

Tronc commun SVT

Module de géodynamique Interne

COURS S2

- module I: GÉODYNAMIQUE INTERNE
- module II: GÉODYNAMIQUE EXTRENE

TD/TP

- NOTIONS DE PÉTROGRAPHIE ET DE CLASSIFICATION MACROSCOPIQUES DES ROCHES ET MINÉAUX

Géodynamique interne :

INTRODUCTION GÉNÉRALE

[structure interne](#)

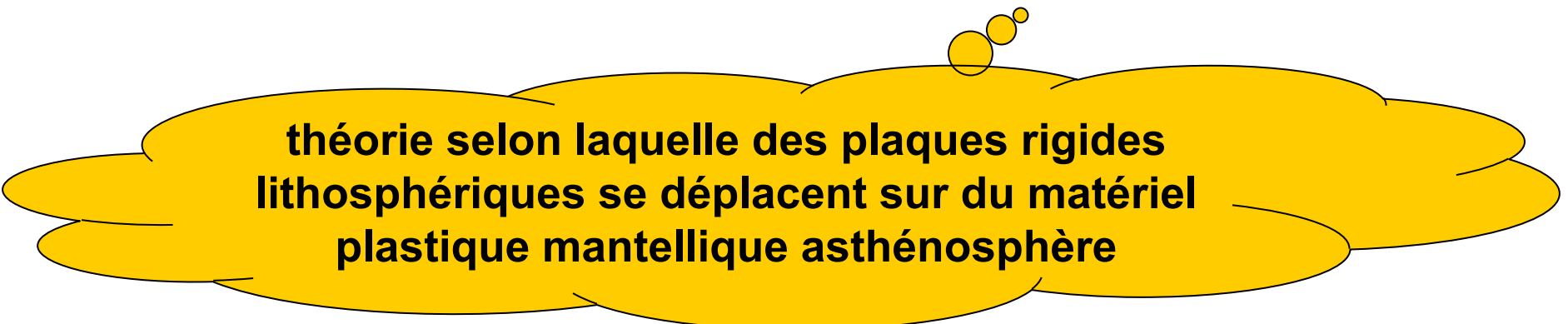
La terre est une planète dynamique. Les sphères la composant malgré leurs états physiques différents (gaz, liquide, solide) sont en mouvement pour échanger de la matière et de l'énergie. Ce système thermomécanique puise son énergie thermique de la désintégration radioactive de certains éléments et de la chaleur d'accrétion originelle emmagasinée lors de la formation de la terre. En résumé la terre tend à se refroidir.

La géodynamique interne englobe tous les processus endogènes et leurs résultantes en surface de la terre et qui sont:

- ➔ les déplacements horizontaux de la lithosphère
- ➔ les activités magmatiques
- ➔ les processus métamorphiques
- ➔ les tremblements de terre
- ➔ les déformations de la croûte terrestre
- ➔ les formations des grandes chaînes de montagnes «Orogenèses».

LA DÉRIVE DES CONTINENTS ET LA TECTONIQUE DES PLAQUES

- L'une des manifestations les plus importantes de cette dynamique terrestre est la tectonique des plaques



théorie selon laquelle des plaques rigides
lithosphériques se déplacent sur du matériel
plastique mantellique asthénosphère

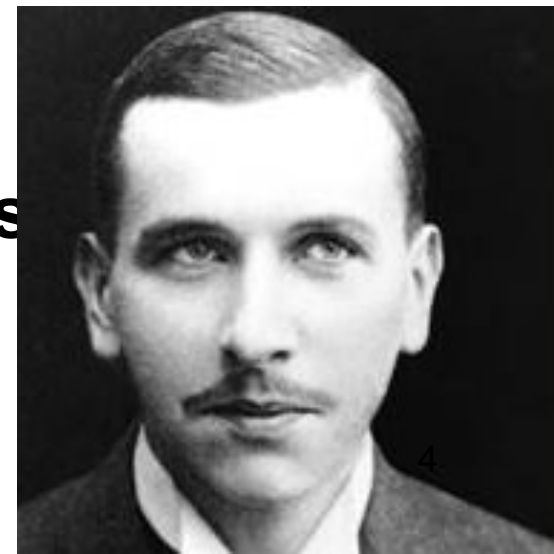
- Cette théorie permet d'expliquer les grands phénomènes géologiques comme les tremblements de terre, le volcanisme, la déformation de la croûte terrestre et la formation des grandes chaînes de montagnes.

A- LA DÉRIVE DES CONTINENTS

La dérive des continents est une théorie proposée au début du 20ème siècle (1915) par le physicien-météorologue Alfred Wegener, pour tenter d'expliquer, entre autres, la similitude dans le tracé des côtes de part et d'autre de l'Atlantique,

Wegener avançait des "preuves" ou plutôt des faits d'observation qui pouvaient être expliqués par une dérive des continents et qui sont :

- ❖ le parallélisme des côtes
- ❖ Les arguments géologiques
- ❖ Les arguments paléontologiques
- ❖ Les arguments climatiques



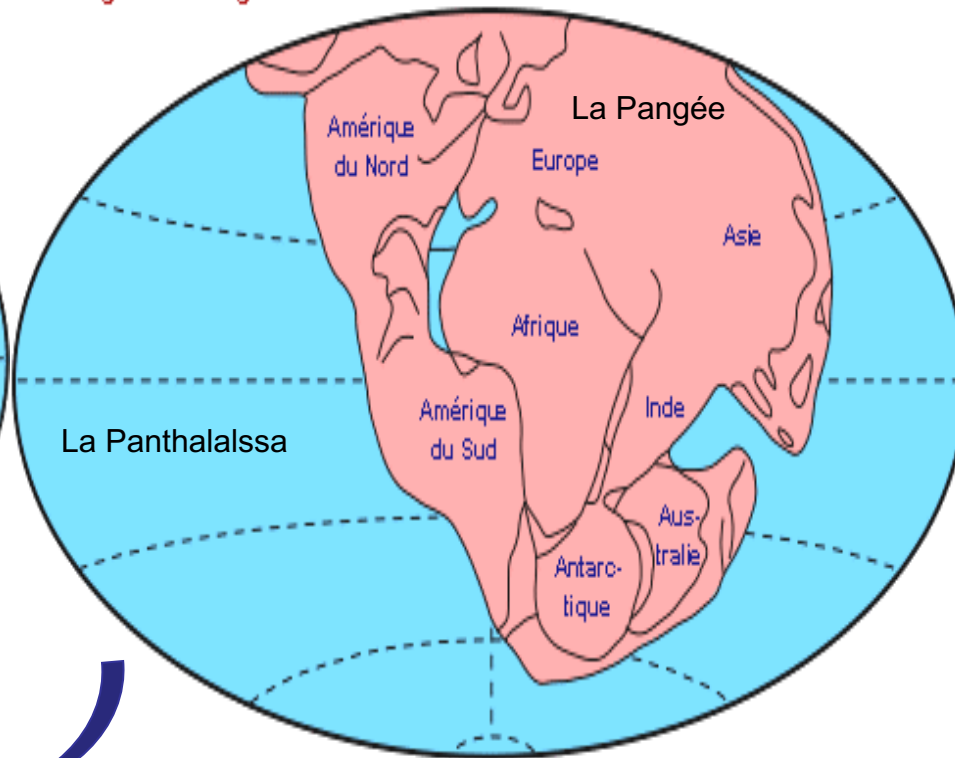
A- LA DÉRIVE DES CONTINENTS

le parallélisme des côtes

Position actuelle des continents



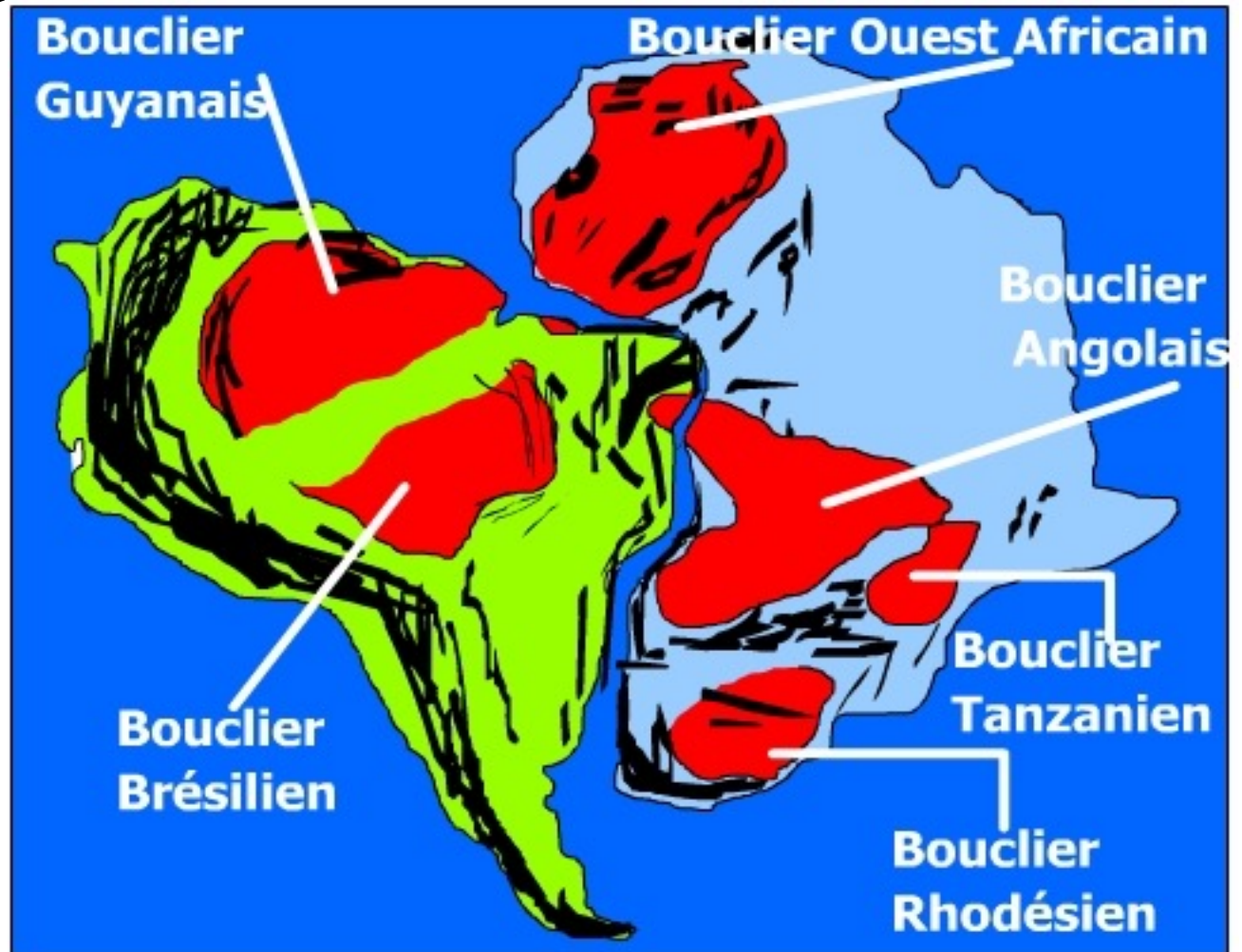
La Pangée de Wegener



Fragmentation au cours du Paléozoïque -270Ma

A- LA DÉRIVE DES CONTINENTS

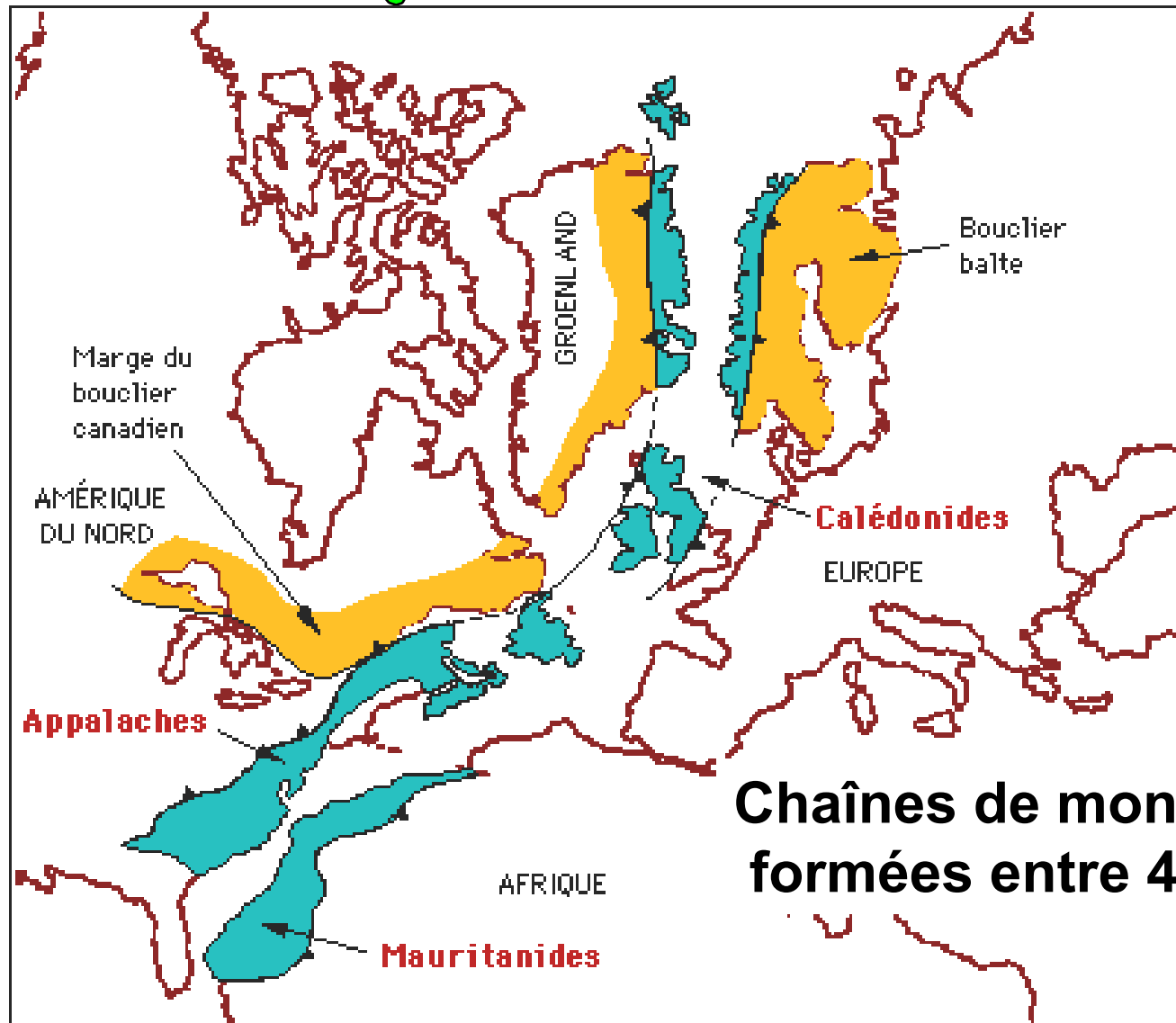
Les arguments géologiques



Similitude entre les boucliers précambriens de l'Afrique et de l'Amérique du sud

A- LA DÉRIVE DES CONTINENTS

Les arguments géologiques



**Chaînes de montagnes identiques
formées entre 470 et 350 Ma.**

A- LA DÉRIVE DES CONTINENTS

Les arguments paléontologiques

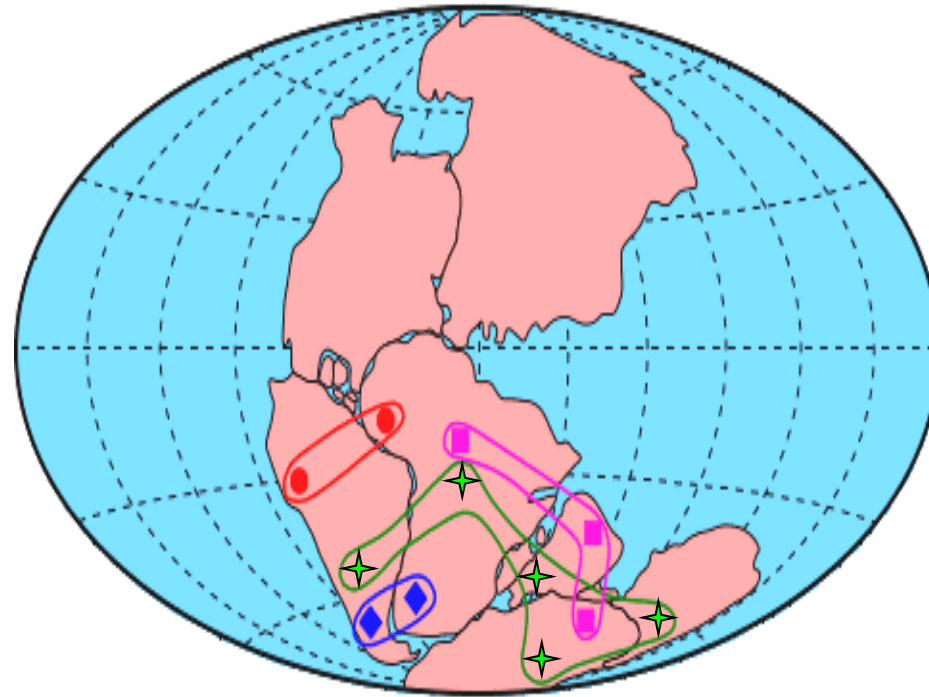
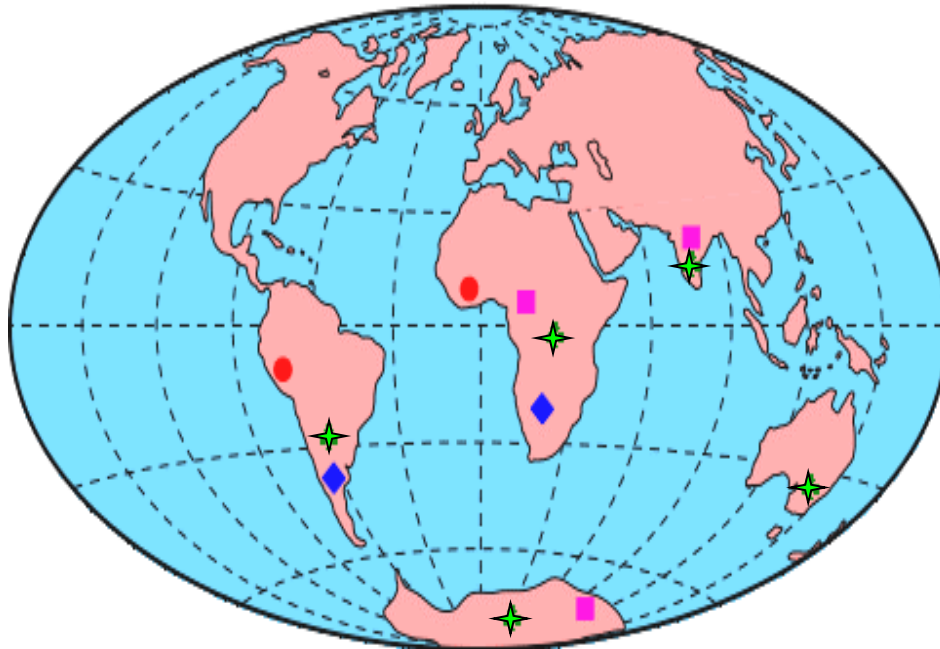
● **Cynognathus**: reptile prédateur terrestre ayant vécu il y a 240 Ma

◆ **Mesosaurus**: petit reptile de lacs d'eau douce, il y a 260 Ma

■ **Lystrosaurus**: reptile terrestre ayant vécu il y a 240 Ma

✦ **Glossopteris**: plante terrestre d'il y a 240 Ma

La solution de Wegener

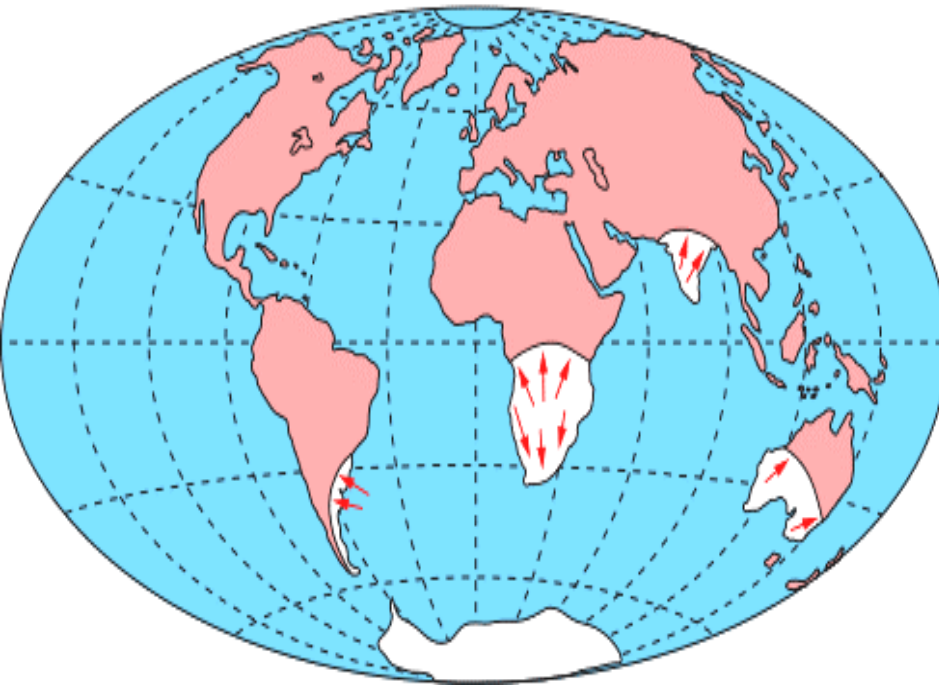


**les mêmes fossiles de plantes et d'animaux terrestres
datant de 240 à 260 Ma**

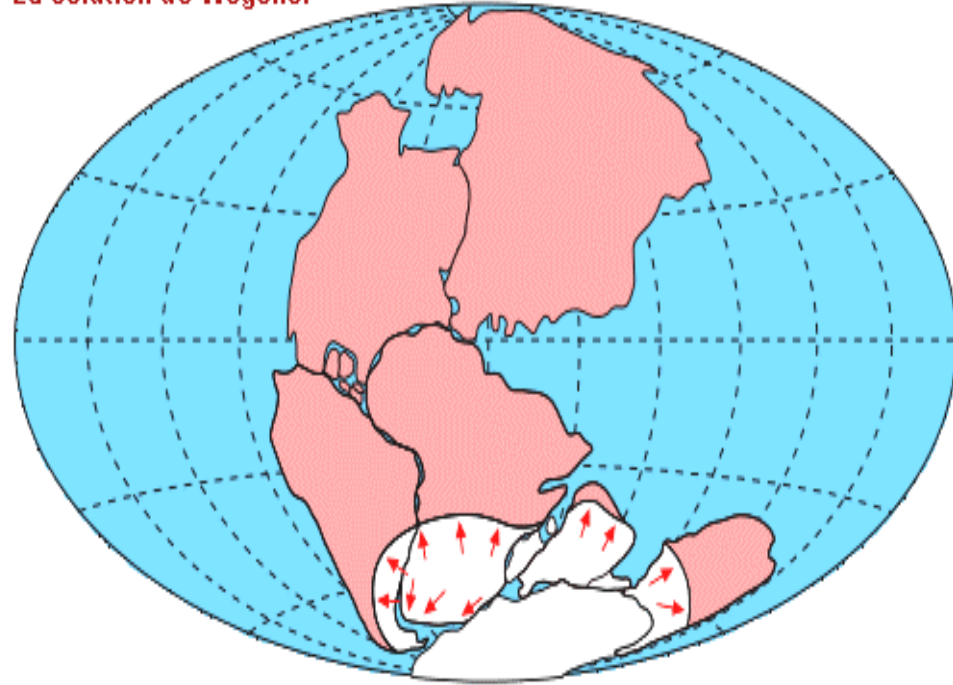
A- LA DÉRIVE DES CONTINENTS

Les arguments climatiques

→ sens d'écoulement de la glace



La solution de Wegener



glaciation datant d'il y a 250 Ma.

Leur localisation (zone tropicale) ainsi que la direction et le sens d'écoulements des glaciers ne peuvent être expliqués que par la pangée

A- LA DÉRIVE DES CONTINENTS

Conclusion

Wegener a démontré de façon assez convaincante que dans le passé les continents ne formaient qu'un seul méga-continent. Partant de l'idée de l'isostasie admise à l'époque il conçoit que les continents sont susceptibles de se mouvoir à l'horizontale si l'on applique une force motrice suffisante.

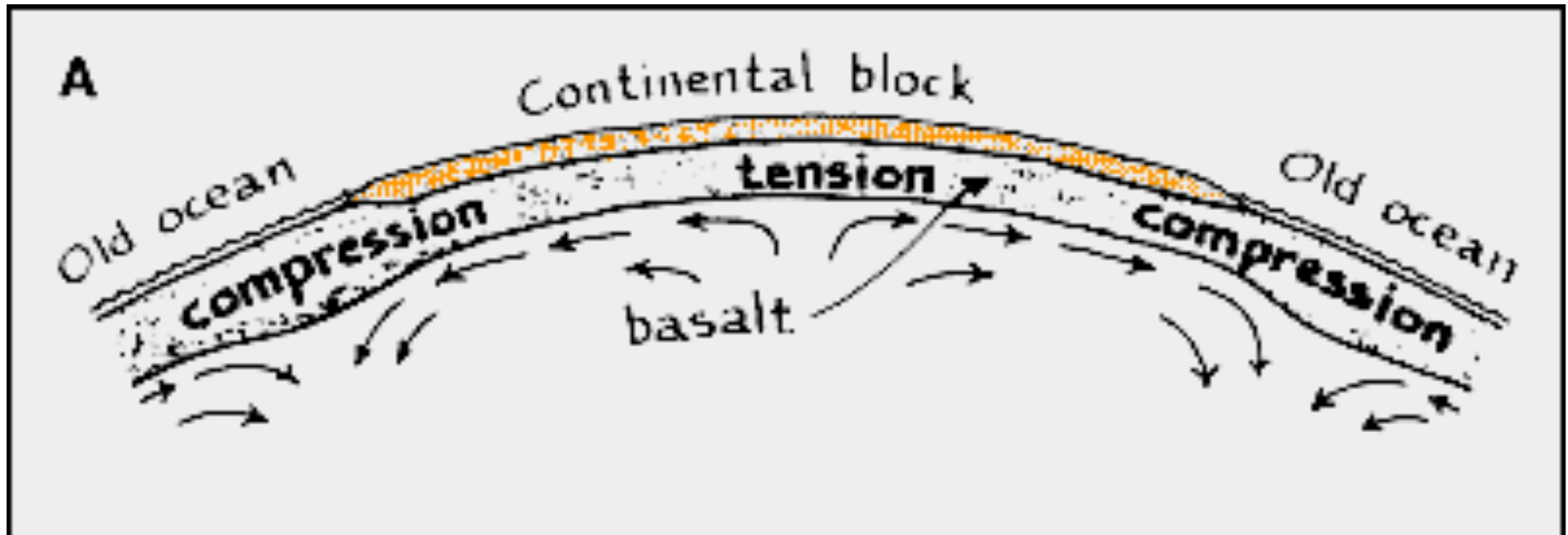
Cependant malgré l'évidence de la dérive des continents, Wegener n'a pas pu trouver un mécanisme explicatif suffisant pour sa théorie.

Wegener présente des faits montrant que les continents étaient groupés mais il n'a jamais dit comment ils se sont séparés

B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

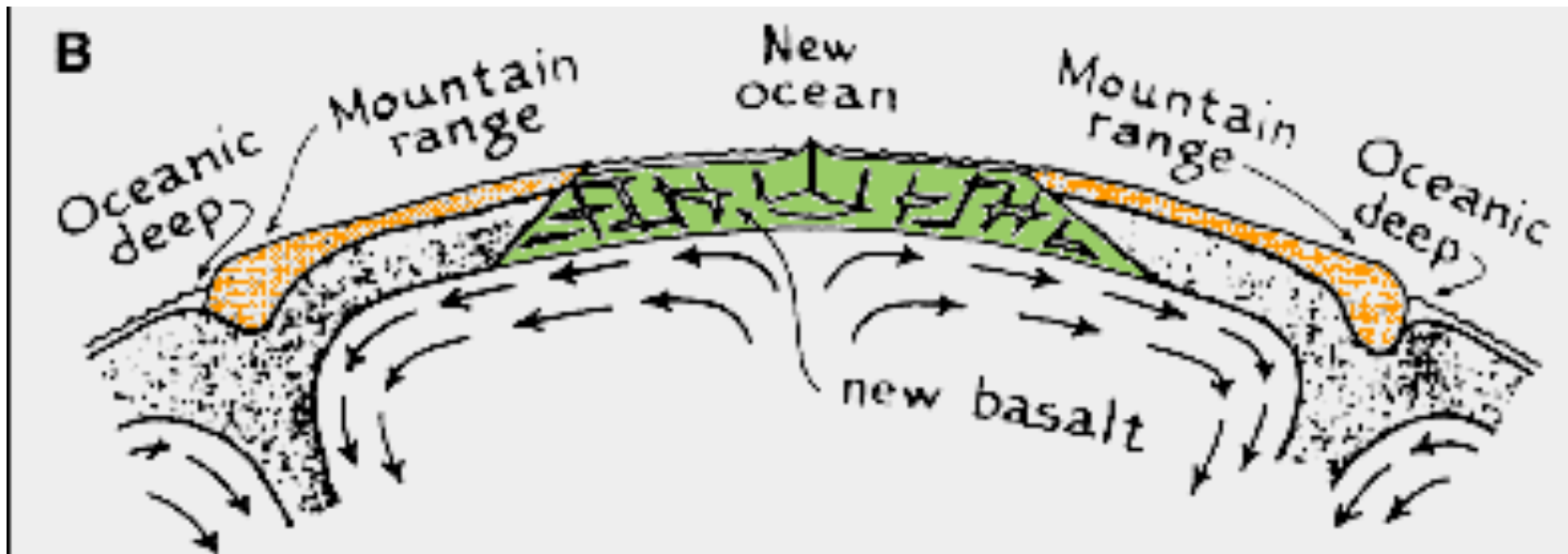
Arthur Holmes (1945):

(A) Holmes propose que l'existence de courants de convection dans le manteau, sous un méga-continent (comme la Pangée, par exemple), crée dans la croûte continentale des forces de tension. Ces forces de tension vont contribuer à fracturer la croûte continentale, avec, dans les fractures ouvertes, des venues de magma provenant du manteau.



B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

(B) La cristallisation du magma va créer de la croûte océanique composée de basalte. La nouvelle croûte océanique va elle aussi se fracturer et être infiltrée par le magma. Il va donc se former ainsi continuellement de la nouvelle croûte océanique, les masses continentales vont s'éloigner l'une de l'autre, repoussées par cette formation de nouvelle croûte océanique. Pour Holmes, la surface terrestre est un espace fini, ce qui implique que s'il y a formation de nouvelle croûte terrestre par endroits, il faut qu'il y ait destruction ailleurs. Cette destruction se fait dans les zones de compression où la croûte s'enfoncera dans le manteau, donnant naissance à des fosses océaniques profondes. Les chaînes de montagnes vont se construire dans ces zones de compression.



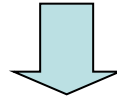
B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

Warren Carey (1953):

expansion infinie du globe terrestre

- **L'exploration des fonds océaniques.**

Durant la seconde grande guerre, et pour des raisons stratégiques, on a obtenu grâce au sonar, une image assez réaliste du relief des fonds océaniques



A quoi correspondent :

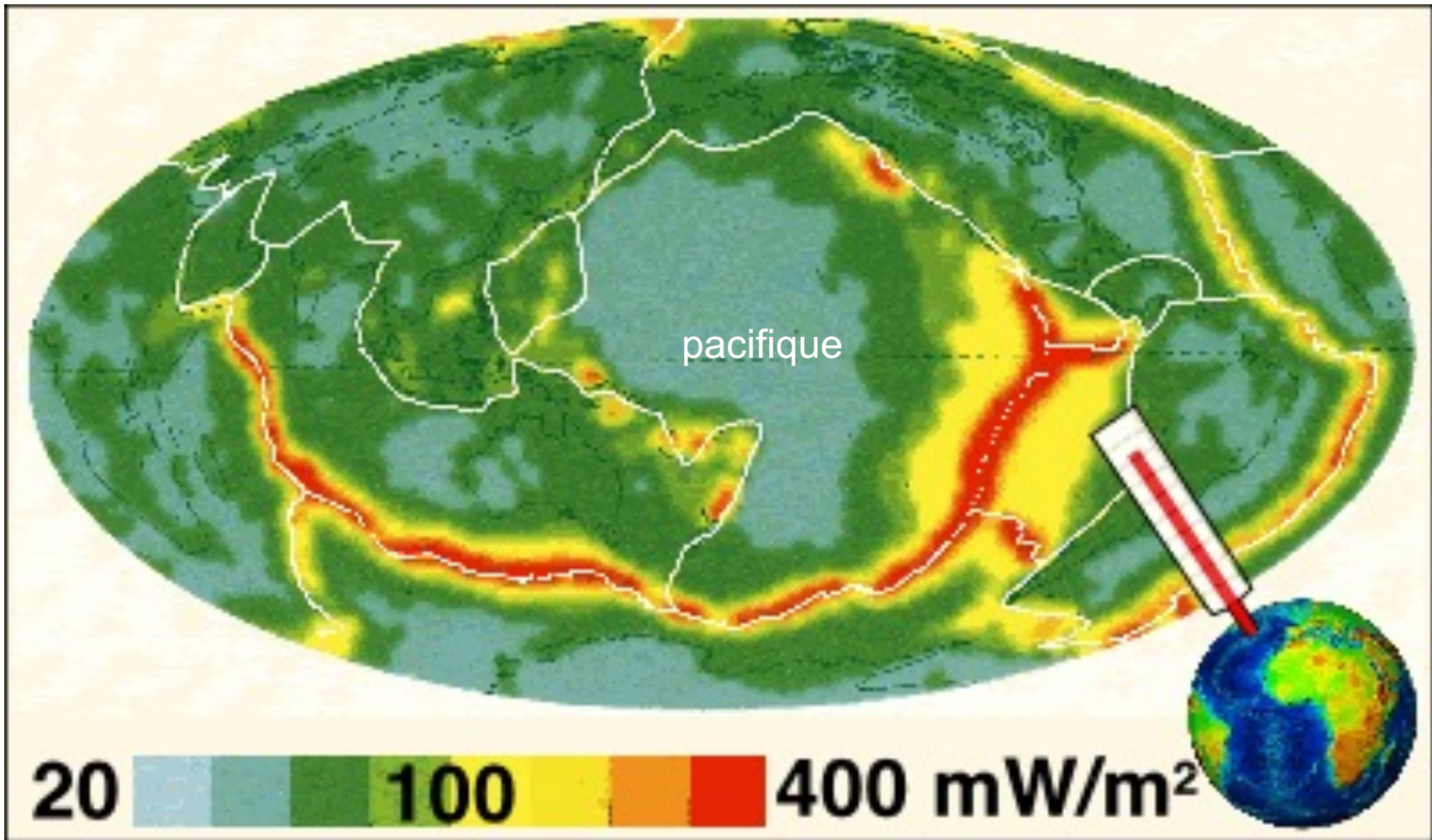
Les dorsales médio océaniques?

Les fosses profondes autour du Pacifique?

Les pics sous-marins pouvant s'ériger jusqu'à la surface des mers dans les plaines abyssales?

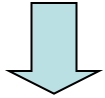
B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

la mesure du flux de chaleur qui va du centre vers la surface de la terre, montre une répartition particulière avec 8UFT au niveau des dorsales (1,65UFT = moyenne du flux terrestre)



B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

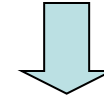
L'anomalie positive de la gravité
au niveau des dorsales



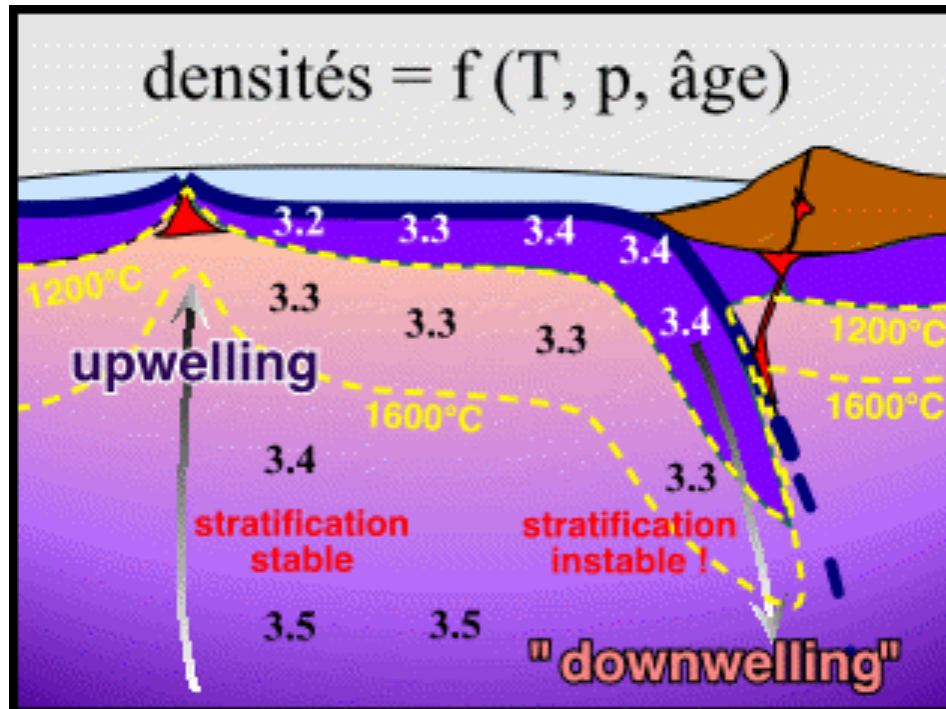
la branche ascendante des
courants de convection dans le
manteau



L'anomalie négative au niveau des
fosses océaniques



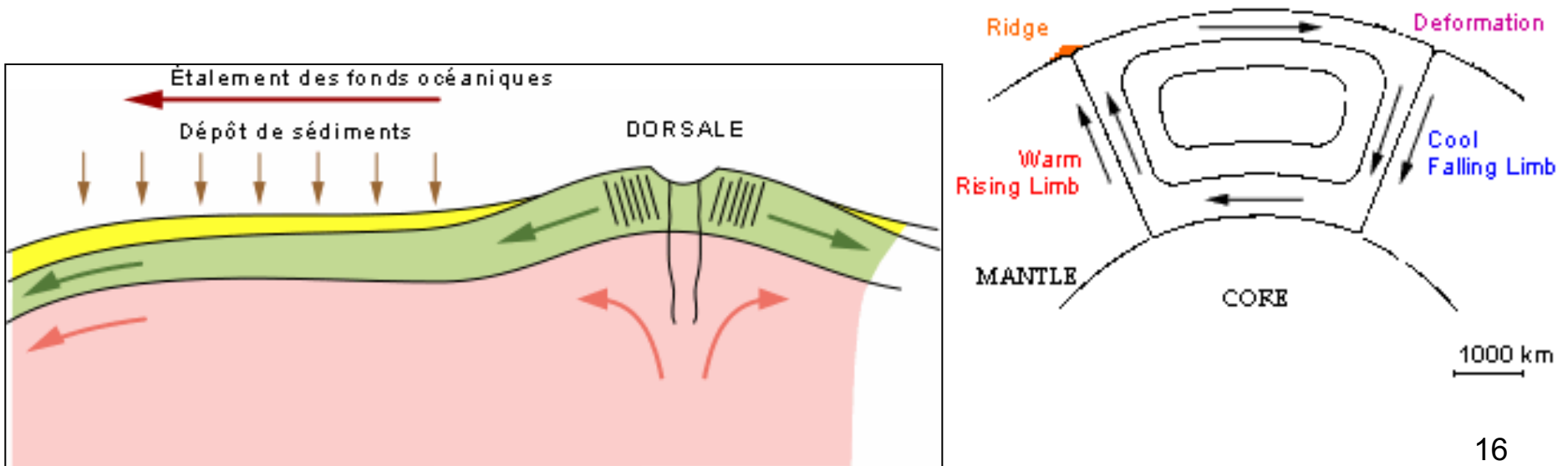
la branche descendante des
courants de convection dans le
manteau



B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

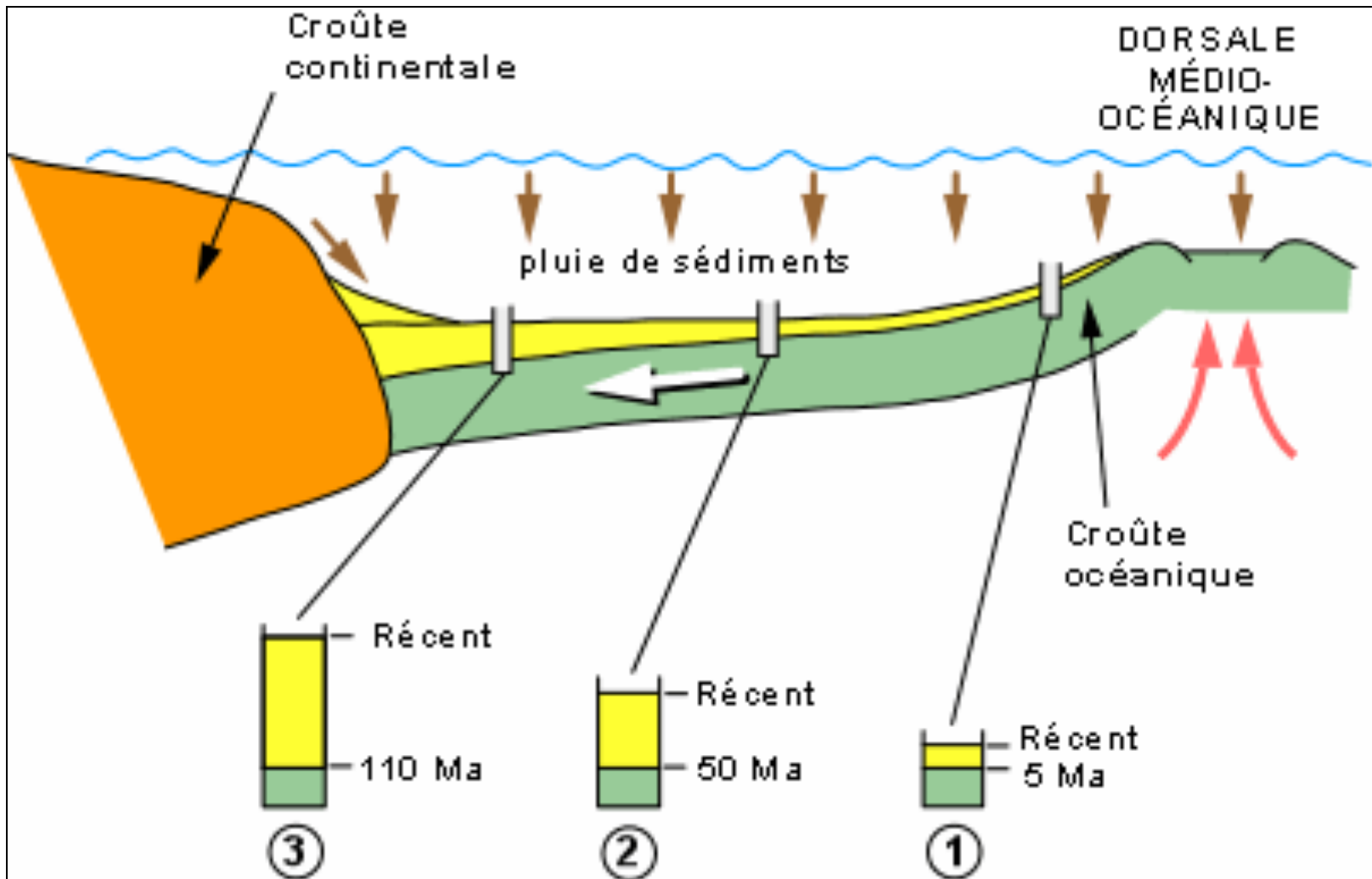
Harry Hess (1962): l'hypothèse du **tapis roulant** des fonds océaniques (sea floor spreading).

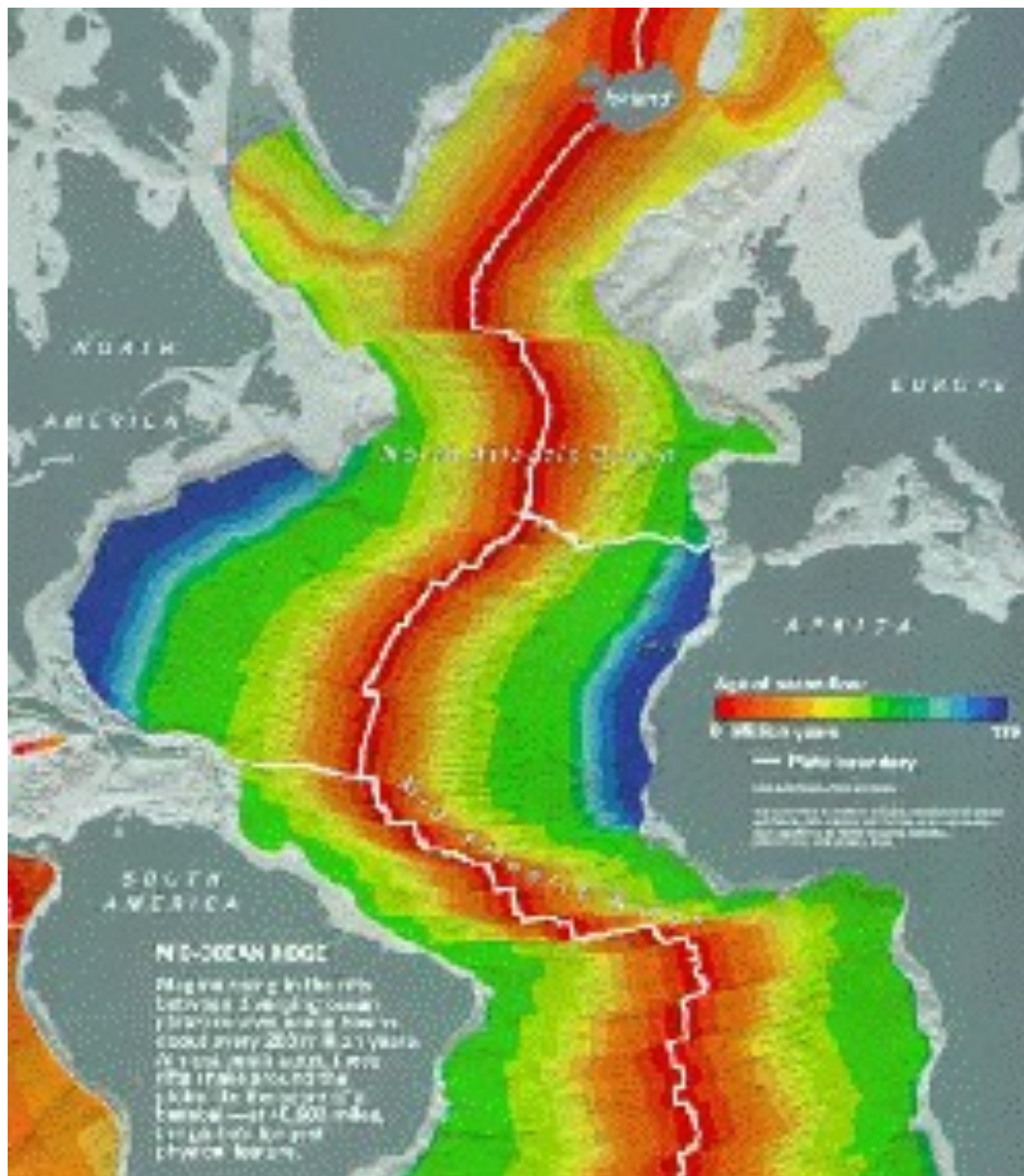
le manteau est affecté de larges courants de convection, les parties ascendantes sont la cause des dorsales médio-océaniques, alors que les parties descendantes se trouvent au niveau des grandes fosses comme au pourtour du Pacifique. Le plancher océanique est formé au niveau des dorsales; il dérive de part et d'autre de ces dernières et vient s'engloutir dans le manteau au niveau des fosses.



B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

l'âge des basaltes du plancher océanique, et des sédiments le recouvrant sont de plus en plus vieux à mesure que l'on s'éloigne d'une dorsale



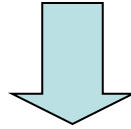


Répartition des âges de la croûte océanique de l'océan atlantique

Rouge = plus jeune
Bleu = plus vieille

B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

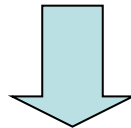
La plus vieille croûte océanique a un âge de 170 Ma



**la croûte océanique est perpétuellement recyclée
par le phénomène de la tectonique des plaques**



**La croûte continentale présente tous les âges
depuis 3,9 Ga jusqu'à l'actuel**

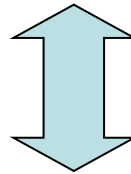


**Les continents n'ont fait que grandir depuis toujours
leur faible densité ne leur permet pas de s'enfoncer
dans le manteau par la tectonique des plaques**

B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

Tuzo Wilson :

**l'âge des îles océaniques croît avec
leur distance par rapport à la dorsale**



Ceci est expliqué par les points chauds ou hot spot



07chaud.swf



Hotspot.swf

B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

La compréhension du magnétisme terrestre a constitué un pas très important dans la formulation de la théorie de la tectonique des plaques. [Rappels](#)

Vine, Matthews & Morley.

Au début des années 60, ont eu l'idée de faire le rapprochement entre trois choses:

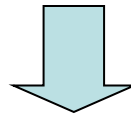
- 1) les conclusions de Matuyama sur l'inversion de la polarité du magnétisme terrestre à travers les temps géologiques
- 2) les bandes d'anomalies de l'intensité du champ magnétique sur les fonds océaniques
- 3) l'hypothèse de Harry Hess à l'effet que les fonds océaniques s'épandaient de part et d'autre des dorsales.

Ces chercheurs ont proposé que les anomalies de l'intensité magnétique sur les fonds océaniques étaient dues aux inversions de polarité magnétique. S'il y a alternance de bandes normales et inverses, c'est qu'il se génère continuellement de la nouvelle croûte à la dorsale et que le plancher océanique se déplace latéralement sous l'effet d'une convection sous-jacente, à la manière d'un tapis roulant (hypothèse de Hess)

B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

Morgan, MacKenzie & Parker

La terre est divisée en plaques rigides

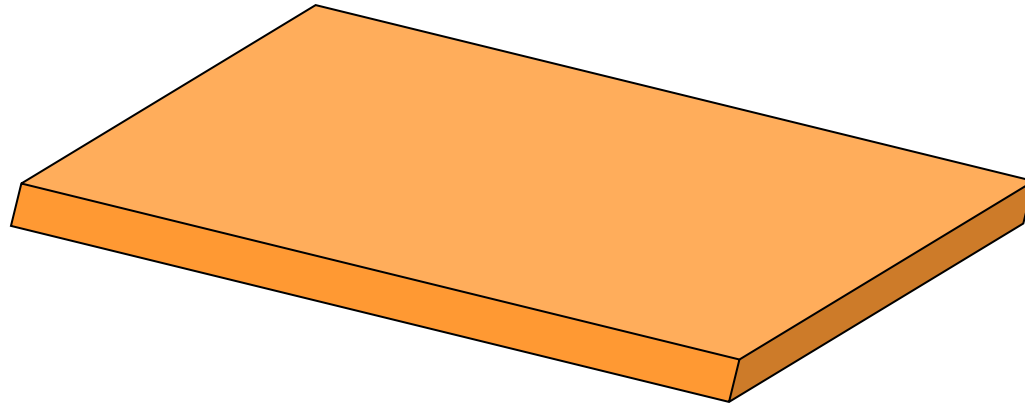


le découpage de la lithosphère en un certain nombre de plaques rigides (13 aujourd'hui, 6 avant) qui bougent les unes par rapport aux autres en glissant sur l'asthénosphère

B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

1- Notion de plaque

Une **plaque** est un volume rigide, peu épais par rapport à sa surface. Indépendante de la notion océan ou continent, elle peut être entièrement océanique (plaque pacifique) ou contenir à la fois des zones continentales et des zones océaniques (plaque africaine). Le globe terrestre comporte 13 plaques principales.



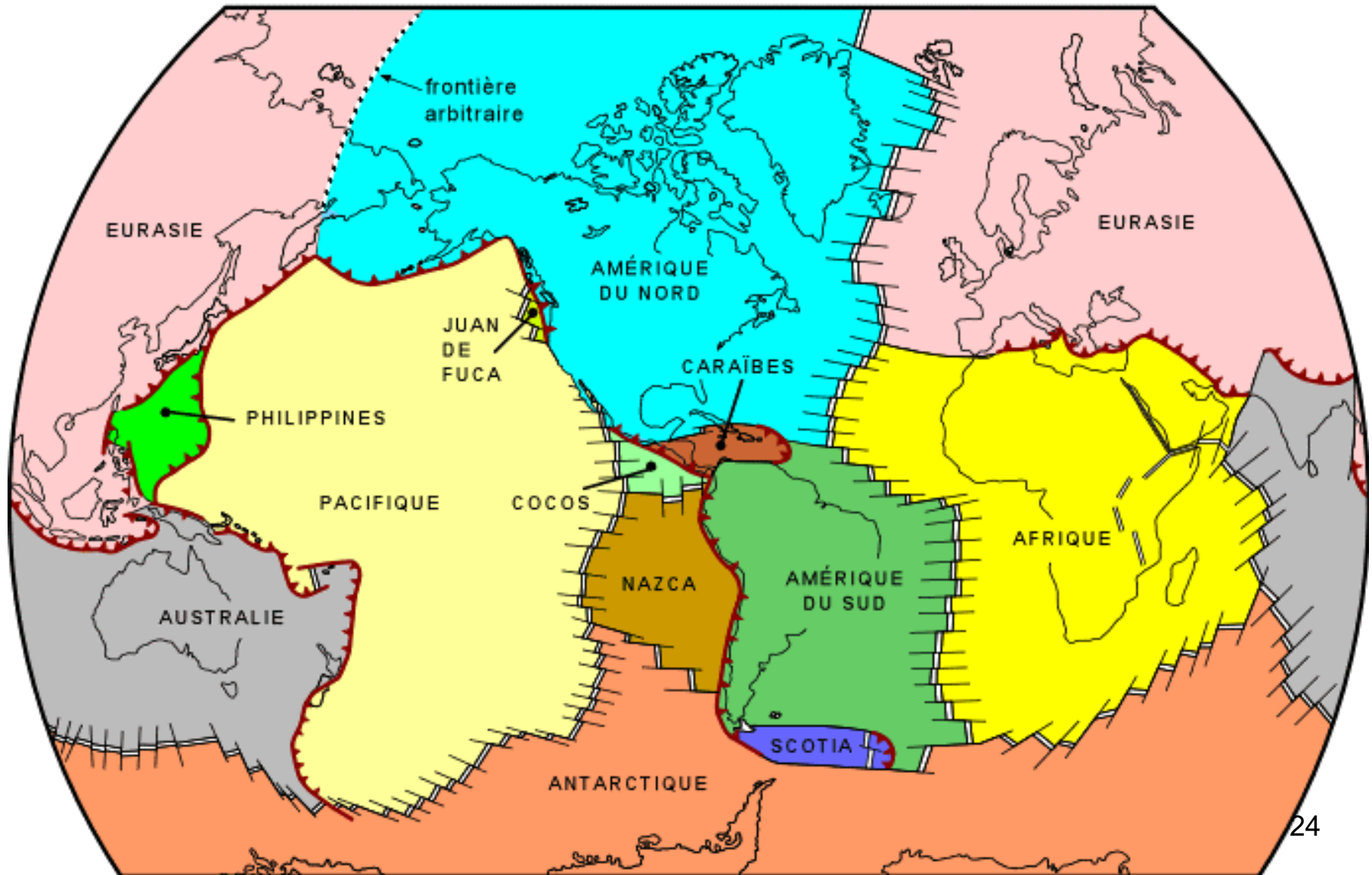
B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

Les Plaques lithosphériques

limites
divergentes

limites
convergentes

limites
transformantes



B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

2- frontières des plaques

Les mouvements des plaques définissent trois types de frontières :

❖ *les frontières divergentes:*

les plaques s'éloignent l'une de l'autre et où il y a production de nouvelle croûte océanique. (plaques A et B, D et E);

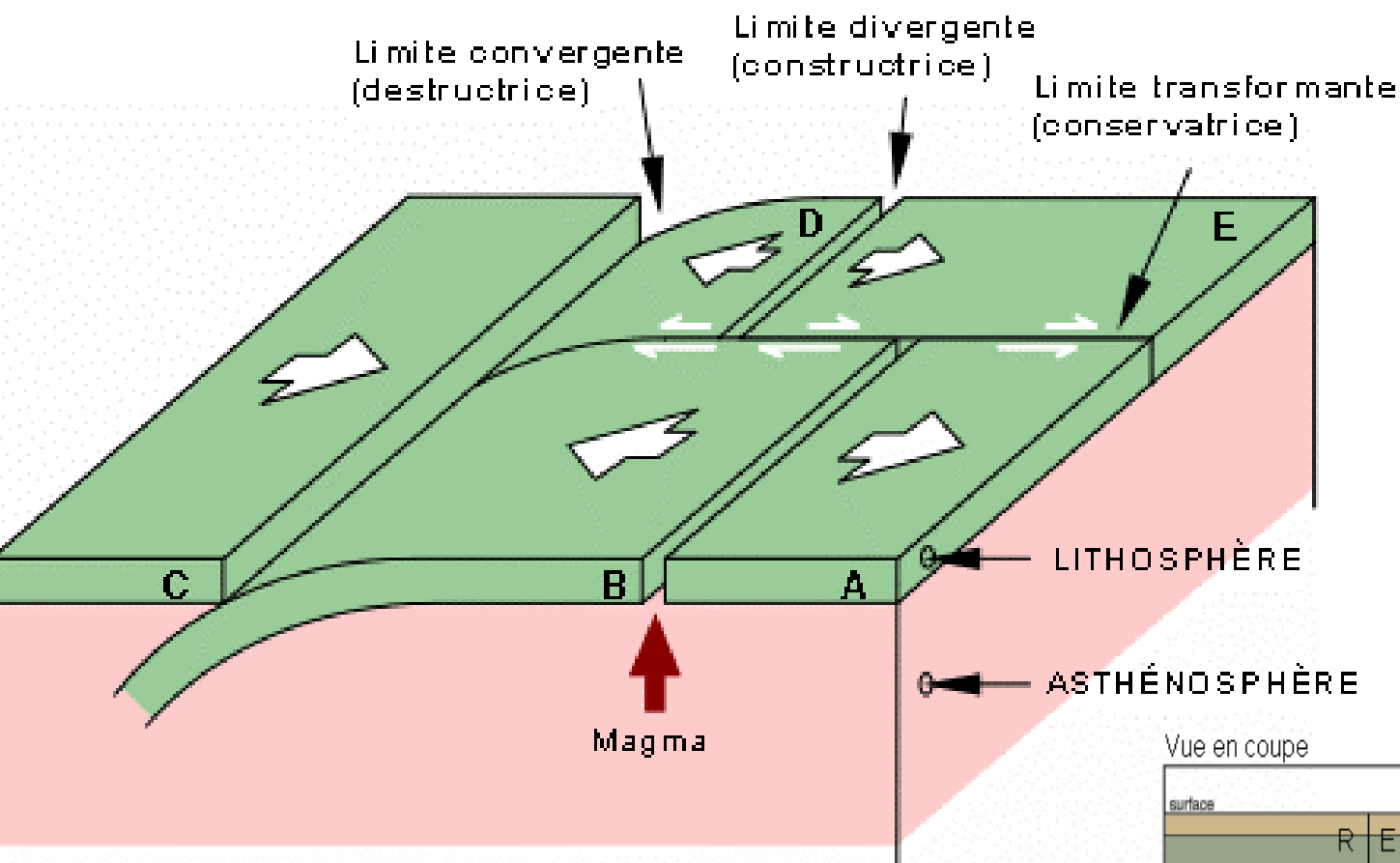
❖ *les frontières convergentes:*

deux plaques entrent en collision, conséquence de la divergence (résorption du matériel lithosphérique); les plaques B et C, D et C;

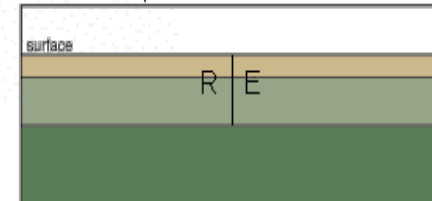
❖ *les frontières transformantes:*

lorsque deux plaques glissent latéralement l'une contre l'autre, le long de failles (A et E, B et D, ou même des inversions du sens du déplacement, plaques B et E).

la majeure partie de l'énergie interne du globe est dissipée au niveau de ces frontières soit sous forme mécanique (séismes) ou thermique (magmatisme).

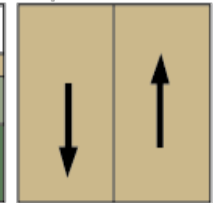


Vue en coupe

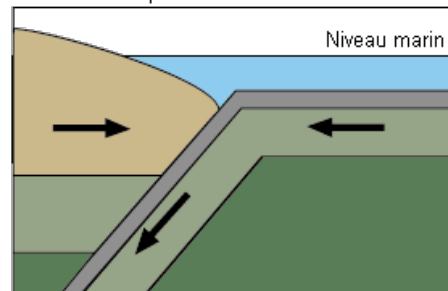


Limite de plaque transformante.
R : Rapprochante E : Eloignante

Vue du dessus

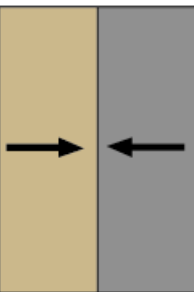


Vue en coupe

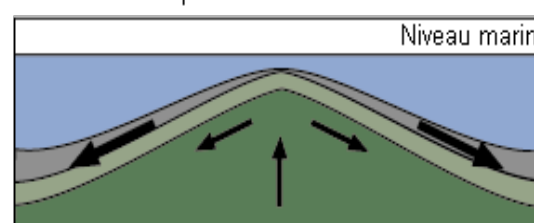


Limite de plaque convergente

Vue du dessus

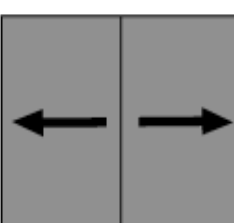


Vue en coupe



Limite de plaque divergente

Vue du dessus



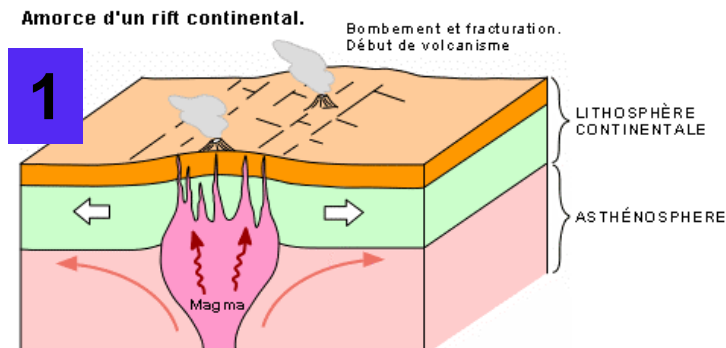
B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES



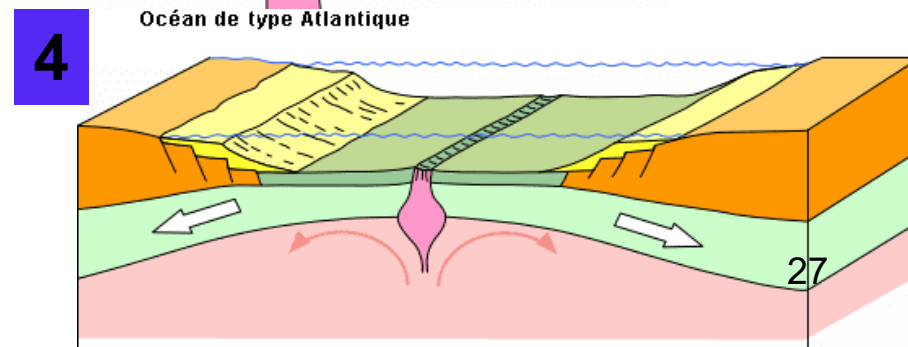
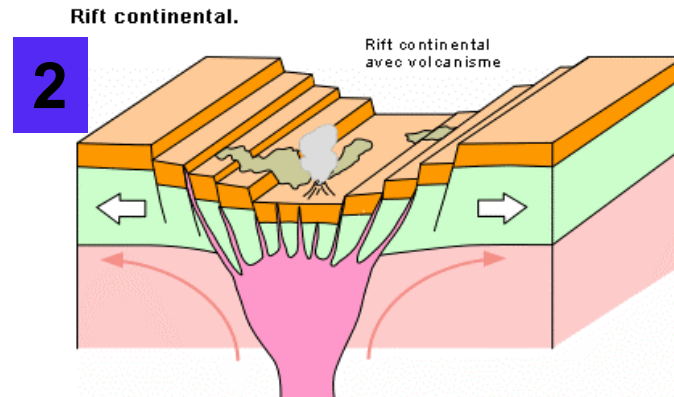
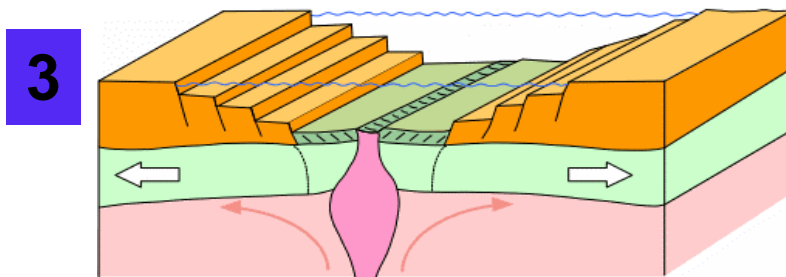
tectonique.exe

2-1- les frontières divergentes

le flux thermique des dorsales (8 UFT) est très supérieur à la valeur moyenne terrestre qui est de 1,65UFT, ce qui traduit la remontée de l'asthénosphère à ce niveau par la convection. Cette remontée est adiabatique jusqu'en surface où le refroidissement est rapide et le matériel asthénosphérique ductile se solidifie formant la lithosphère rigide, la plaque océanique est accrétée et poussée de part et d'autre de la ride. Ces zones divergentes sont à l'origine de la formation des océans qui passe par 4 étapes :



Premier plancher océanique - Mer linéaire.



_ifting4.exe

B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

2-2- les frontières convergentes



tectonique.exe

la surface de la terre est un espace fini



si les plaques grandissent aux frontières divergentes il faudra détruire de la lithosphère ailleurs pour maintenir constante la surface terrestre. Cette destruction se fait aux frontières convergentes.

La plaque lithosphérique produite au niveau des dorsales se refroidit en s'en éloignant et s'épaissit au dépend de l'asthénosphère. Elle devient lourde et s'enfonce dans l'asthénosphère, sous l'effet de l'isostasie, si une fracture le permet c'est le phénomène de **la subduction** qui se fait selon un plan appelé le plan de **Bénioff**.

Elle peut prendre naissance dans deux contextes géographiques différents :

a. convergence entre 2 plaques océaniques

Ou subduction océan - océan

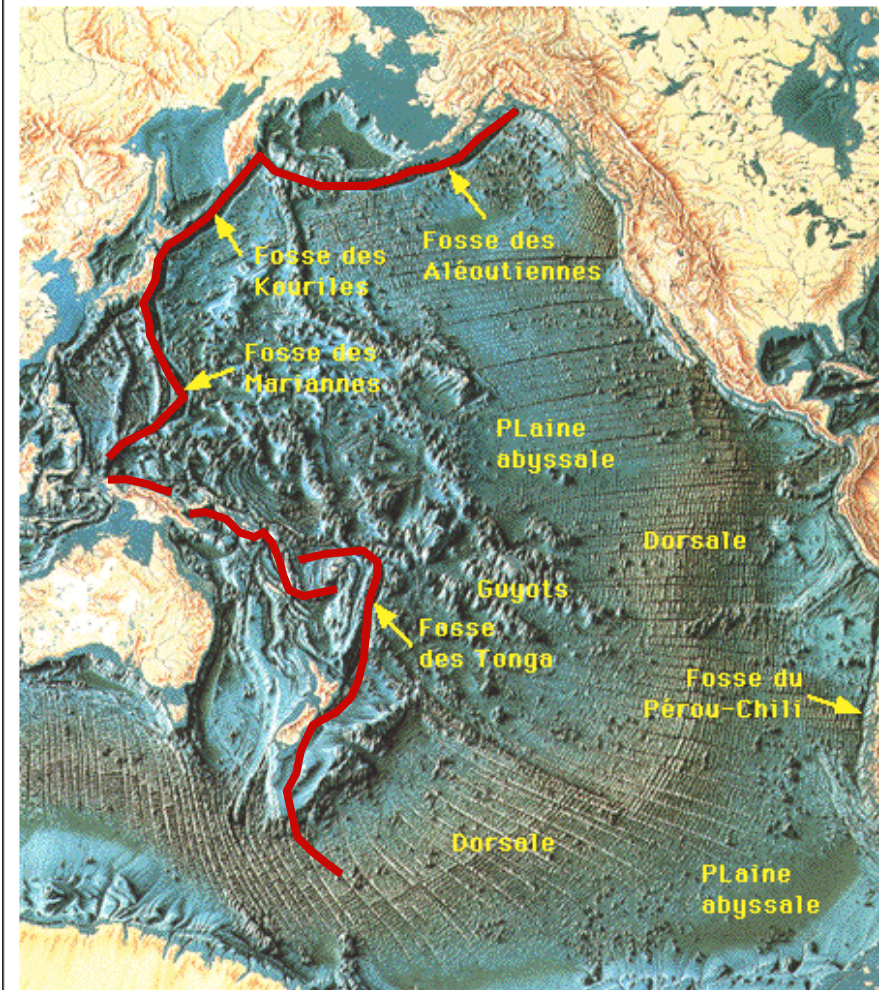
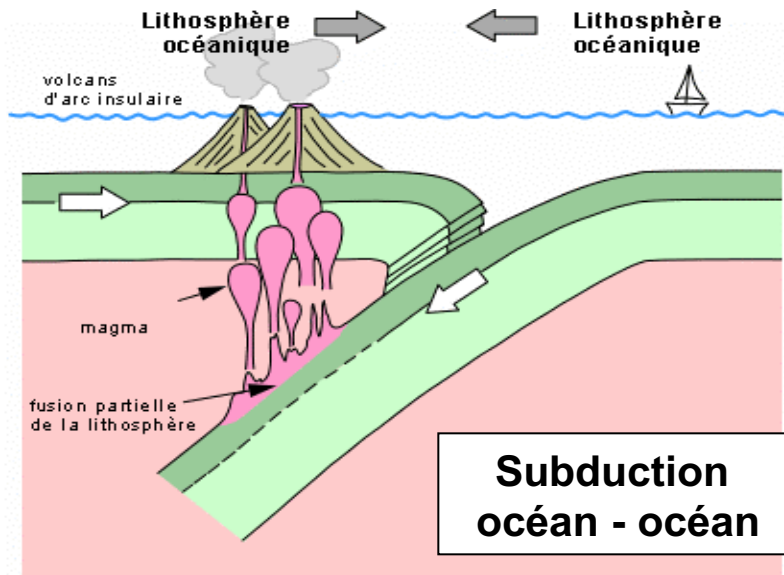
b. convergence entre une plaque océanique et une plaque continentale

Ou subduction océan - continent

B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

a. subduction océan - océan

La plaque océanique plonge sous une autre plaque océanique, la plaque enfoucie subit une fusion et produit du magma : une partie de ce magma reste dans la lithosphère et l'autre est expulsée en surface sous forme de volcans qui vont former une série d'îles volcaniques **ou arc insulaire.**

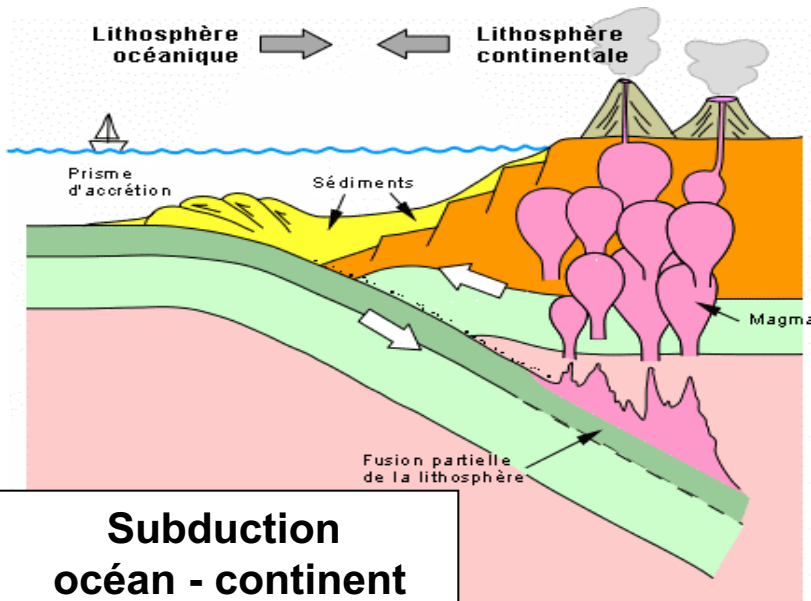


Cette carte des fonds océaniques du Pacifique montre les principaux éléments topographiques des fonds océaniques : pentes continentales, plaines abyssales, dorsales médio-océaniques, fosses profondes (F. des Aléoutiennes, 7822 m.; F. des Kouriles, 10542 m.; F. des Mariannes, 11034 m.; F. des Tonga, 10882 m.; F. du Pérou-Chili, 8066 m.), ainsi que d'innombrables pics sous-marins (guyots).

B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

b. subduction océan - continent

La plaque océanique plus dense plonge sous la plaque continentale. Aux environs de 100 km, la plaque est partiellement fondue. Une partie du magma reste dans la lithosphère; l'autre arrive en surface et formera une chaîne de volcans sur le continent : **arc volcanique continental**. les sédiments qui se trouve sur les fonds océaniques et transportés par le tapis roulant vont se concentrer au niveau de la zone de subduction pour former un **prisme d'accrétion**.



Exemple des Andes



B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

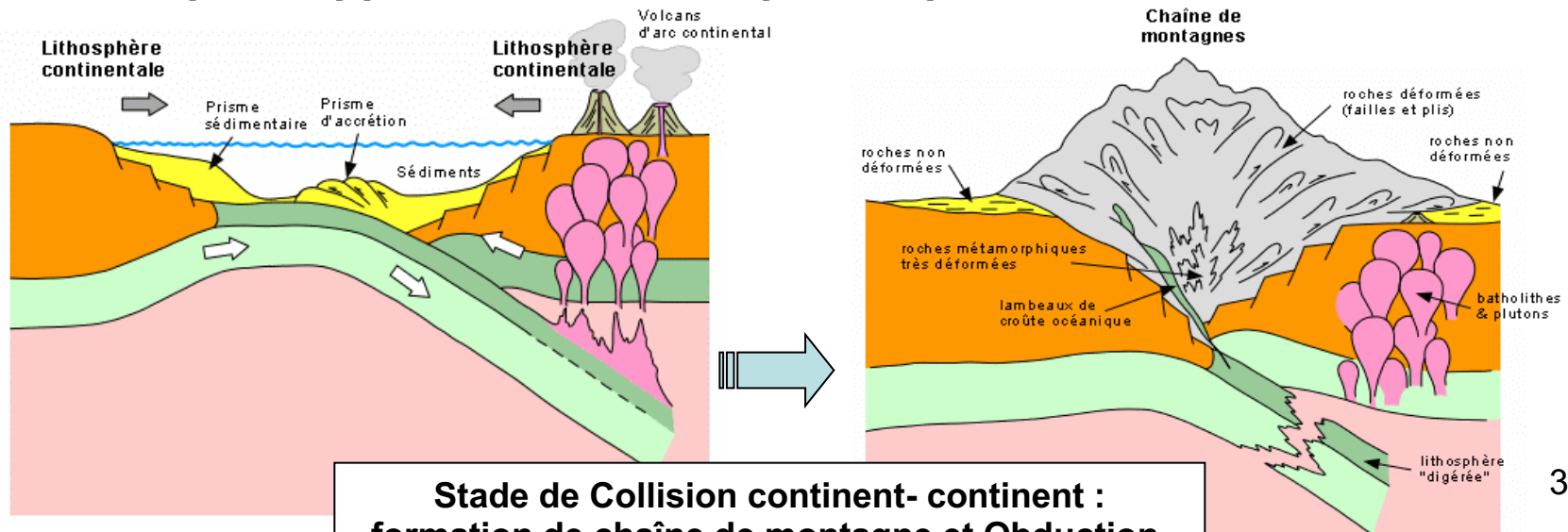


tectonique.exe

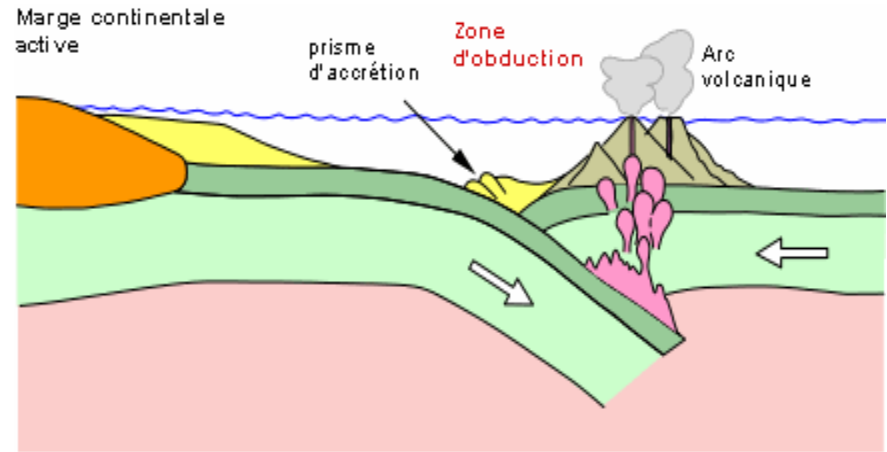
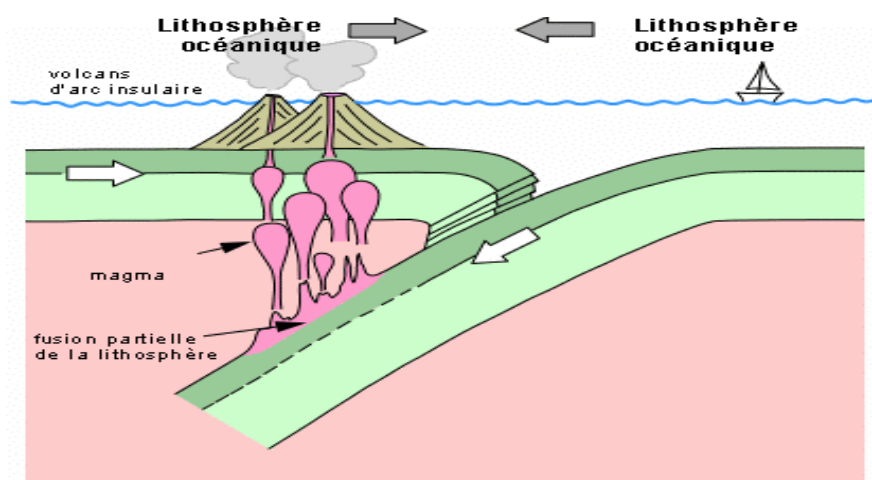
Un troisième type de collision résultant de l'évolution ultime de ces deux premiers : implique **la convergence de deux plaques continentales**, l'espace océanique se refermant au fur et à mesure, le matériel sédimentaire du plancher océanique se concentre de plus en plus et le prisme croît.

Lorsque les deux plaques entrent en collision, le mécanisme se coince: du fait de leur faible densité, les continents ne peuvent s'enfoncer dans le manteau. Tout le matériel sédimentaire est comprimé et se soulève pour former une chaîne de montagnes où les roches sont plissées et faillées ce mécanisme peut durer 50 Ma jusqu'à l'arrêt complet de la collision.

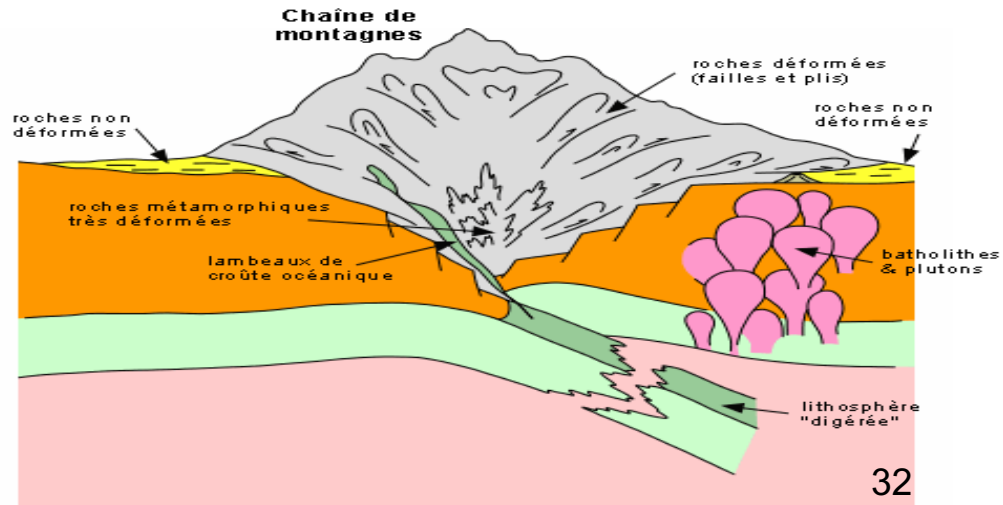
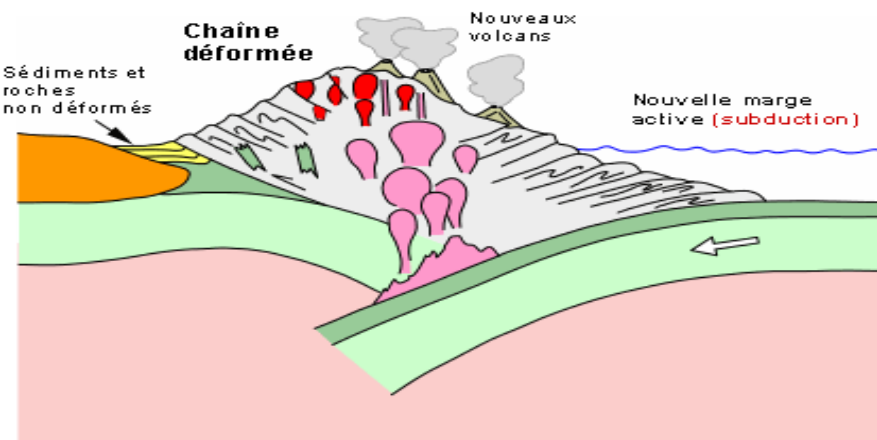
Des lambeaux de la croûte océanique peuvent être coincés dans les sédiments formant ce qu'on appelle les sutures ophiolitiques c'est **l'Obduction** cicatrice des anc



B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES



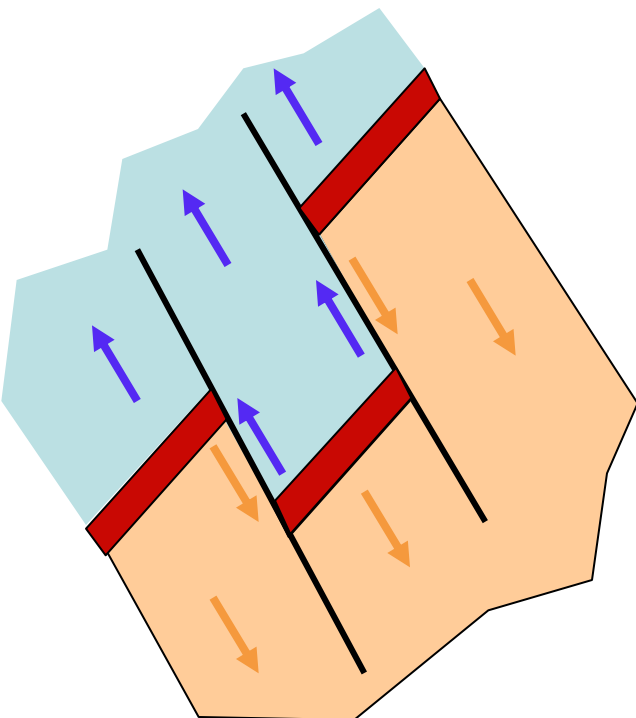
Subduction océan-océan



B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

2-3- les frontières transformantes

Les frontières transformantes correspondent à de grandes fractures qui affectent les dorsales et connues sous le terme de failles transformantes. Elles se trouvent le plus souvent, mais pas exclusivement, dans la lithosphère océanique. Ces failles permettent d'accommoder des différences dans les vitesses de déplacement ou même des mouvements opposés entre les plaques, ou de faire le relais entre des limites divergentes et convergentes (d'où le terme transformantes).



Aujourd'hui



Dans 10 millions d'années



04sei.swf

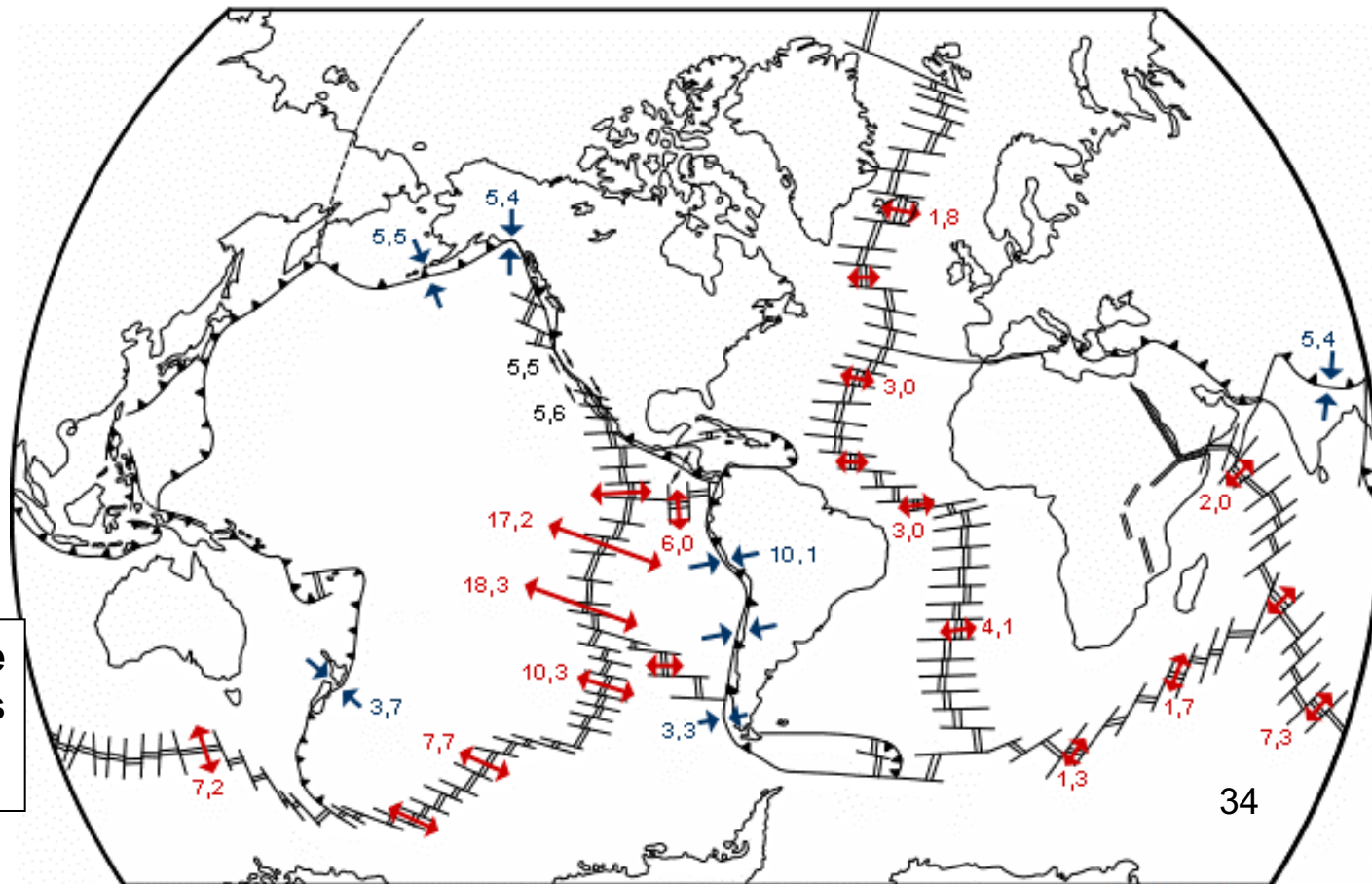
B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

3- A quel rythme se font ces mouvements de divergence et convergence ?

La convergence des plaques résulte directement de la divergence mais les taux de mouvements de ces deux dernières ne sont pas identiques et varient d'un endroit à l'autre.

La divergence > la convergence

La longueur des flèches est proportionnelle aux taux de divergence ou de convergence exprimés en cm /année.



Taux de convergence
et de divergence des
plaque en cm/an

B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

4- Conclusion

**La terre est un grand système dynamique où tout meut par la thermodynamique.
Moteur thermique :**

flux de chaleur par désintégration radioactive



cellules de convection mantelliques



mouvements de l'asthénosphère



mouvements de la lithosphère (Plaques en divergence et convergence)

La tectonique des plaques = une grande théorie unificatrice qui permet d'expliquer



volcanisme.swf

☐ **l'origine du magma qui produit des volcans et leur emplacement sur les frontières de plaques**



Cartsis.swf

☐ **Les séismes et leurs répartition verticale et horizontale**



indeeurasie.swf

☐ **la déformation de la croûte terrestre : formation, âge et emplacement des chaînes de montagnes**

B- LA TECTONIQUE DES PLAQUES

4- Conclusion (suite)

Cette théorie met en opposition deux grands ensembles différents : les océans (CO) et les continents (CC).

➤ une croûte océanique en renouvellement continue qui date d'au plus 170 Ma (mises à part les anciennes CO coincées dans les continents par Obduction et qui témoignent d'anciennes zones de subductions)

➤ une croûte continentale plus âgée et plus au moins préservée avec des âges allant jusqu'à 4,016 Ga. La grande masse continentale connue actuellement s'est accrue en grande partie pendant le Protérozoïque de 2,5 à 0,5 Ga. Depuis la masse des continents est pratiquement constante.

La répartition des anciennes chaînes de montagne, l'âge des ophiolites et leurs localisation, la datation des roches, la paléontologie ... toutes ces données ont permis de reconstituer la géographie des temps anciens : c'est la paléogéographie. Cette dernière montre que les continents se sont séparés et regroupés plusieurs fois bien avant 200-300 Ma (la Pangée de Wegener).