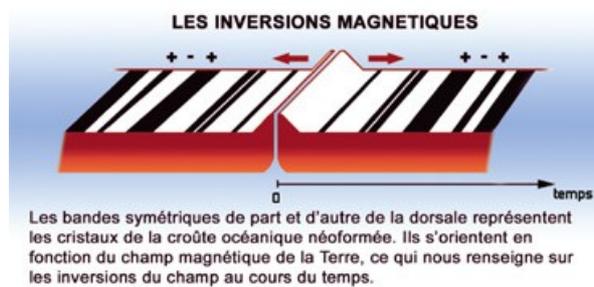
s'en aperçoit car les roches ont une rémanence magnétique et qu'elle n'indique pas tout le temps le même nord, il y a des inversion du champs magnétique. A la même époque Motonori Matuyama fait la même observation au Japon et montre que cela à une signification du point de vue temporelle. Ils concluent à l'existence d'inversion multiple de ce champs à l'intérieur du globe (noyau). Cette théorie fut réfutée à l'époque.

Il faut attendre les années 60 avec les progrès scientifique pour que cela évolue.

En 1960 Rémanence et Reynolds ainsi que Verhoogen s'unissent pour étudier les basaltes pour étudier l'orientation du paléomagnétisme puis en 60-66 la réalité des inversion du champs magnétique va être démontré.



Toutes ces inversion sont brutal est quasi instantané la durée est extrêmement irrégulière. Cette orientation étant fixer dans la lave (coulée continental et plancher océanique) en étudiant l'orientation magnétique on peut ainsi établir une chronologie. En effet on peut avoir la chronologie de l'expansion océanique, cela permet de bien marquer les différence entre les plaques



Cela permet aussi de marquer les failles transformantes permettant le coulissement des plaques en fonction de la latitude.

Les failles transformante sont des zones de coulissage .

C'est le plancher océanique qui est recycler le plus rapidement. Le volume global de la masse continentale n'a pas varier depuis le précambrien et comme il y a accrétion continental il faut bien qu'il y est un certain recyclage.

IV. Construction et recyclage des plaques océaniques

x **Déplacement des plaques lithosphériques**

L'ensemble des plaques lithosphériques est affecté d'une dérive vers l'ouest, le pôle nord de rotation du globe est situé sur la côte ouest. La vitesse angulaire est de $0,15^\circ$ pour la dérive des continents qui se fait sur une surface plus ou moins sphérique. Cela entraîne des ruptures théoriques dans les plaques selon les parallèles. Ces ruptures servent à compenser ces vitesses différentes.

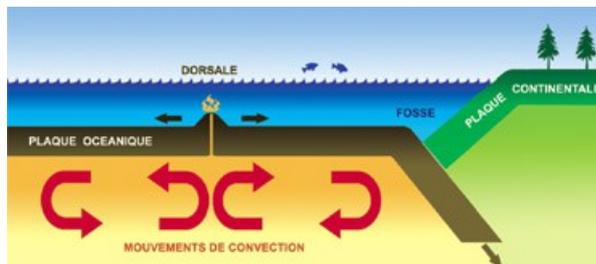
L'activité de ces failles transformantes est agrémentée de séries de séismes violents.

Les courants ont un rôle dans ces mouvements des plaques lithosphériques ce qui fait que ces plaques ont en réalité des déplacements variables en vitesse.

x **L'origine des dorsales du rifting**

On sait que la lithosphère est rigide et que le reste du manteau supérieur est ductile (elle peut s'étirer) c'est l'asthénosphère. De plus la composition chimique du manteau supérieur est relativement homogène. Les mouvements au sein de l'asthénosphère sont liés essentiellement à la réaction thermonucléaire des éléments qui composent l'essentiel du globe.

Les courants de convection sont recyclés et perturbés par des phénomènes d'isostasie et par des intrusions d'éléments venant des couches plus internes (dégazage).



La convection océanique est la circulation générale des eaux de l'ensemble des océans. Elle met en mouvement, grâce à des courants superficiels et des courants profonds, toute l'épaisseur d'eau des principaux océans, notamment l'océan Atlantique, l'océan Indien et le Pacifique. Cette convection océanique est dite aussi thermohaline, car elle est liée à la température et à la salinité de l'eau de mer.

→ **Existence de point chaud** : cheminée qui sont géographiquement et dynamiquement stable durant d'assez longue période. Leur origine est très profonde (min 700km), ils sont peut-être liés à la concordance d'éléments plus profonds.

Les matériaux éjectés sont des basaltes fluides et chauds d'origine océanique. L'Islande Basalte, ils sont riches en éléments dits rares (ceux à la surface du globe) par exemple l'iridium.

rôle les points chaud ont plusieurs rôles :

- participe au dégazage de la planète
- il amène de très grande quantité de basalte alcalin qui peuvent produire des épanchements énormes qui forment de grands plateaux basaltiques nommés Trapp, constitué de basalte magnésien Océan Floor Basalte.
- Il participe à une zone de distension de la croûte, remontée de matériel profond puis début de création d'un plancher océanique, ce n'est qu'un facteur de participation.

Un point chaud naît donc de la présence inhabituelle de matériel mantellique profond et chaud à la base de la lithosphère. Une telle anomalie thermique est générée par l'ascension vers la surface de remontées mantelliennes sous la forme d'un panache, leur densité étant inférieure à celle des terrains traversés alors appauvris en éléments traces. Mais la structure et l'origine des panaches mantelliennes sont encore peu connues. Il semble acquis que la plupart se forment vers 700 km de profondeur, limite entre l'asthénosphère et le manteau inférieur, mais il n'est pas exclu qu'ils prennent naissance plus en profondeur, notamment vers 2900 km, à la limite supérieure du noyau. La présence occasionnelle de zones de fusion locale et massive au niveau de l'interface manteau-noyau pourrait alimenter de puissants panaches.

d'origine profonde. Les interactions physico-chimiques entre la base du manteau et le noyau solide, dont la rotation est plus rapide que celle du manteau, initieraient d'importants flux de chaleur permettant cette fusion.

→ **Phénomène de rifting**, il a toujours existé, on sait qu'il est à l'origine des grabens (faussée effondrement), des océans.

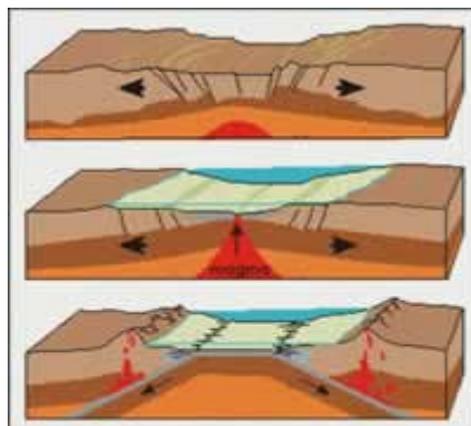
Plusieurs causes à ce phénomène :

- la lithosphère qui possède une certaine souplesse, elle est capable de se déformer à grands rayons (de se gondoler), c'est ainsi qu'une pression exercée sur un point entraîne des déformations de cette plaque loin de ce point. Ces déformations peuvent être de sens inverse. Ces gondolements entraînent des ajustements du manteau et donc des courants.
De même lorsqu'elle subit une surcharge, c'est le *phénomène d'isostasie*.
- Courants dans l'asthénosphère qui sont ascendants et descendants et également des courants à composante latérale dominante.
- Panache est une remontée de roches anormalement chaudes, provenant du manteau terrestre. Comme la partie haute des panaches peut fondre partiellement en atteignant des profondeurs faibles, on suppose qu'ils sont à l'origine de centres magmatiques tels que les points chauds, et sont sûrement à l'origine des coulées basaltiques de trapps.
d'origine profonde relativement chaude qui permettent une érosion thermochimique de la lithosphère.
- Il existe des phénomènes thermiques. On parle d'intumescence thermique, granite plutonique de pluton (magma monté dans la lithosphère qui n'arrive pas jusqu'à la surface), augmentation de la densité entraîne une anomalie gravimétrique qui entraîne des effondrements (apparition de failles normales pour rattraper la longueur qui se crée).

La chaleur du panache provoque une augmentation de la température locale qui, additionnée à la décompression adiabatique, produit une fusion partielle à la base de la lithosphère. Le diamètre du panache s'élargit jusqu'à atteindre 100 voire 150 km de diamètre à la base de la lithosphère, ce qui produit alors en surface un fort débit de laves de nature tholéitique (Hawaï, La Réunion). En compensation du changement de densité engendré par le changement de température à la base de la lithosphère, il se produit un soulèvement isostatique matérialisé en surface par une *intumescence thermique* en forme de bombement topographique.

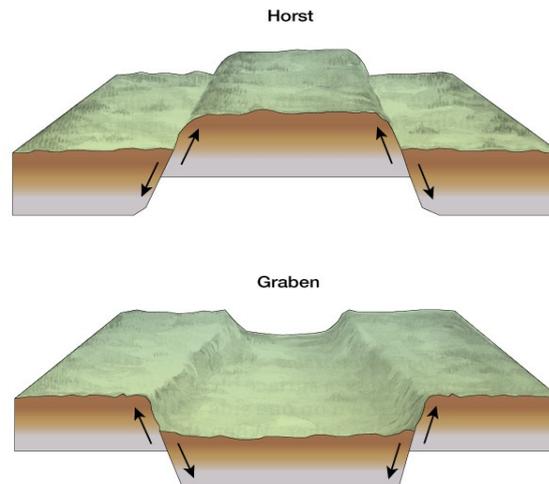
- Début du rifting (schéma du rifting)

Un courant asthénosphérique ascendant se place sous le continent qui entraîne une distension de la plaque continentale, il y a un système de failles qui se met en place. Ces failles peuvent éventuellement devenir listriques (de forme parabolique qui peut descendre jusqu'au manteau), elles permettent la remontée de magma le long des plans de failles (surface de coulissement). Comme la lithosphère est amincie, le courant ascendant se renforce et la montée de magma qui va avec. L'intumescence thermique s'accroît ce qui entraîne des sur-élévations. Il peut se manifester un volcanisme alcalin d'origine profonde.



Si le processus s'arrête à ce stade il va y avoir un refroidissement progressif de l'asthénosphère ce qui donne un batholite (massif) . Avec le refroidissement du magma, il y a une détumescence thermique qui provoque un effondrement. Cette affaissement accroît l'opposition topographique entre les bordure et le fond qui s'effondre. Tout ceci forme un fossé d'effondrement.

Il y a formation de *graben* et de *horst*



Si le processus se poursuit, il va y avoir une perte de pression au niveau de la remontée de magma. Cette perte de pression provoque une sorte de liquéfaction du magma qui devient plus fluide, il peut alors s'infiltrer de partout. On estime que entre 2 à 10% viennent en phase liquide mais cela suffit pour que l'ensemble du magma se conduisent comme s'il était liquide.

Si l'éruption a lieu dans le graben il y a des fissures crustales. Dans ce cas la on a des magma de type profond. Il y a naissance d'une dorsale océanique et donc d'une croûte océanique (même si l'on se trouve au dessus du niveau de la mer).

Ensuite si le phénomène continue les bordure fessant la jonction avec la croûte continental s'éloigne, elles sont repoussée (elles peuvent former des marges passives). Il y a un écartement de ces marges au fur et à mesure que ces croûtes se froment (accrétion océanique). Il se forme alors généralement un *golfe* océanique avec une forme triangulaire et une dorsale plus ou moins au centre, dans d'autre cas il peu être longiligne (mer rouge). A mesure que les lèvres (les bords) s'éloignent l'une de l'autre, la détumescence thermique s'accroît. Dans la plupart des cas les marges passives sont sous-marine → elle forme le *plateau continental* .

On suppose que tous les phénomène se déroule de manière symétrique , c'est un *cisaillement pure*. Très souvent ces phénomènes ne sont pas symétrique.

Il peut y avoir une tension de traction plus importante d'un coté que de l'autre il y a donc un étirement dissymétrique : c'est un *cisaillement simple*.

Les failles normales sont des failles qui reposent sur une grande zone de décrochement sur un plan horizontal, elles peuvent traverser le moho et se perdent au niveau de l'asthénosphère.

La remontée maximal de l'asthénosphère ne correspond pas à l'axe du rift.

Cette dissymétrie entraînent des basculement de bloc est une d'émulation du manteau supérieur.

Si le mouvement continu il va se créer un système de rift avec dorsale océanique et donc accrétion puis écartement des deux lèvres.

La dynamique du mouvement de ces blocs qui bascule s'arrête lors de l' intumescence océanique.

– une sédimentation pré-rifting, le bloc étant basculé la sédimentation aussi.

– sédimentation syn-rifting (contemporaine du phénomène de rifting),

olistostromes : C'est un dépôt sédimentaire ensemble chaotique de matériaux hétérogènes, tels que de la boue et des gros blocs, connus sous le nom d'olistolithes (ou olistolites). Ils s'accumulent dans le cadre de glissements gravitaires sous-marins d'ensembles semi-fluides ou d'effondrements de sédiments non consolidés. Il s'agit d'unités stratigraphiques dépourvues de véritables litages mais pouvant s'intercaler au sein de séquences litées normales, comme dans le bassin tertiaire du centre de la Sicile.

On parle de courant de turbidité lorsque que les roches sont le produit d'un écoulement de sédiment s détritique du haut vers le bas d'un talus continental sous marin.

– Sédimentation post-riftinif : elle est plus ou moins horizontal sauf sur les marges où l'on peut avoir des glissements (courant de turbidité), on appelle ceci des turbudite de progradation.

V. Le devenir de la croûte océanique

Le plancher océanique en refroidissant se contracte et perd du volume et théoriquement il s'amincit, mais sa densité augmente, il s'enfonce alors sous l'asthénosphère. Il entraîne aussi le refroidissement de la pellicule d'asthénosphère qui est à sa surface. Il va en réalité s'épaissir en prélevant de l'asthénosphère qui refroidi à sont contact.

Au plus on s'éloigne de la dorsale au plus il y de grandes épaisseurs d'eau, cela dépend de la distance à la dorsale et de l'épaisseur des sédiments couvrant la plaque.

Tout ce qui est issus des point chaud tel que les récif coralliens se construisent au flanc de ces volcans qui immergent.

On a deux types de marges continentale :

– **marges passives** : correspond à la zone de transition entre la croûte continentale et la croûte_océanique (plaine abyssale) quand il n'y a pas de subduction La marge correspond alors à l'une des deux épaules du rift qui a initié l'ouverture océanique (l'autre épaule du rift se trouve de l'autre côté de l'océan).

on en distingue deux sous-type : - marges continental nourri (régulière)
- marges continental maigre

On parle de **marges maigres** ou de **marges nourries** selon la quantité de sédiments qui vont se déposer. L'épaisseur de sédiments dépend de la latitude (il y a plus de dépôts au niveau de l'Equateur que dans les zones arctiques) et de la présence de fleuves amenant des sédiments dus à l'érosion. La structure des marges maigres est plus lisible du fait de la moindre épaisseur de sédiments. La marge armoricaine du golfe de Gascogne est une marge maigre. Les marges nourries sont moins lisibles d'autant que la présence de barrière de corail peut augmenter localement la hauteur de sédiments.

Il existe des **marges de coulissement**, marges limitées par des failles verticales de grande profondeur sans bloc basculé (par exemple une faille transformante). Exemples de la cote SW du Spitsberg et de la cote de la Cote d'Ivoire avec un passage sans transition aux plaines abyssales.

Marges **dissymétriques**. Cas d'un découplage lithosphérique avec une grande faille inclinée (modèle de Vernicke). Exemple de la marge européenne lors de la formation des Alpes avec la présence de l'île briançonnaise. Possibilité de remobiliser des failles inverses en failles normales : failles hercyniennes remobilisées lors de la compression alpine.

X **marges continentales actives** : Ce sont des marges passives où les activités sismiques ou volcaniques reprennent. Cette reprise est due à la présence d'une zone de subduction et à l'activité volcanique associée (arc volcanique).

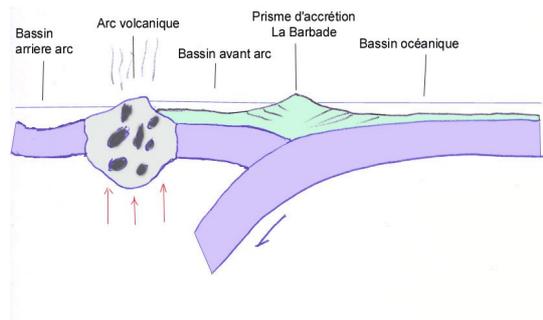
Il y a des fosses de subduction, lié à la présence d'arc insulaire dérivé. Il y a deux types de subduction l'une intra-continental (de type A) et l'autre de type B.

La pente d'une fosse de subduction est faible coté océan, la croûte continentale prend une forme bombée très faillée. Le fond de la fosse est plat, plus ou moins rempli de sédiments.

X subduction de type B :

Plaque océanique contre plaque continentale. Régime tectonique compressif, ce régime distensif peut aboutir à un véritable émiettement de marge continentale qui aboutit à la formation d'un arc insulaire séparé du continent par le bassin d'arrière arc qui peut lui même aboutir à l'apparition d'une mer marginal à croûte océanique. Il existe toujours une fosse trench qui marque le plongement de la plaque océanique sous la plaque continentale.

Un prisme d'accrétion se développe entre la fosse et l'arc volcanique dans un peu plus que la moitié des marges actives. Il est formé d'écailles sédimentaires chevauchantes (offscraping). Exemple de la subduction sous le Japon où les écailles arrachées au plancher océanique (offscraping) forment le prisme.



Lorsque la subduction est tirée par l'enfoncement d'un vieux plancher, de la distension apparaît avec un volcanisme associé. Dans le cas d'une subduction tirée, les sédiments se décrochent du plancher océanique et donnent naissance à un prisme d'accrétion (premier cas ci dessus).

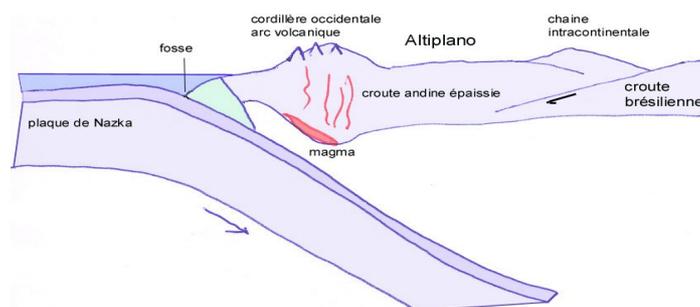
Coté continent, il s'agit : soit du substrat de l'arc volcanique et les sédiments apportés à la fosse sont totalement engloutis dans la subduction, soit d'un empilement de lames de sédiments d'origine océanique. Les sédiments apportés par le plancher océanique ne s'enfoncent pas ou pas en totalité et il y a formation d'un prisme d'accrétion. Les zones de subduction ne signifient pas toujours qu'il y a des fosses de subduction comme dans le cas des Mariannes, cela est fonction de l'angle de la subduction et de la rigidité de la plaque. Quand la densité du plancher océanique est forte, la plaque subduite plonge presque verticalement.

Le plan de Benioff influe sur les marges passives suivant son pendage. Il y a apparition d'un prisme d'accrétion tectonique dit arc sédimentaire et en aval un arc continental (peut être simple, dédoublé ou absent). Dans tous les cas de pendage du plan la sismicité peut être importante.

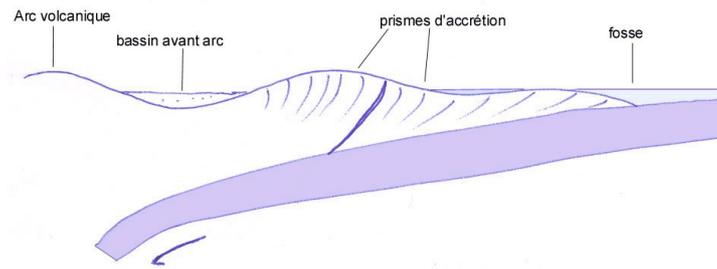
X Subduction de type A :

Dans le cas d'une subduction poussée, il n'y a pas ou peu de prisme d'accrétion. Exemple des Barbades et de l'Indonésie où il y a des prismes d'accrétion et du Chili où il n'y a pas de prisme d'accrétion.

Dans le cas d'une subduction plongeante, un bassin arrière arc apparaît. Le cas du Chili, Altiplano, n'a rien à voir avec un bassin arrière arc.



En amont d'un prisme d'accrétion suffisamment important, il se forme un bassin avant arc entre l'arc volcanique et l'arc sédimentaire.



Lors de la subduction, les reliefs de la plaque subduite peuvent être scalpés et déplacés, c'est un peu le cas du Djebel Micht vu en Oman qui est le cratère d'un volcan (point chaud) arraché et transporté au-dessus du plancher océanique subduit. Dans d'autres cas, ces reliefs peuvent bloquer la subduction : cas du séisme de Kobé où un volcan sous-marin a bloqué la subduction probablement pendant tous les temps historiques et il a brutalement lâché, la zone n'était pas jugée car l'activité sismique y était très faible ou inexistante.

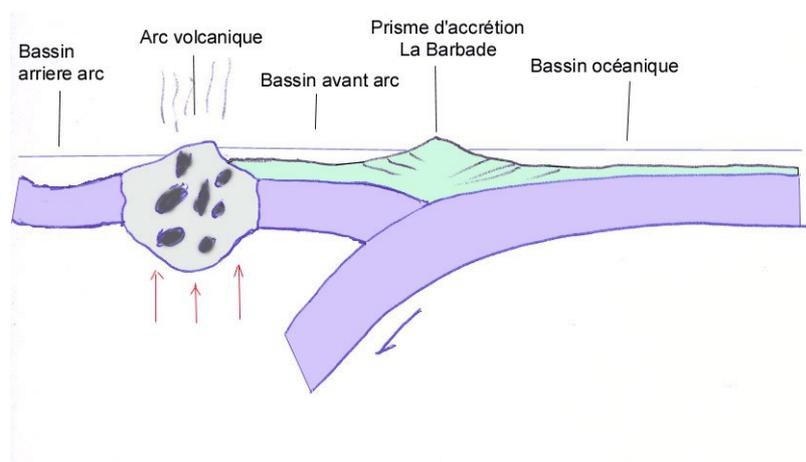
VI. Éléments des marges actives

la fosse de subduction : c'est dans ces fosses que l'on retrouve les plus grandes profondeurs, le plancher océanique présente souvent un bombement à grand rayon de courbure qui forme une voûture. Le fond de la plaque continentale est beaucoup plus raide.

Tous les reliefs sont engloutis dans la fosse, certains sont enfouis et d'autres ne vont pas arriver à passer et vont se trouver coincés dans l'arc sédimentaire et vont donc s'y mélanger.

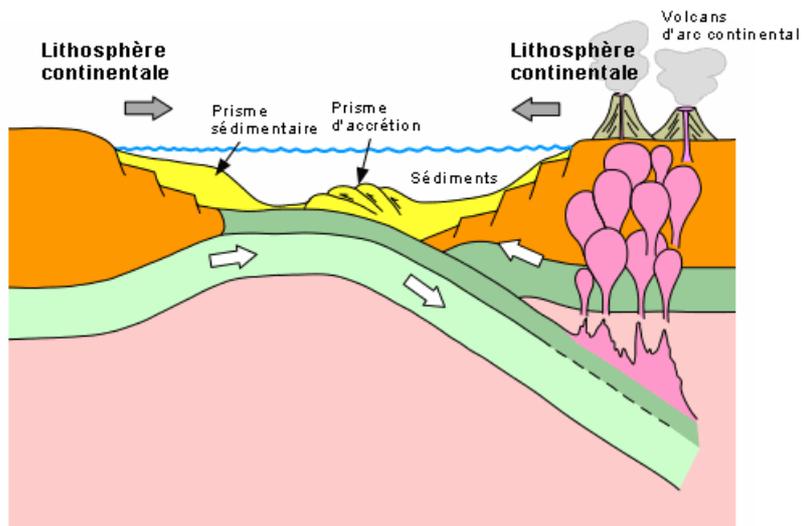
x Bassin d'arrière arc

Du côté de la pente continentale est la bordure extérieure bar volcanique, cette croûte continentale présente de nombreuses failles de distension. Elle forme un bassin d'arrière arc. Les sédiments venant dans la fosse sont tous subduits et engloutis avec la plaque océanique.



La pente peut également apparaître comme faible, cette pente correspond à un plongement => cela entraîne la formation d'un prisme d'accrétion tectonique (arc sédimentaire). L'angle étant faible les sédiments sont légèrement entraînés en subduction et subissent l'effet de la plaque continentale.

Le prisme d'accrétion est souvent en compression, il se trouve principalement en bordure continentale. Ils se forment lors de la convergence.



Généralement il apparaît un arc insulaire qui apparaît au large de l'arc volcanique et éventuellement il peut apparaître un petit bassin (marin ou non). Il y a une véritable complexité stratigraphique et sédimentaire, en effet si la structure est à chevauchement on y retrouve des plis et des vergence océaniques. On retrouve des glissements qui aboutissent à des brèches tectoniques.

Il y a émissions d'onde sismique. Il y a un échauffement de la plaque continentale et une augmentation de pression de la tectonique de la Terre, on atteint des forte température de pression. La croûte subduite subit un métamorphisme qui la fait passer du stade amphibole (à section transversal logensique) à celui d'éclogite (une partie formé à la base de la croûte et par la fusion des péridotite). Ce métamorphisme entraîne une déshydratation du matériel, ce fluide aqueux qui est léger => fusion partiel des éclogite et amphibole entraînant des remontées de magma. Les fluide magmatique pénètre dans la croûte et continu leur ascension. Cette remontée elle n'est généralement pas continu : il se forme dans la croûte des chambre magmatiques dans lesquelles les magma s'accumulent. Puis il y a cristallisation de magma plutonique qui peuvent se cristalliser avec d'autre magma comme les magma d'anatexie. Les chambres magmatiques peuvent être au fond et superficielle (à quelques kilomètre), en fonction des jeu de faille soit les magma sont : bloqué dans leur chambres et cristallise formant des batholite de granite, soit il remonte à la surface en donnant naissance à un volcanisme extrêmement divers. L'apparition de ce volcanisme donne naissance à des arcs volcaniques.

x Arc volcanique :

dû à la zone de fusion des roches subduites. Il est parallèle à la fosse océaniques, il est toujours en aval de la zone de subduction. La distance entre la ligne de subduction est l'arc est variable

x foyer ou hypocentre

On observe des foyer ou hypocentre de séisme. Ces foyer sont le lieu ou se produit le premier ébranlement, le lieux ou a lieu le mouvement du déplacement relatif. Les foyers se répartissent sur le plan de Benioff.

x Arc magmatiques

on parle d'un arc magmatique lorsque le magma n'arrive pas à la surface. Élément volcanique essentielle des marges actives convergentes.

4 type morphologique différents :

- arcs insulaire interocéanique
- arcs insulaire à substrat continental séparé d'une masse continental par une mer marginal (Ex : au Japon)
- arc volcanique installé sur la bordure émergé d'un continent
- arc intermédiaire qui peuvent être sur des péninsule continental émergé ou bien il peuvent être sur

une véritable bordure continentale.

Les trois derniers arcs sont installés sur des croûtes continentales pouvant être plus ou moins amincies par distension.

Rappel : tous les arcs volcaniques sont plus ou moins parallèles à la zone de subduction. La distance varie en fonction de l'importance et de la qualité du plancher océanique (sédiments), puis la distance varie en fonction de l'âge de ce plancher. Ces arcs volcaniques apparaissent la plupart du temps à une distance supérieure à 100 km de la ligne de subduction. L'apparition du volcanisme est fonction de la vitesse de remontée du magma.

Différents types de volcanismes dans les arcs insulaires

Genèse des rhyolites liée à une différenciation de magma basaltique.

→ rhyolites : certaines variétés entièrement creuses

→ andésites

→ les dacites : roches magmatiques, un vert abondant en particulier du quartz.

Les arcs insulaires émettent principalement des andésites et des dacites.

Les volcans sont souvent arqués et en bordure de subduction et de rift ou sur des cassures du rift. Les basaltes riches en tholéïtiques peuvent se différencier suivant leurs états. Les constructions des volcans sont très complexes. On distingue les formes volcaniques :

- Type vulcanien : leur forme de cône est variable, peut être former uniquement de lave soit une inter-stratification du type Strombolien. Des cônes formés de scories dominés par des ponces les éruptions peuvent être latérales, lorsque les chambres se vident il se forme un creux et il peut se produire un effondrement du centre du volcan qui donne un cratère appelé une *caldera*. Certaines peuvent être liées à des explosions. L'ensemble des matériaux solides et liquides sont appelés des *téphras*. Les nuées ardentes sont appelées pyroplastiques qui sont issues de violentes explosions capables de transporter des masses considérables de lave, elles se déplacent à grandes vitesses.

–