

Deuxième partie : La Dynamique interne de la planète

Chapitre 4 : Tectonique des Plaques

La **tectonique des plaques** (qui complète la théorie appelée *dérive des continents*) est un **modèle** actuel du fonctionnement interne de la **Terre**. Elle est l'expression en surface de la **convection** qui se déroule dans le **manteau terrestre**.

I. Introduction :

La théorie de **la dérive des continents** reçut un accueil plutôt **hostile**.

Wegener fut traité de charlatan par les géologues et géophysiciens.

Les objections les plus sérieuses concernaient les mécanismes mêmes de la dérive des continents.

Wegener suggérait un glissement des blocs continentaux sur les matériaux constituant les fonds océaniques (à la manière des îles flottantes sur la crème anglaise), sous l'effet de forces liées à la rotation de la Terre.

Mais ni le comportement des roches, ni les forces évoquées n'apparaissaient compatibles avec de tels mouvements.

I. Introduction :

Le modèle fut ainsi oublié jusque dans les années 1950.

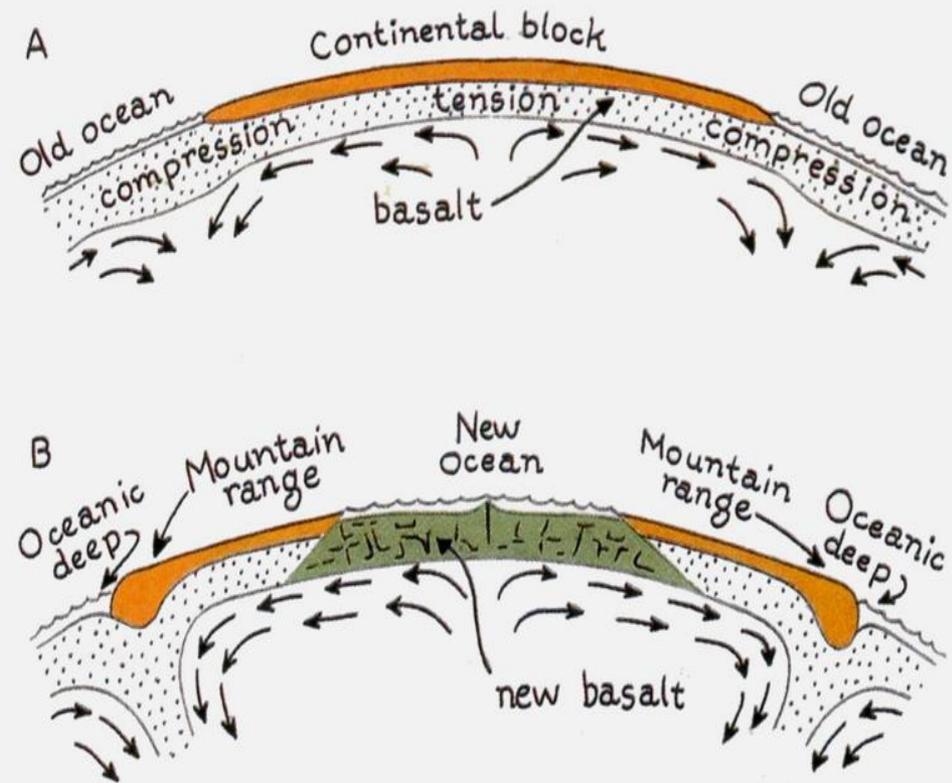
- Le développement de l'exploration des océans (océanographie),
- l'observation des dorsales océaniques, l'exploration des fosses océaniques (père Piccard record profondeur dans la fosse des Mariannes) fit alors émerger un nouveau modèle mobiliste,
 - Le nouveau modèle explique les mêmes faits de la dérive des continents,
 - mais avec des mécanismes tout à fait différents : c'est le modèle de **la tectonique des plaques**.

L'après Wegener : l'ébauche de la théorie des plaques

1er modèle

Le schéma ci-contre est le dessin original proposé en 1945 par Holmes, professeur de géologie à l'Université d'Édimbourg et spécialisé dans l'étude de la chaleur interne du globe. Pour lui, les matériaux du manteau, surchauffés par la radioactivité et devenus « fluides », se déplaceraient lentement en profondeur (un peu comme l'eau qui se déplace dans une marmite en ébullition). Ces **mouvements de convection** sous la croûte continentale auraient provoqué sa fracturation en plusieurs morceaux qui auraient ensuite dérivé. Le magma basaltique montant dans les fractures formerait le nouveau plancher océanique qui s'élargirait progressivement, éloignant les continents les uns des autres. Holmes envisage même que dans certaines régions du globe, il doit y avoir des zones de destruction de la croûte terrestre qui compensent son mécanisme de formation puisque le globe terrestre a un volume constant.

Ce modèle était, en 1945, prémonitoire et relativement proche du modèle actuel de la tectonique des plaques, mais Holmes n'avait pas les données pour le démontrer ; il faudra encore une vingtaine d'années pour apporter des preuves et valider ses aspects essentiels.



modèle d'Arthur HOLMES – 1945

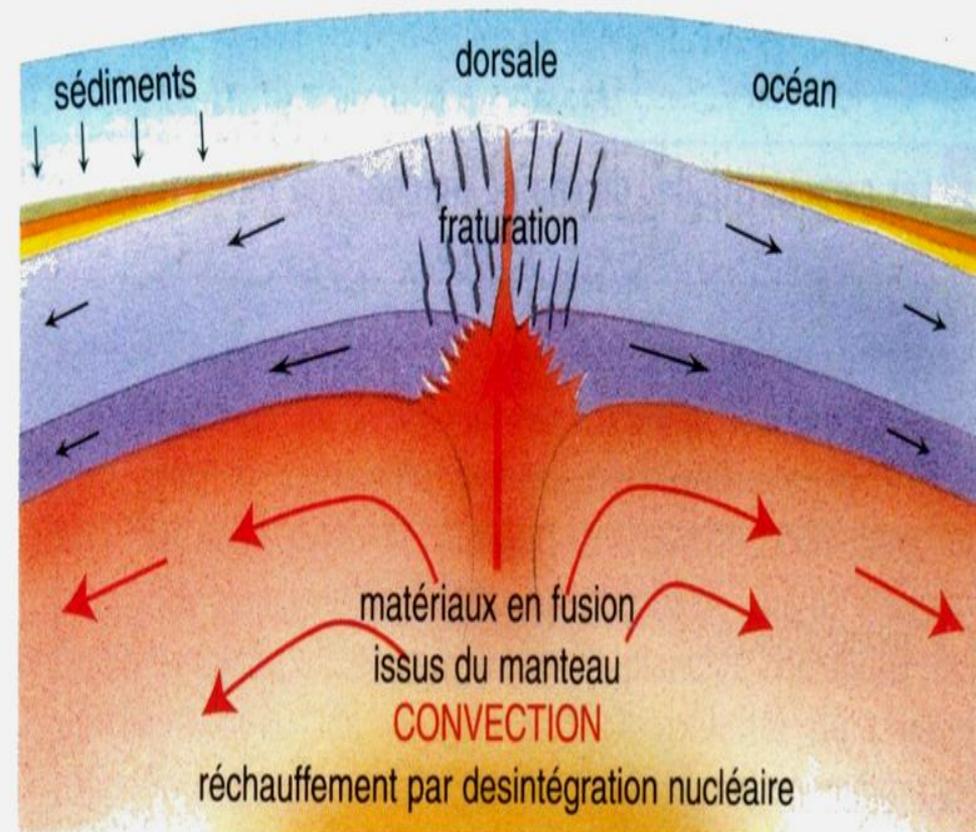
2^{ème} modèle

Harry Hess était professeur de géologie à l'Université de Princeton. Il commandait, pendant la seconde guerre mondiale, un sous-marin de la marine américaine et, à l'occasion de ses missions, il levait la carte bathymétrique des zones où il croisait dans le Pacifique Sud. La découverte des reliefs sous-marins (dorsales, fosses, pics sous-marins, etc.) l'amena à s'interroger sur l'origine de cette topographie étonnante.

Alliant ses connaissances géologiques d'une prodigieuse diversité à ses observations, il en vint à proposer en 1962 l'hypothèse du « **double tapis roulant** » des fonds océaniques.

Cette hypothèse intégrait les idées de Holmes sur les courants de convection dans le manteau mais elle précisait leur ascendance au niveau des dorsales. De plus elle donnait une interprétation plus précise des mécanismes au niveau des fosses océaniques.

modèle d'HARRY HESS - 1962



Introduction :

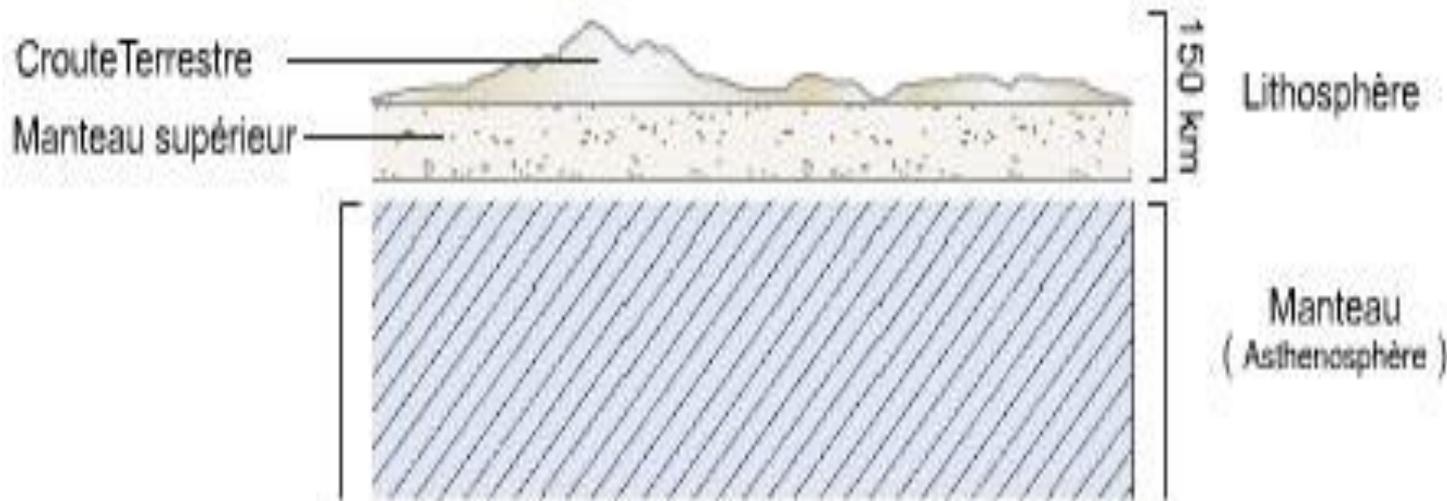
La **tectonique des plaques** (qui complète la théorie appelée *dérive des continents*) est une théorie scientifique qui propose que les déformations de la lithosphère soient reliées aux forces internes de la terre.

Elle est l'expression en surface de la convection qui se déroule dans le manteau terrestre.

Ces déformations se traduisent par le découpage de la lithosphère en un certain nombre de plaques rigides qui bougent les unes par rapport aux autres en glissant sur l'asthénosphère.

Présentation :

Si on fait une coupe de notre planète on obtient schématiquement une croûte d'environ **70 km** d'épaisseur formant avec la partie supérieure du manteau terrestre une couche de **100 à 150 km**.

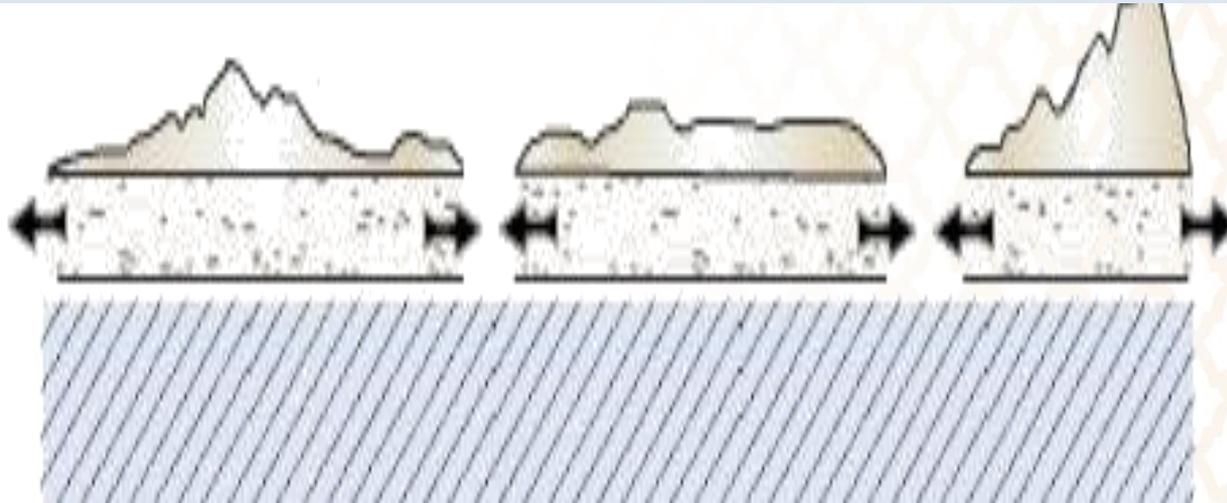


Les couches "supérieures" de la Terre

C'est ce qu'on appelle la **Lithosphère**, un terme qui signifie très simplement la "sphère de pierre"

Cette lithosphère n'est pas une couche continue.

Elle s'assemble en plaques qui se déplacent, se heurtent, "dérivent" à la surface de la terre, et même parfois s'assemblent comme les pièces d'un puzzle qui recouvre toute la planète.



Mouvements des plaques terrestres

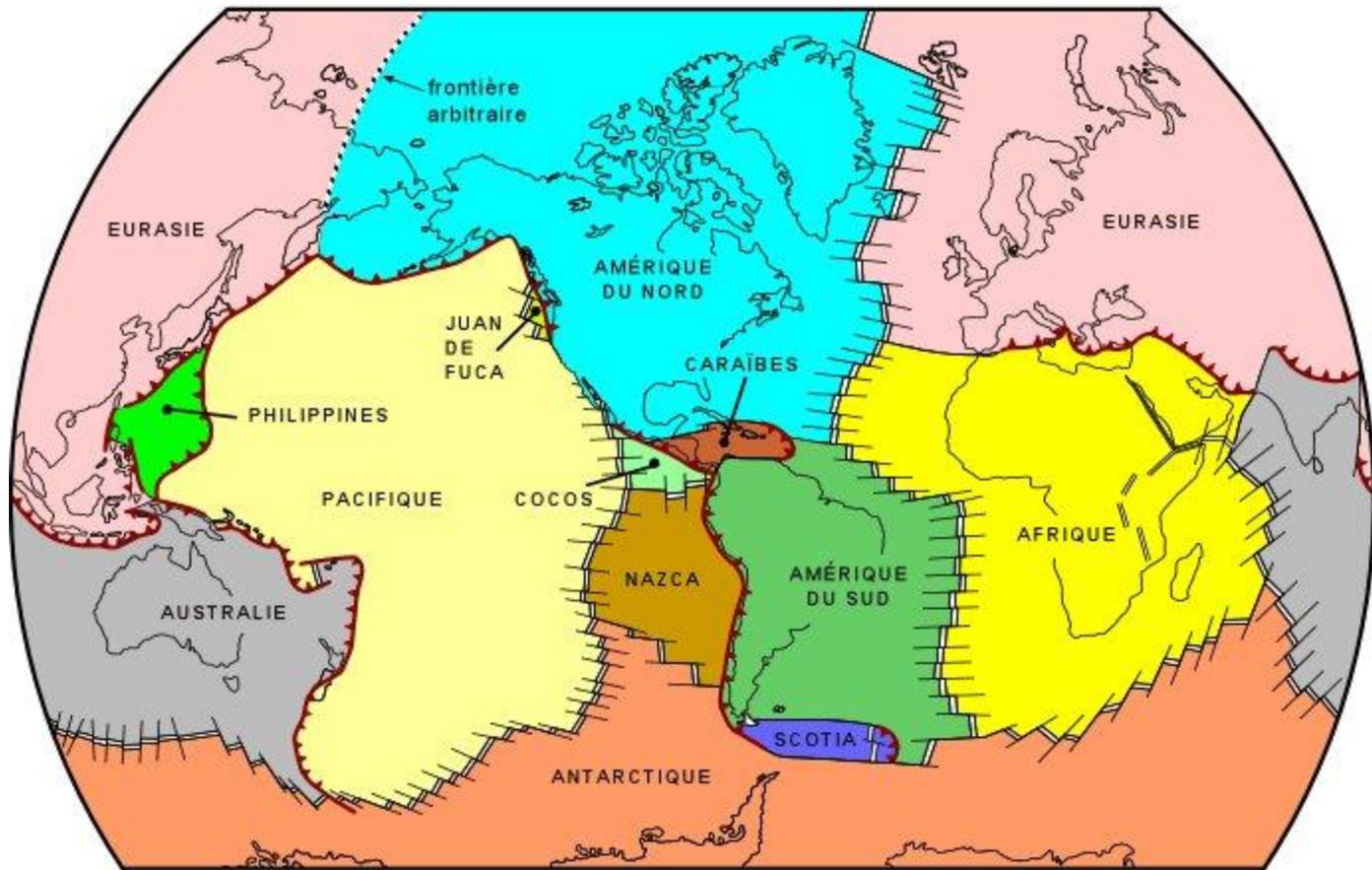
On en distingue 7 plaques principales.

Les Plaques lithosphériques

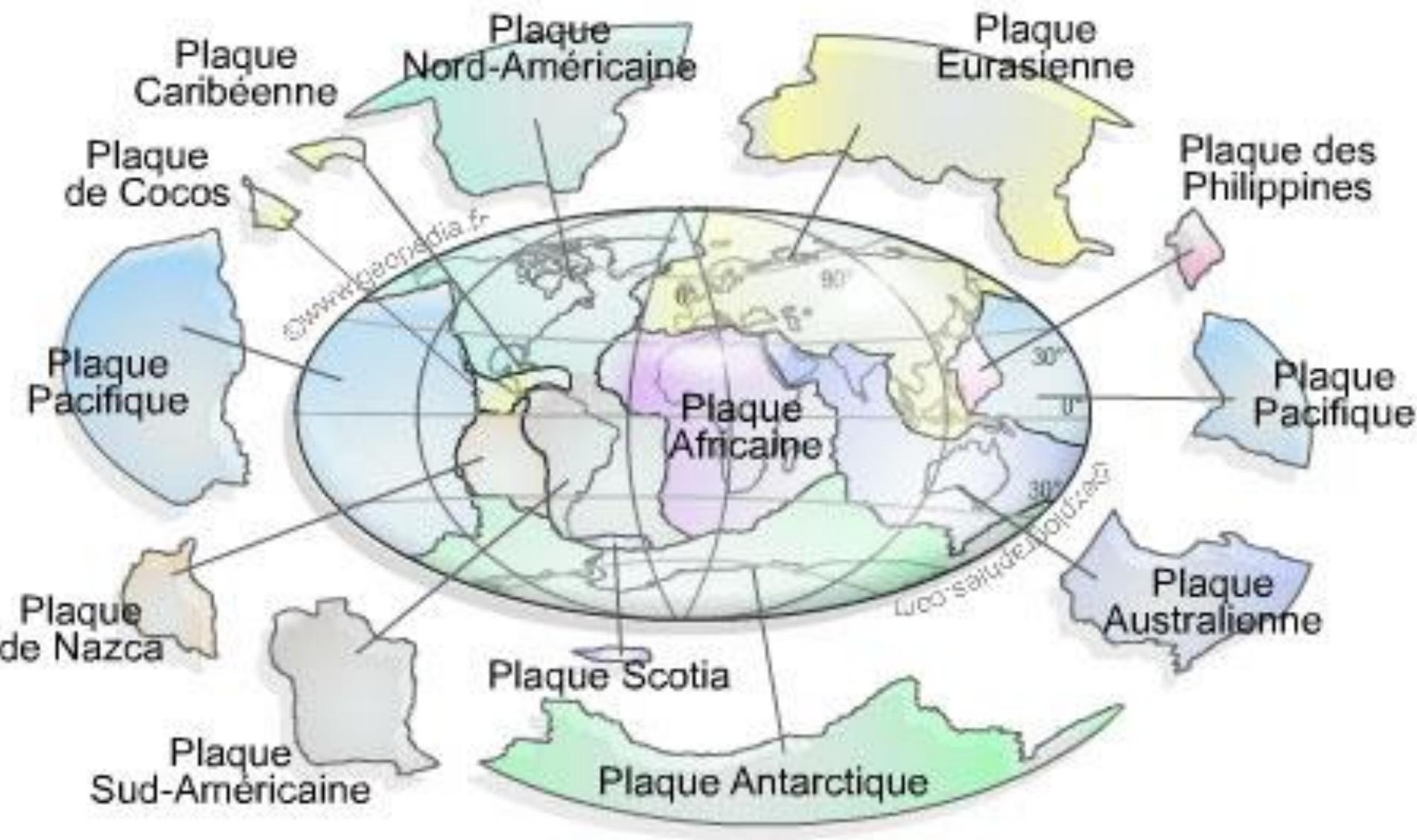
limites divergentes

limites convergentes

limites transformantes



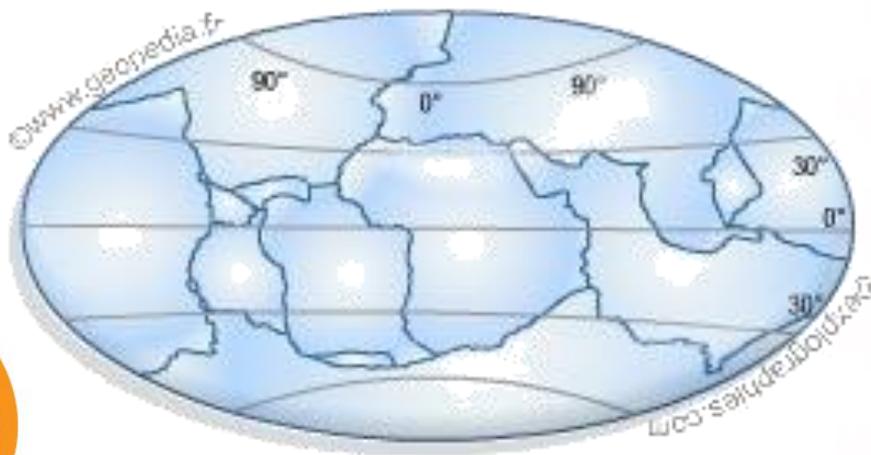
Les plaques lithosphériques :



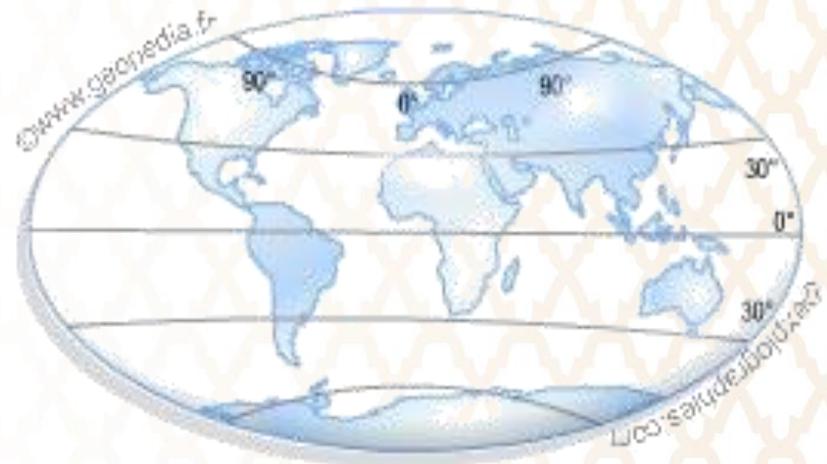
Les plaques lithosphériques :

Les plaques lithosphériques, ou tout du moins les sept principales, ne ressemblent pas vraiment à la carte de la Terre qu'on peut voir habituellement.

Mais si on superpose les limites des continents que l'on connaît bien, on peut reconnaître la forme générale de notre planisphère.

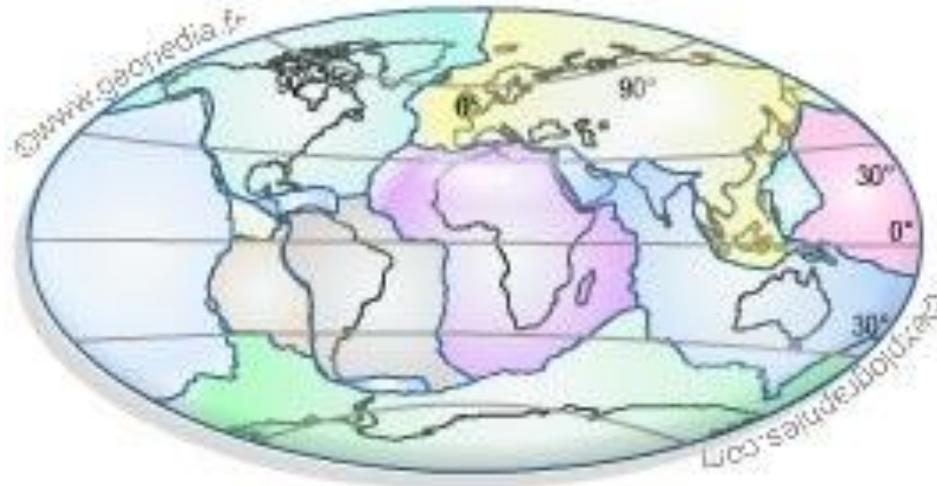


les grandes plaques "lithosphériques"



les continents.

Les plaques lithosphériques :



Superposition des plaques "lithosphériques" et des continents.

Si on observe en détail ces "**plaques lithosphériques**", on pourra remarquer qu'elles se composent d'une partie continentale, et d'une partie océanique.

Deux de ces plaques ne sont formées que d'une **partie océanique** :
la plaque nazca et la plaque pacifique.

Les plaques lithosphériques :

Un exemple :

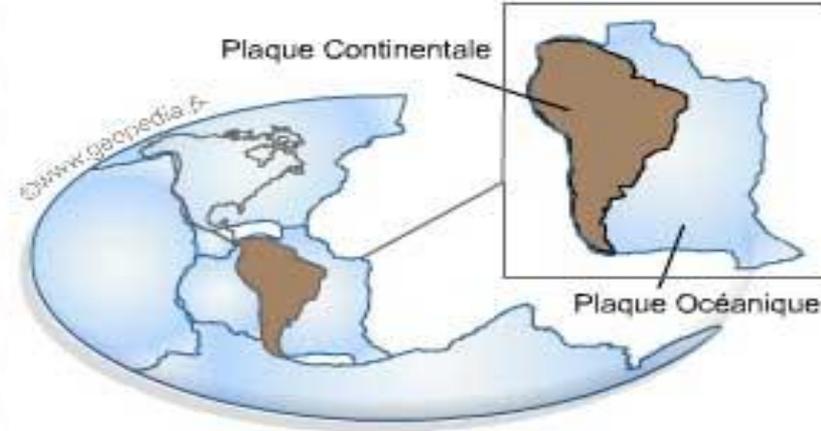
La plaque de l'Amérique du sud :

Elle est formée par l'ensemble :

- ✓ d'un plateau continental (*schématiquement, le continent*),
- ✓ d'un plateau océanique (*schématiquement de fond de l'océan*).

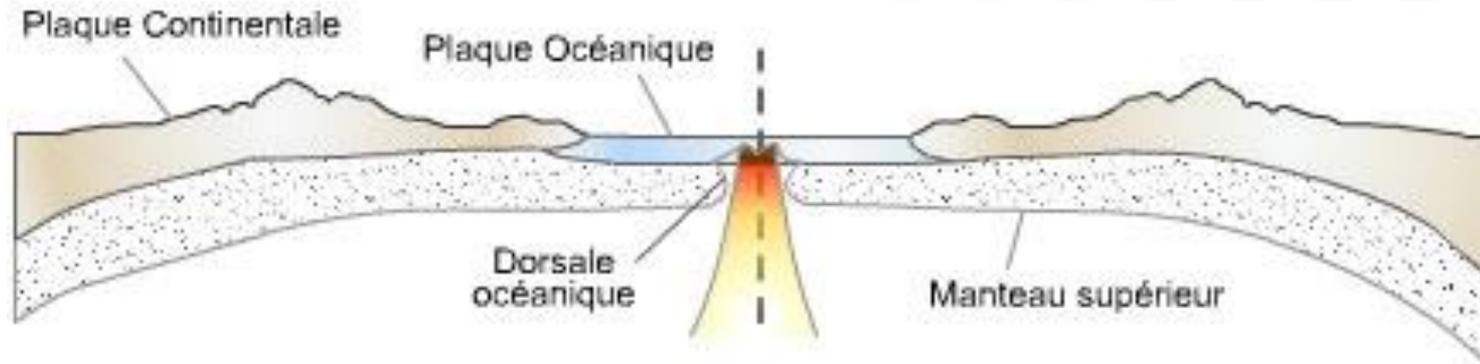
Ce qu'on représente ici n'est pas la limite "géographique" d'un pays ou d'une région, c'est bien une plaque séparée des autres plaques par de véritables frontières :

- ❖ **Les frontières convergentes** : l'endroit où ces plaque, convergent et se rejoignent,
- ❖ **Les frontières divergentes** : l'endroit où ces plaque, divergent et s'éloignent.



Agrandissement d'une plaque océanique et d'une plaque continentale

Les plaques lithosphériques :

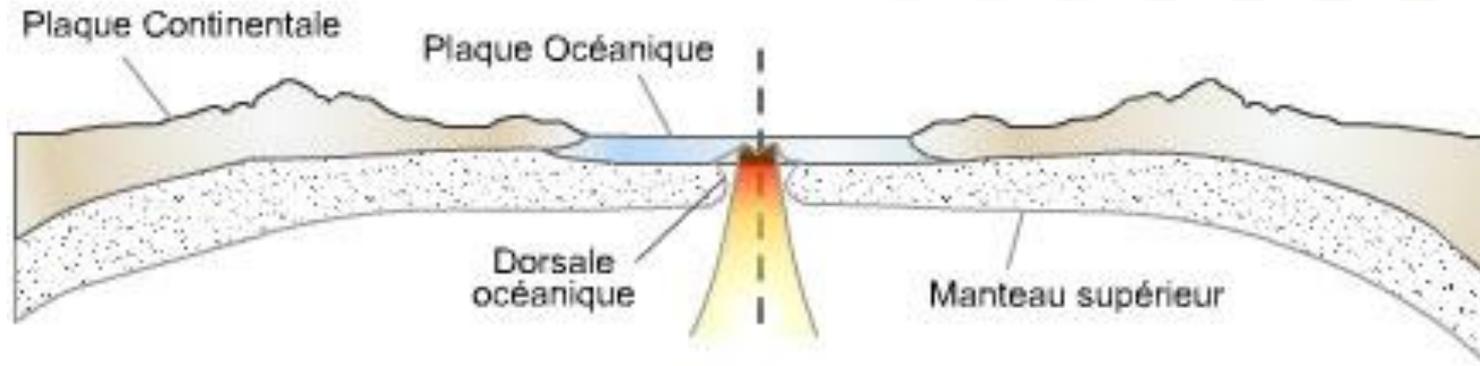


Plaque océanique, plaque continentale et dorsale

✓ **La partie océanique des plaques**, comme on peut l'imaginer, se situe sous les océans, mais ce n'est pourtant pas à cela qu'on la reconnaît.

- C'est surtout grâce à la composition de sa croûte très, qui provient des profondeurs de la Terre, bien en dessous des océans.
- La croûte océanique est essentiellement faite de Laves basaltiques, et de matières éruptives provenant de failles de la croûte terrestre formant d'immenses volcans sous-marins : **Les dorsales océaniques.**

Les plaques lithosphériques :



Plaque océanique, plaque continentale et dorsale

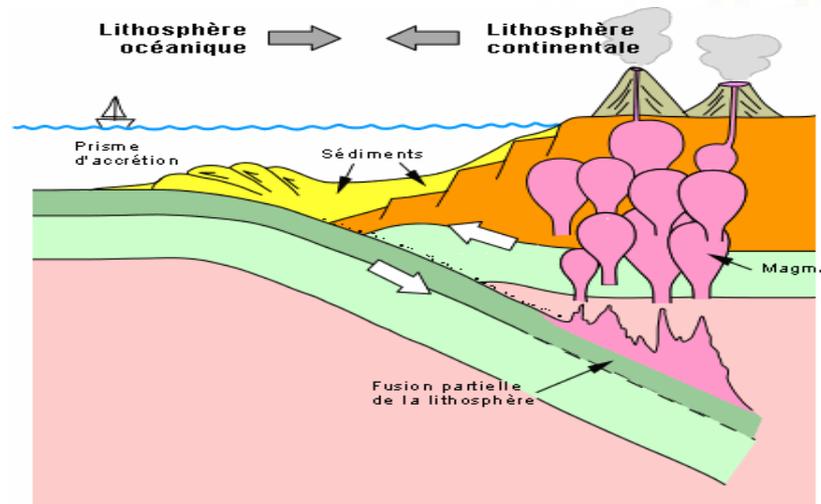
✓ **La partie continentale** se compose d'une accumulation de roches d'une densité moins importante et qu'on dit plus "légères"...

- La croûte continentale est plus légère en comparaison avec la croûte océanique (la croûte océanique est formée de roches volcaniques qui ont été fortement compressées et qui contiennent des minéraux très denses).

- La croûte continentale est essentiellement granitique (en plus des roches de même famille et des roches sédimentaires).

Les plaques lithosphériques :

✓ Quand toutes ces plaques se déplacent, elles finissent forcément par se rencontrer - et là, *il faut bien que l'une des deux fasse un peu de place à l'autre.*



- La plaque la plus "légère" glisse **au dessus** de la plus "lourde".
- Ces roches continentales émergent donc plus facilement dès qu'elles heurtent une plaque océanique et se retrouvent donc au dessus. Cette petite mécanique s'appelle : **la subduction.**

Les plaques lithosphériques :

Ces plaques se déplacent donc à une **vitesse très lente** (à notre échelle), de quelques centimètres par an.

Mais à l'échelle "**géologique**", on compte en **millions d'années**. Ces quelques centimètres par an constituent une **vitesse appréciable**.

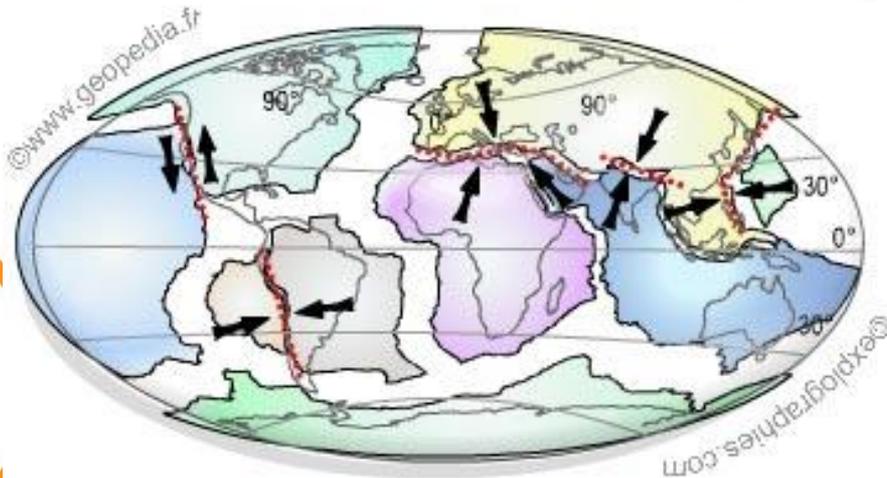
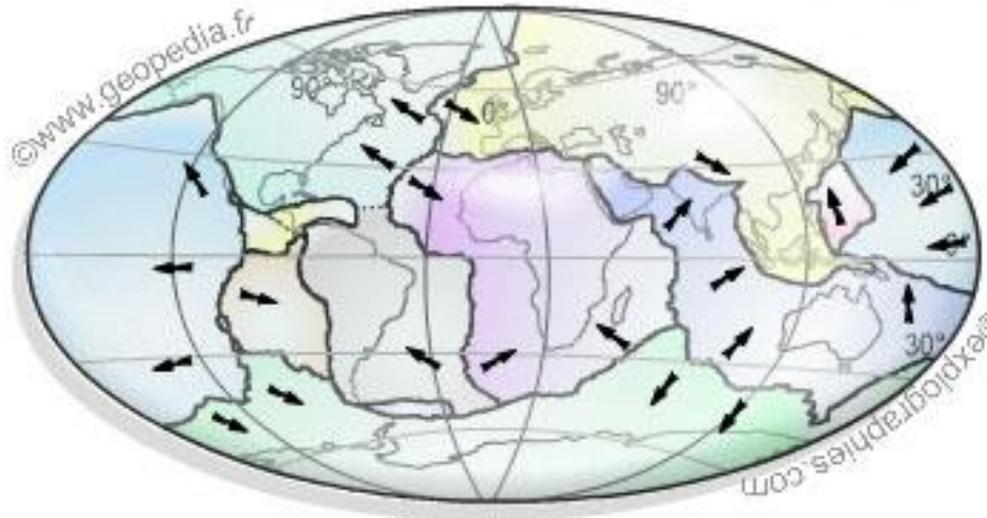
Elles couvrent des **distances importantes**. si importantes même, qu'elles changent complètement la carte du globe terrestre au fil **des millions d'années**.

C'est ce qu'on appelle : **La dérive des continents**, aussi connue sous le nom de « **Tectonique "des plaques"** » .

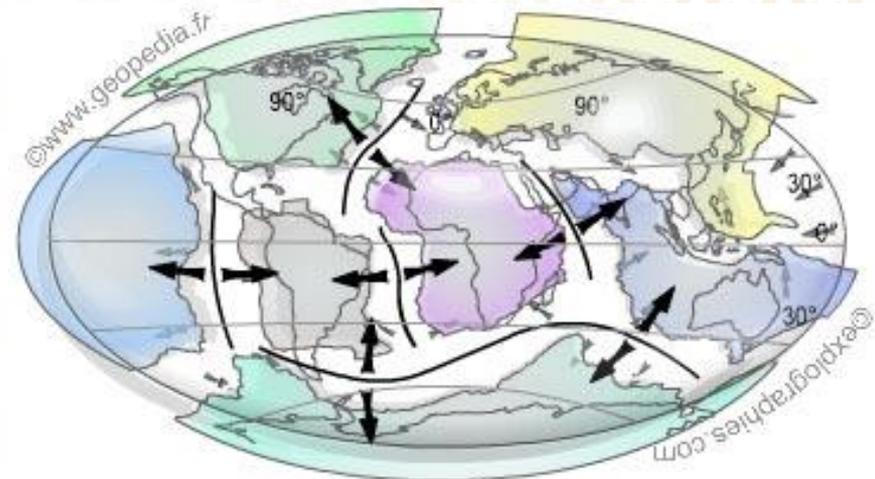


**La tectonique des plaques –
Le déplacement des continents**

Les frontières entre plaques et types de mouvements :



Frontières convergentes



Frontières divergentes

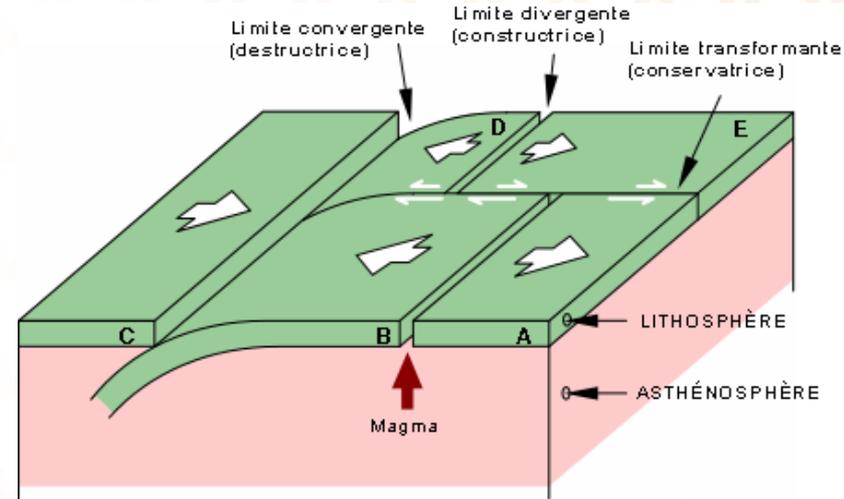
Les frontières entre plaques et types de mouvements :

Ces mouvements définissent trois types de frontières entre les plaques :

1) **les frontières divergentes** : là où les plaques s'éloignent les unes des autres et où il y a production de nouvelle croûte océanique; ici, entre les plaques A et B, et D et E;

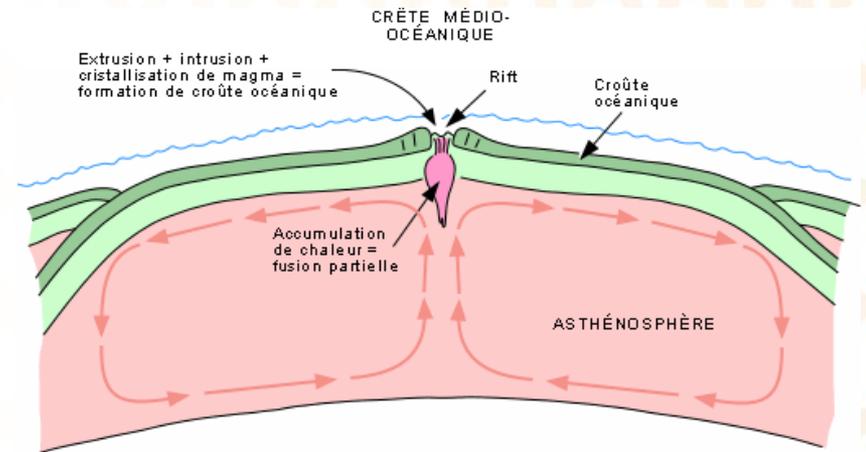
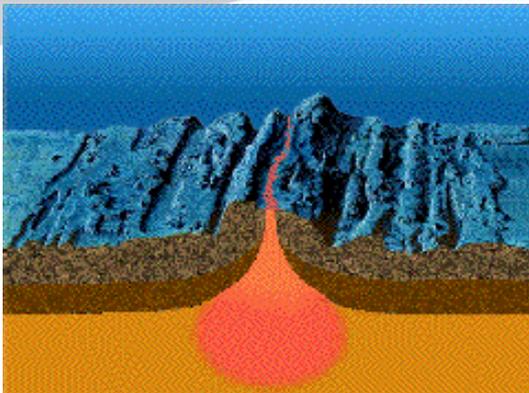
2) **les frontières convergentes** : là où les plaques entrent en collision, conséquence de la divergence; ici, entre les plaques B et C, et D et C;

3) **les frontières transformantes** : lorsque les plaques glissent latéralement les unes contre les autres le long de failles; ce type de limites permet d'accommoder des différences de vitesses dans le déplacement de plaques les unes par rapport aux autres, comme ici entre A et E, et entre B et D, ou même des inversions du sens du déplacement, comme ici entre les plaques B et E.

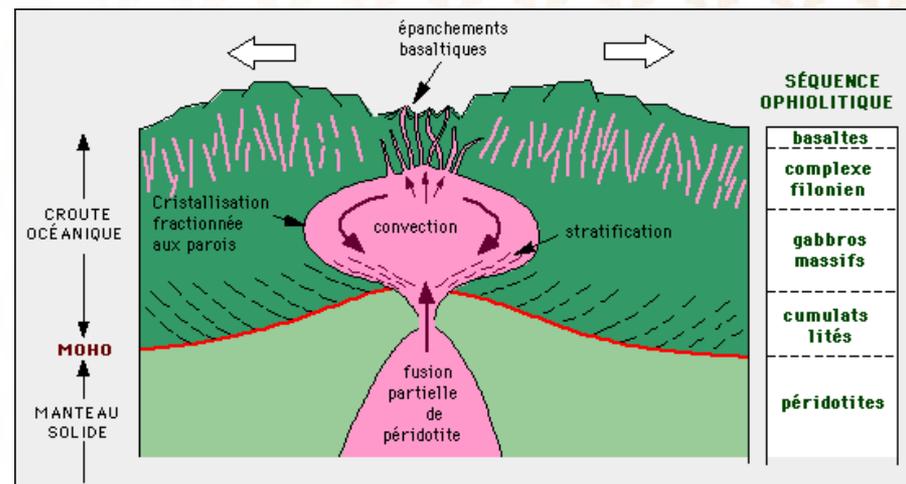
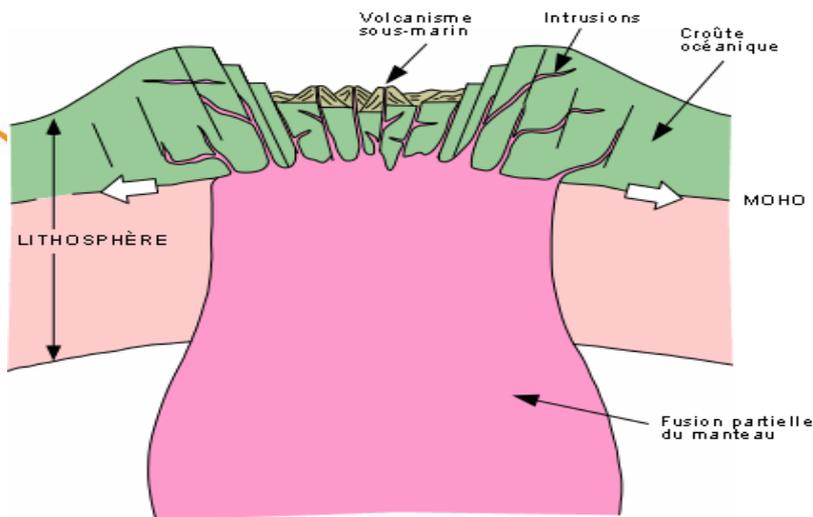


Les conséquences de tous ces mouvements de plaques se concrétisent au travers des activités sismique et volcanique.

Les frontières divergentes :

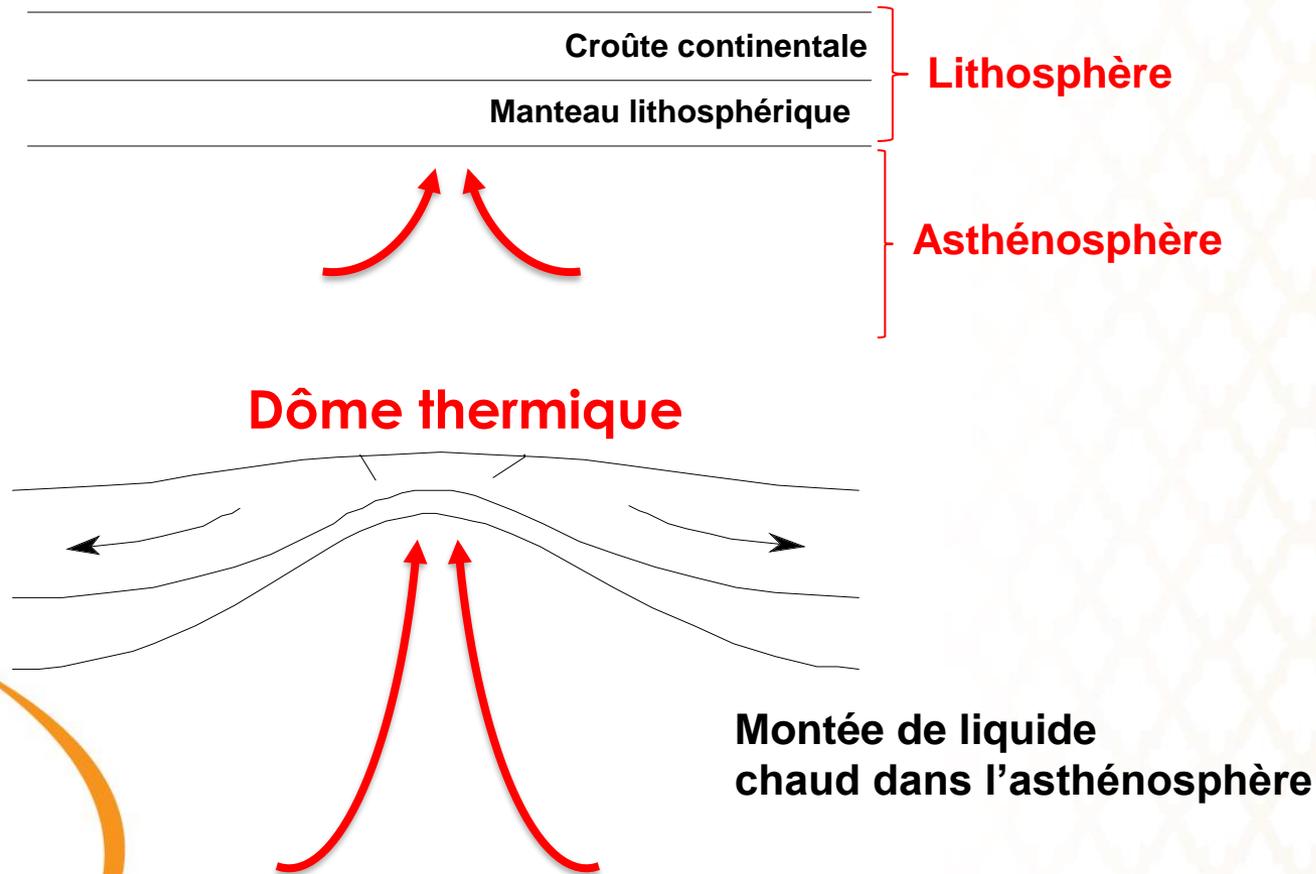


Correspondent aux zones d'écartement ou limites divergentes lorsque deux plaques tendent à s'éloigner.



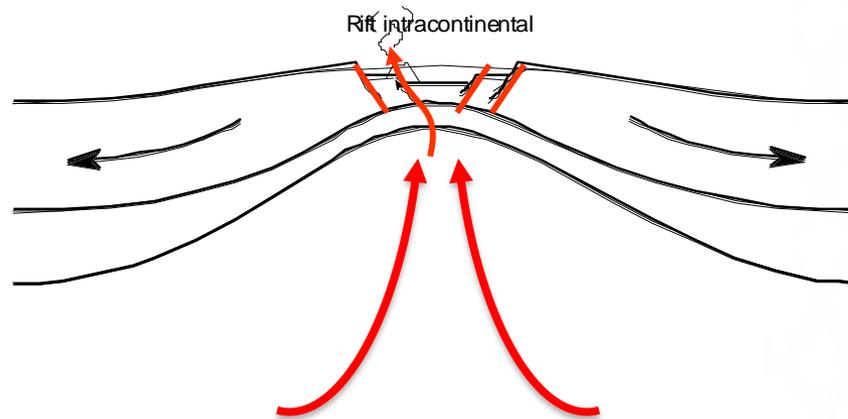
Formation d'un océan (Rifting) :

Naissance d'un océan



Rifting

Le fossé d'effondrement du rift est bordé par des failles normales



Stade Alsace Limagne

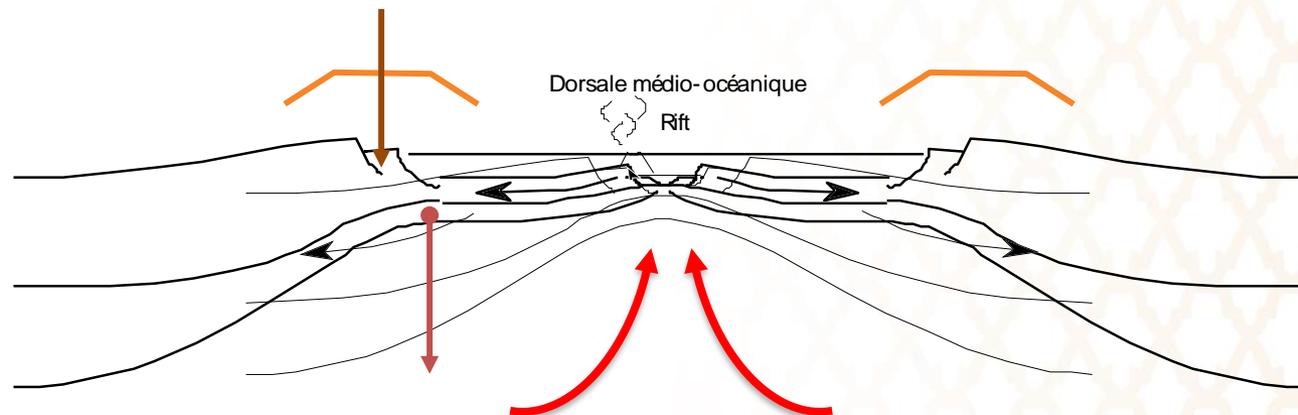
L'écartement provoque :

- la naissance d'un profond fossé ou rift,
- une déchirure ou fissure crustale (de la croûte terrestre) par laquelle les matériaux éruptifs de l'asthénosphère parviennent à la surface.

Stade jeune océan

Les anciennes failles normales limitant le rift forment les blocs basculés.

Les restes de l'ancien rift forment les marges passives du nouvel océan



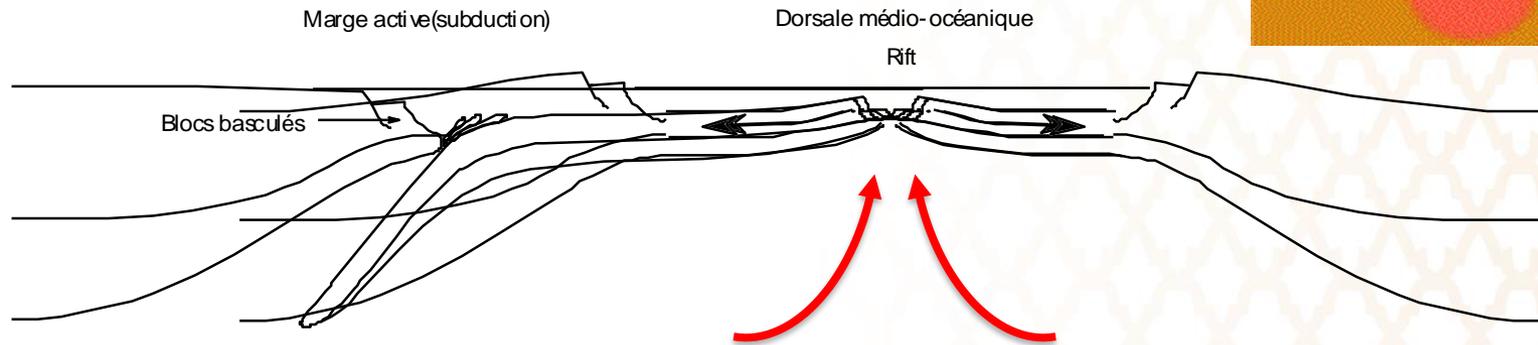
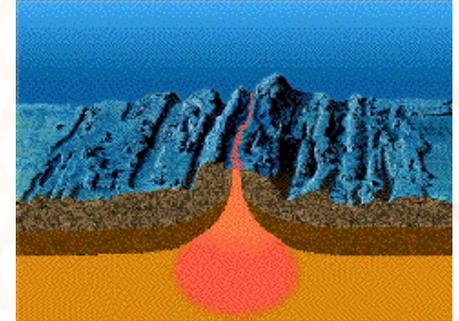
La lithosphère océanique dense tire vers le bas la marge passive qui va être submergée

Mer rouge --> atlantique

Formation d'un océan (Rifting) :

Naissance d'un océan

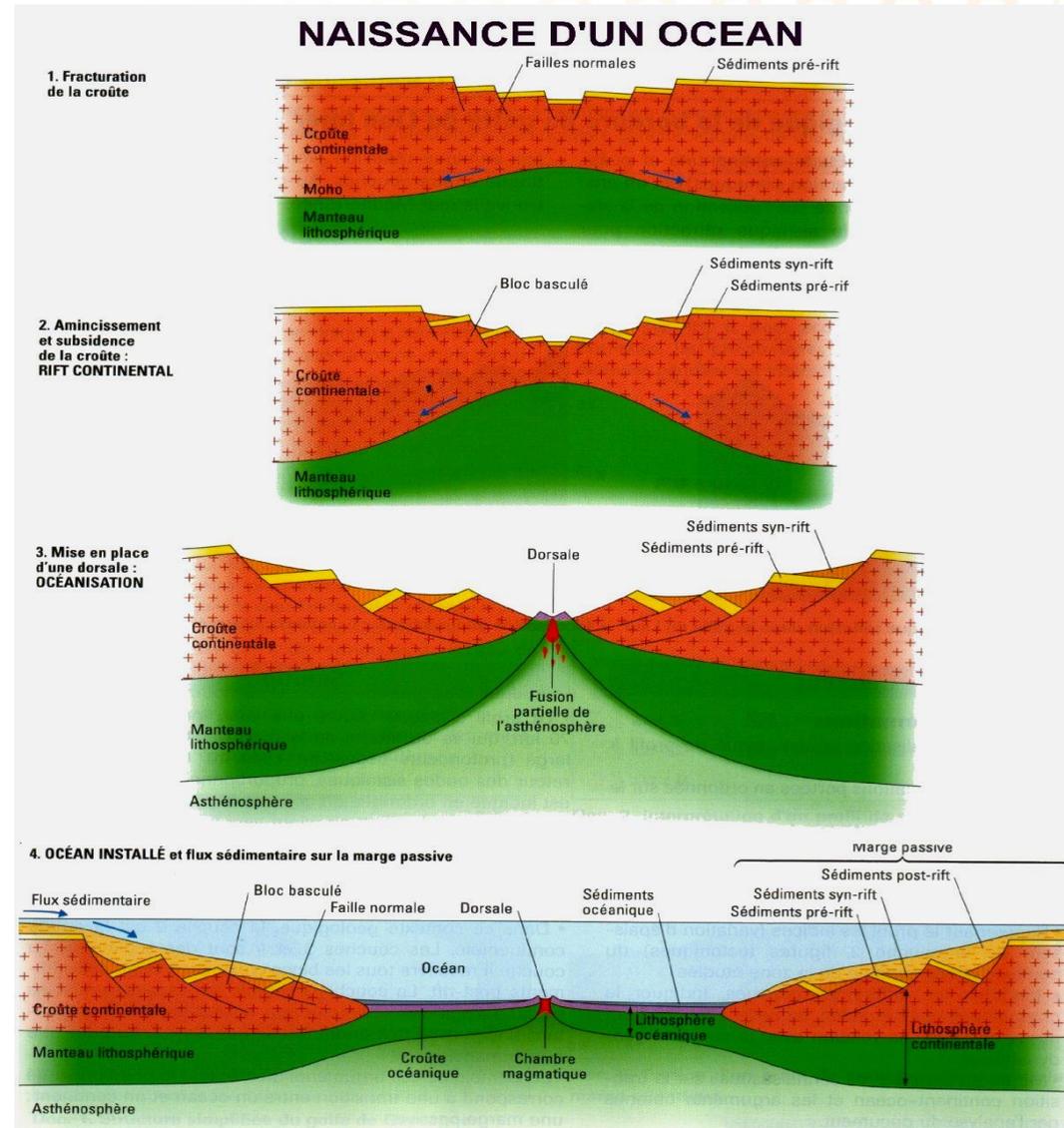
Marge active (subduction)



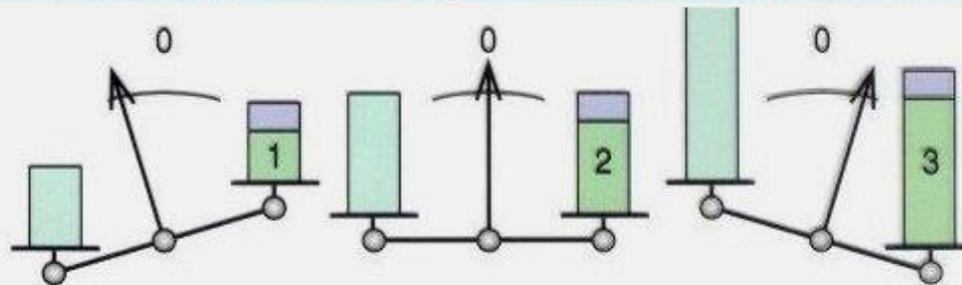
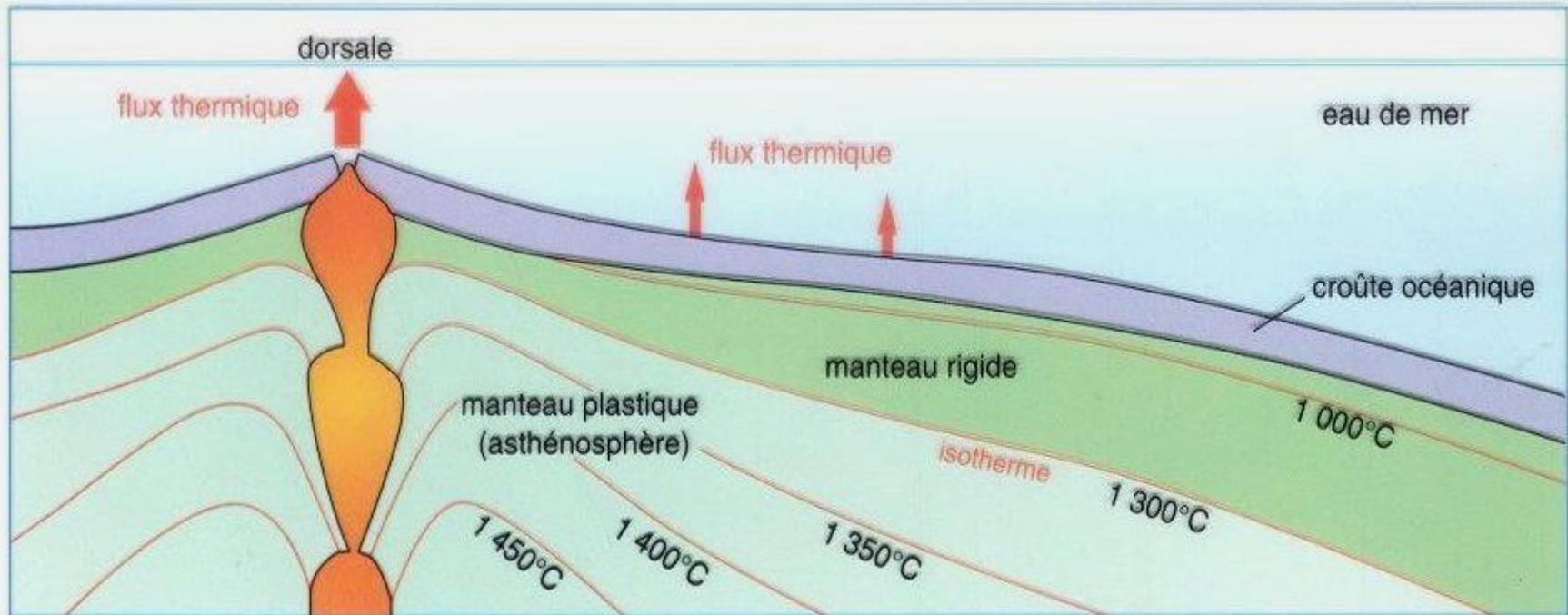
Stade océan pacifique

Le phénomène de l'accrétion aboutit à l'enrichissement de la plaque par production de croûte océanique et la création d'une dorsale médio-océanique.

Formation d'un océan (Rifting) :



Formation d'un océan (Rifting) :



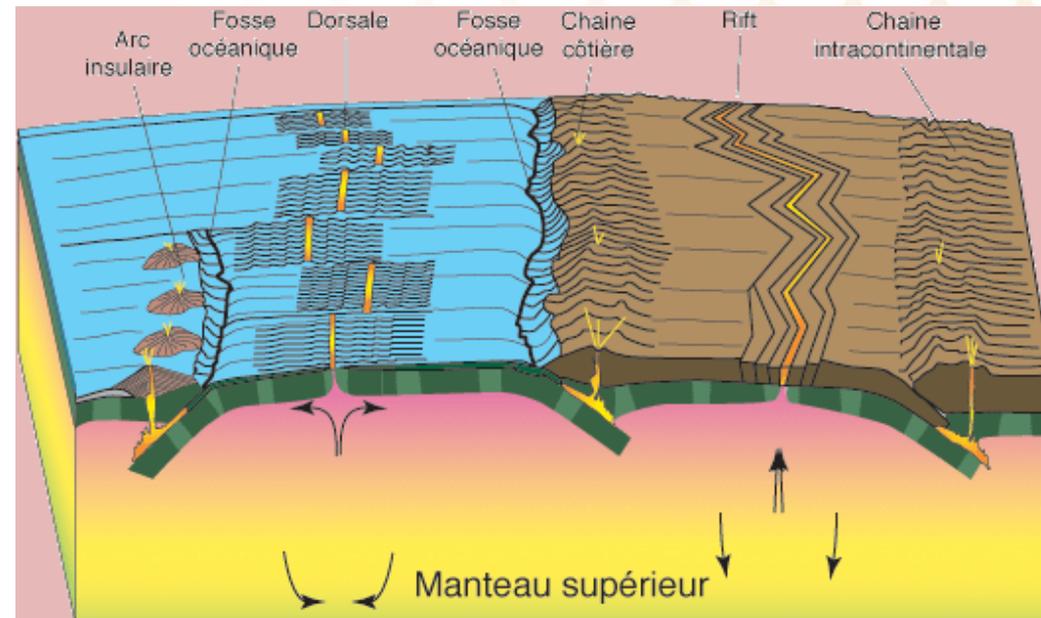
En s'éloignant de la dorsale, la lithosphère se refroidit et s'épaissit progressivement.

Formation d'un océan (Rifting) :

Il existe un flux de chaleur qui va du centre vers l'extérieur de la terre,

Ce flux est causé par la désintégration radioactive de certains éléments chimiques dans le manteau

Ce flux engendre des cellules de convection dans le manteau plastique (asthénosphère).



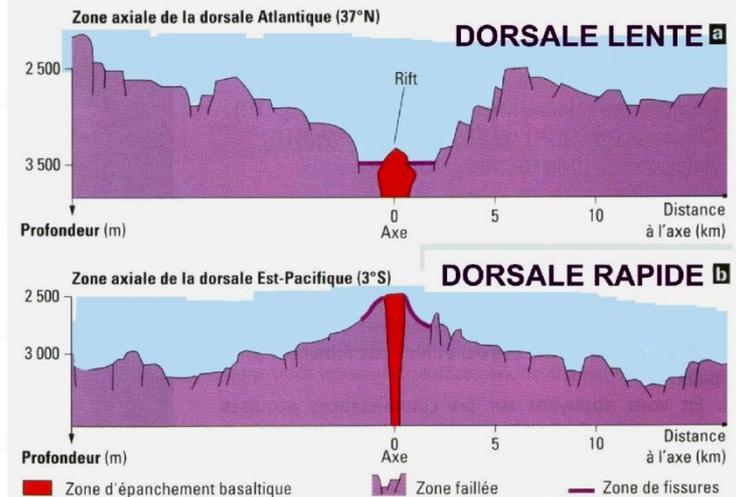
Formation d'un océan (Rifting) :

A cause de cette convection, il y a concentration de chaleur en une zone où le matériel chauffé se dilate, ce qui explique le soulèvement correspondant à la dorsale océanique.

La concentration de chaleur conduit à une fusion partielle du manteau qui produit du magma.

La convection produit, dans la partie rigide de l'enveloppe de la terre (lithosphère), des forces de tension qui font que deux plaques divergent; elle est le moteur du tapis roulant, entraînant la lithosphère océanique de part et d'autre de la dorsale.

Dorsales lentes et dorsales rapides



A. Comparaison de la zone axiale d'une dorsale lente (a) et d'une dorsale rapide (b).

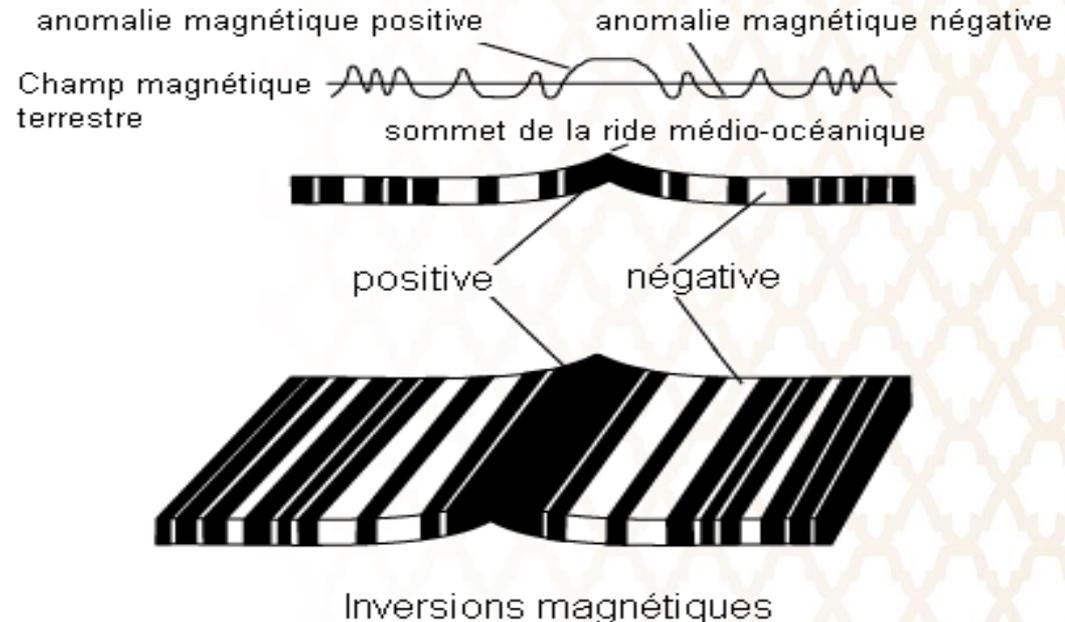
Caractéristiques géophysiques	Dorsale rapide	Dorsale lente
Taux d'expansion océanique	> 5 cm.an ⁻¹	< 5 cm.an ⁻¹
Microsismicité	Permanente	Permanente
Ralentissement de la vitesse des ondes sismiques P dans l'axe de la dorsale	<ul style="list-style-type: none"> Constant Sur une large zone de la région axiale 	<ul style="list-style-type: none"> Épisodique Localisé au niveau du rift
Données thermiques	Zone chaude (remontée permanente de matériel fondu)	Zone relativement « froide » (remontée épisodique de bulles de matériel fondu)
Perte de chaleur (par conduction)	Importante	Modérée
Hydrothermalisme	Constant	Rare

B. Comparaison de quelques caractéristiques géophysiques d'une dorsale lente et d'une dorsale rapide.

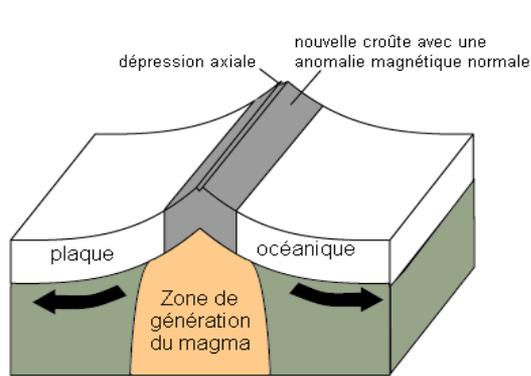
Enregistrement du champ magnétique :

Cet enregistrement fournit des informations sur le comportement passé du champ magnétique de la Terre et l'emplacement des plaques tectoniques passées.

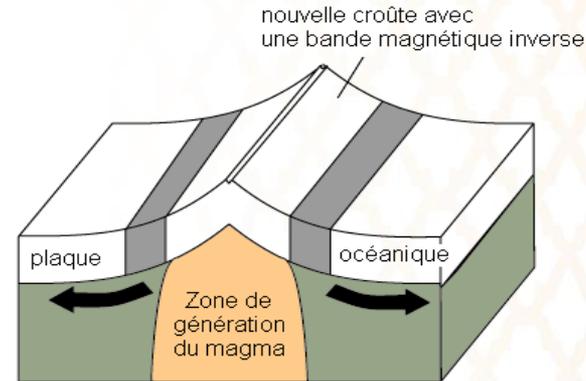
Les enregistrements des renversements géomagnétiques sont conservés dans des séquences des roches volcaniques issues de la dorsale.



Enregistrement du champ magnétique :



En se solidifiant, le magma le long de l'arrête de la plaque océanique fossilise le champ magnétique terrestre du moment. Dans ce cas, le nord magnétique est orienté vers le nord de l'hémisphère.



Si le pôle magnétique est dans l'hémisphère sud, la roche enregistre une anomalie magnétique inverse.

Les anomalies magnétiques sont utilisées depuis quarante ans (Vine & Matthews, 1963) pour dater les fonds océaniques. Le succès de cette méthode repose sur le fait que :

- le champ géomagnétique s'inverse de manière irrégulière au cours des temps géologiques;
- la croûte océanique se forme assez régulièrement à l'axe des dorsales océaniques;
- les roches de cette croûte, et notamment les basaltes extrusifs, acquièrent lors de leur refroidissement une aimantation rémanente de même polarité et de même direction que le champ magnétique ambiant.

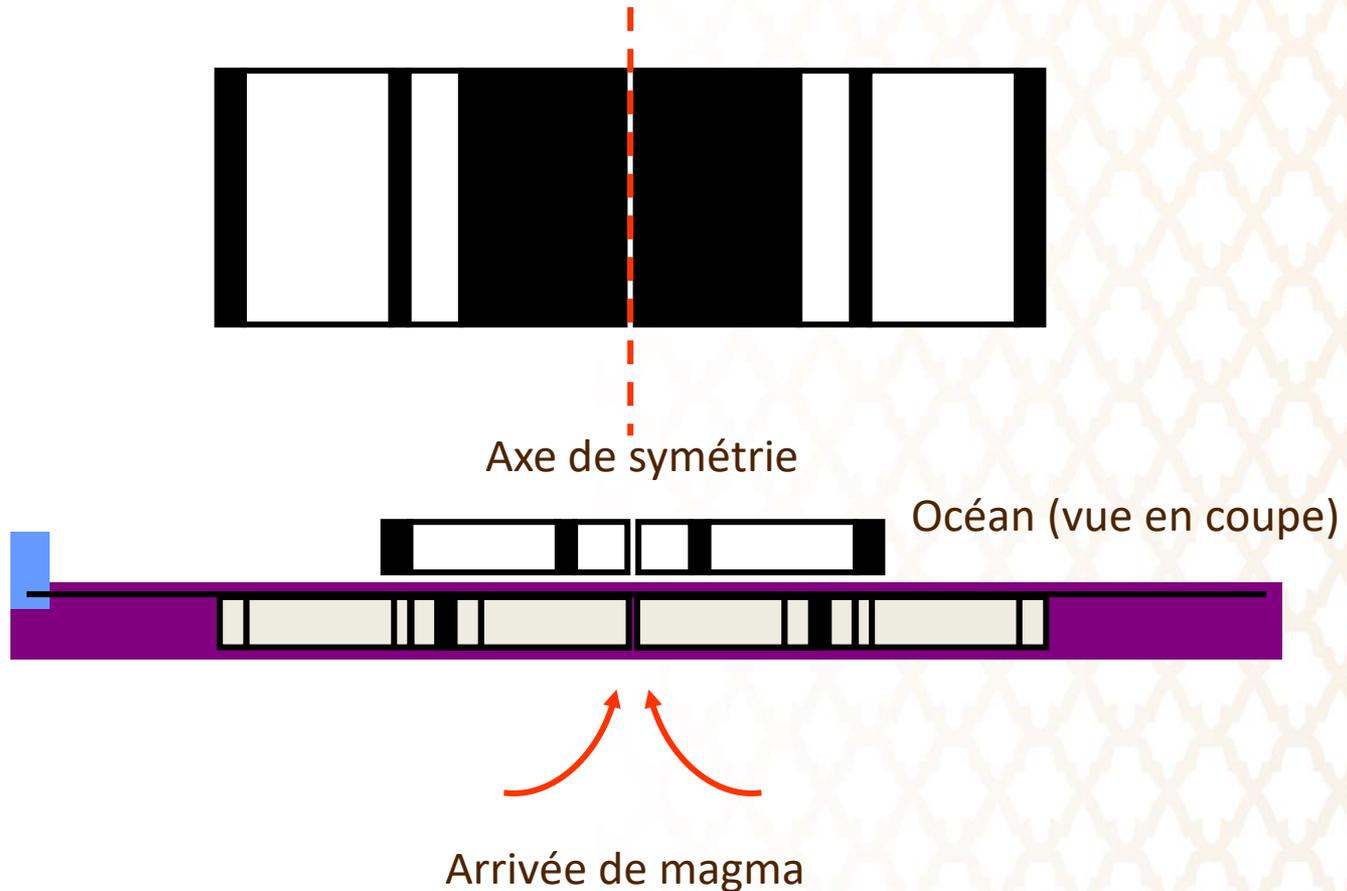
Enregistrement du champ magnétique :

Production de la « peau de zèbre »

Aspect actuel de la carte des anomalies magnétiques

Polarité du
champ
magnétique

Normale



Rift Avorté :

Il arrive parfois qu'une plaque tectonique soit fragmentée par la remontée du manteau supérieur résultant d'un flux thermique (mouvements de convection) anormalement élevé.

La croûte continentale est alors étirée et s'effondre; si le mouvement cesse le processus appelé **rift avorté** (c'est vraisemblablement ce qui s'est produit dans le cas de la plaine du Rhin au nord de Bâle).

Si le mouvement perdure, la croûte continentale va se rompre totalement. Il se forme alors une dorsale médio-océanique provoquant l'expansion du domaine océanique.

Les frontières convergentes :

Si la surface de la terre est un espace fini, le fait que les **plaques grandissent** aux frontières divergentes implique qu'il **faudra détruire de la lithosphère** ailleurs pour maintenir constante la surface terrestre.

Cette destruction se fait aux frontières convergentes qui, comme le nom l'indique, marquent le contact entre deux plaques lithosphériques qui convergent l'une vers l'autre.

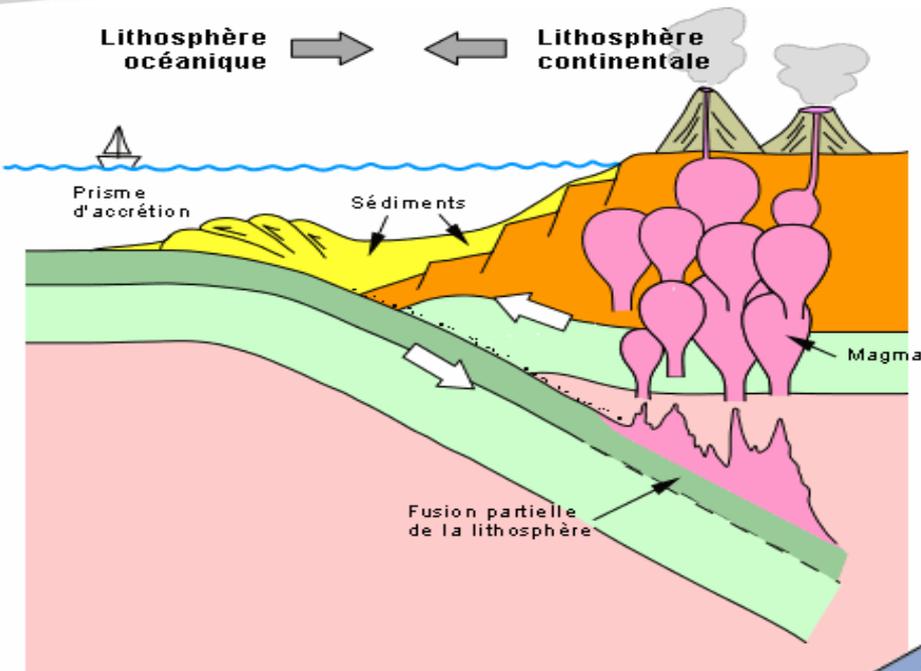
La destruction de plaque se fait par l'enfoncement dans l'asthénosphère d'une plaque sous l'autre plaque, et par la digestion de la portion de plaque enfoncée dans l'asthénosphère.

Les résultats (séismes, volcans, chaînes de montagnes, déformations;...) sont différents selon la nature des plaques (océaniques ou continentales) qui entrent en collision.

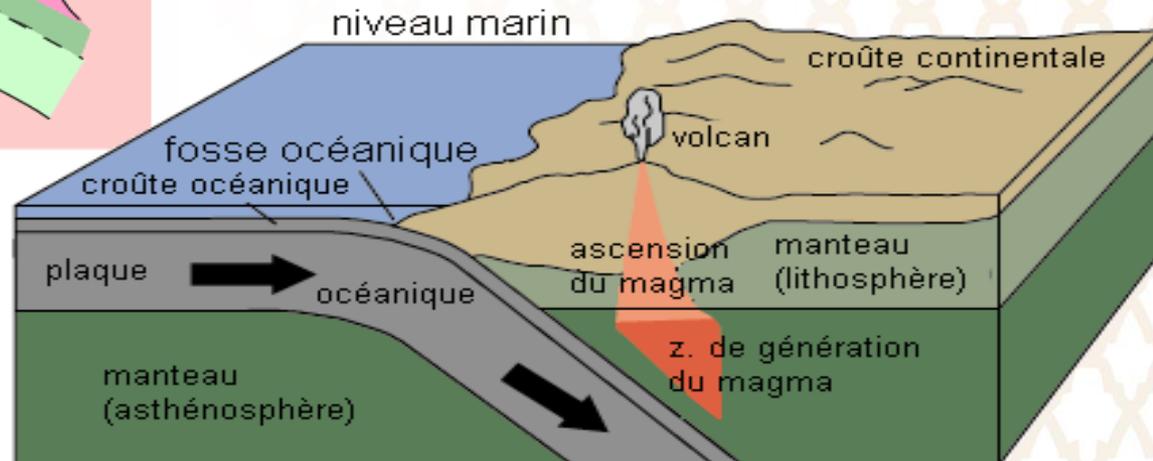
Ainsi, On distingue :

trois types de zones de rapprochement (collision) de plaques :

Zones de convergence de deux plaques de type différent :

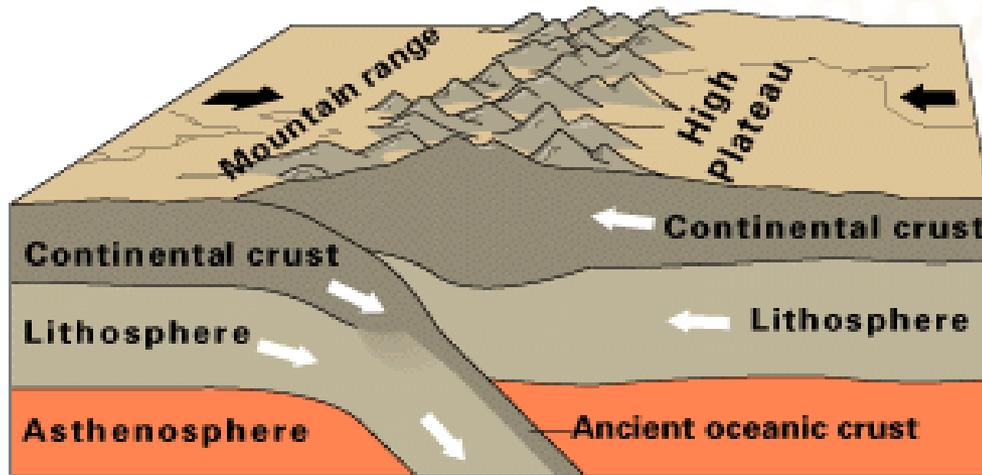


Le plus souvent, le phénomène apparaît dans des zones de subduction laminaire, c'est-à-dire liées à l'affrontement de deux plaques de nature différente.

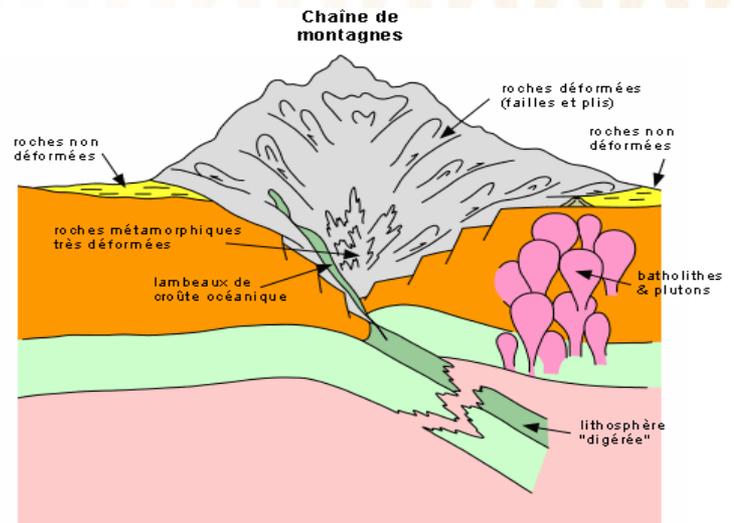
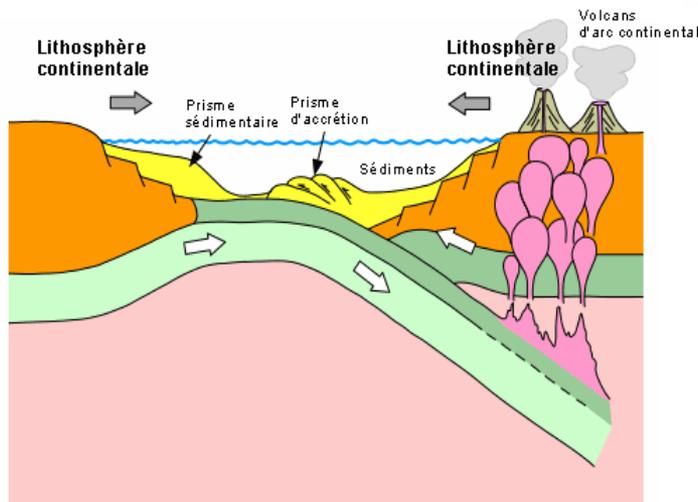


Le magma est généré dans les zones de subduction où les plaques océaniques denses sont poussées sous les plaques continentales plus légères.

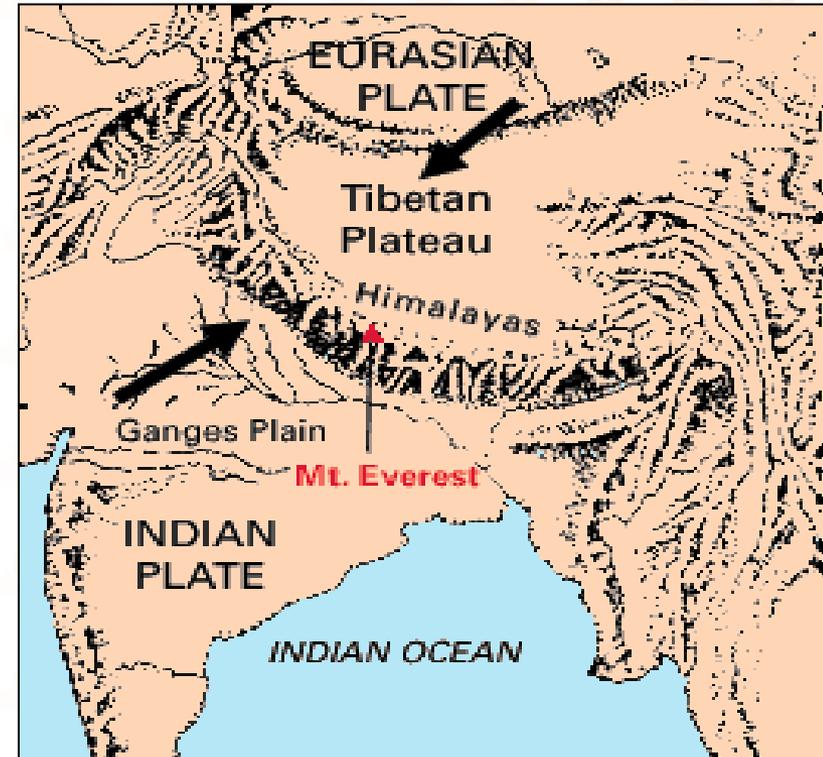
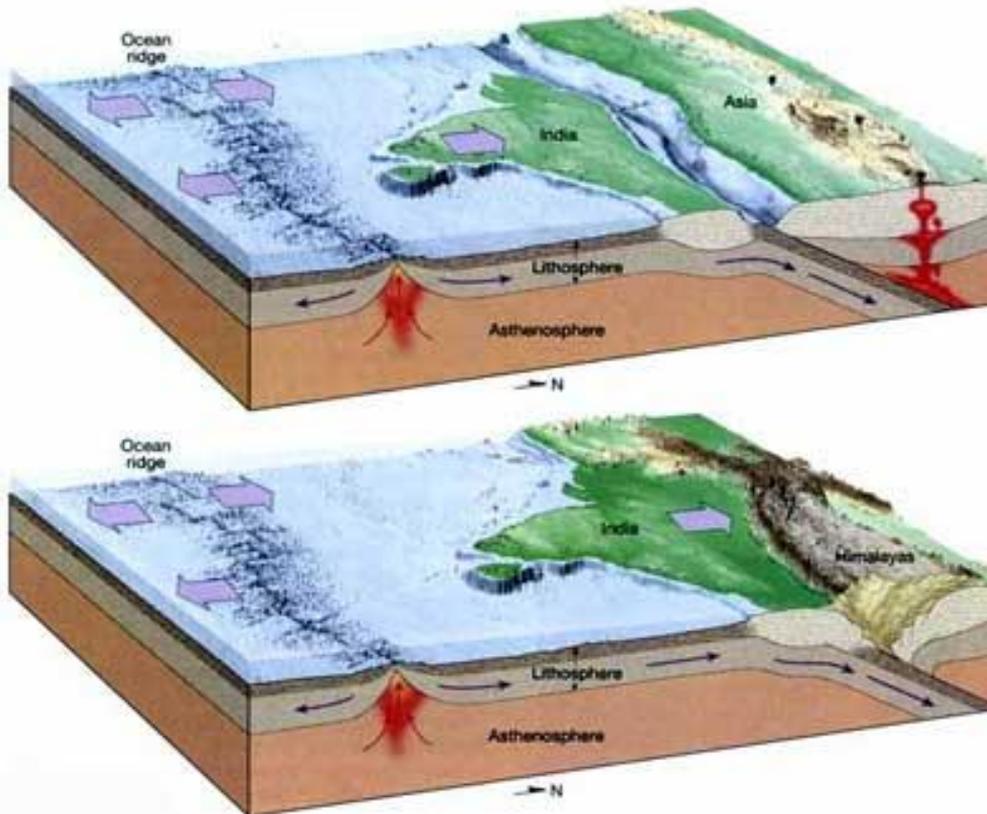
Zones de convergence de deux plaques de type continental :



Continental-continental convergence



Zones de convergence de deux plaques de type continental :



Zones de convergence de deux plaques de type océanique :

