



# CARACTERISTIQUES DU DOMAINE CONTINENTAL ET OCEANIQUE

**I – La dualité géologique océans / continents: la construction d'une idée...**

II – Pluralité pétrographique des croûtes

III – Domaines océaniques et continentaux: principaux ensembles morphologiques

VI – Formation et recyclage de la croûte continentale

Océans = **70 % de la surface du globe**

Les 2/3 de la surface des continents sont situés dans l'Hémisphère Nord, tandis que les océans sont en pourcentage plus présents dans l'hémisphère Sud



Cette dualité géographiques peut elle s'expliquer sur le plan géologique ?

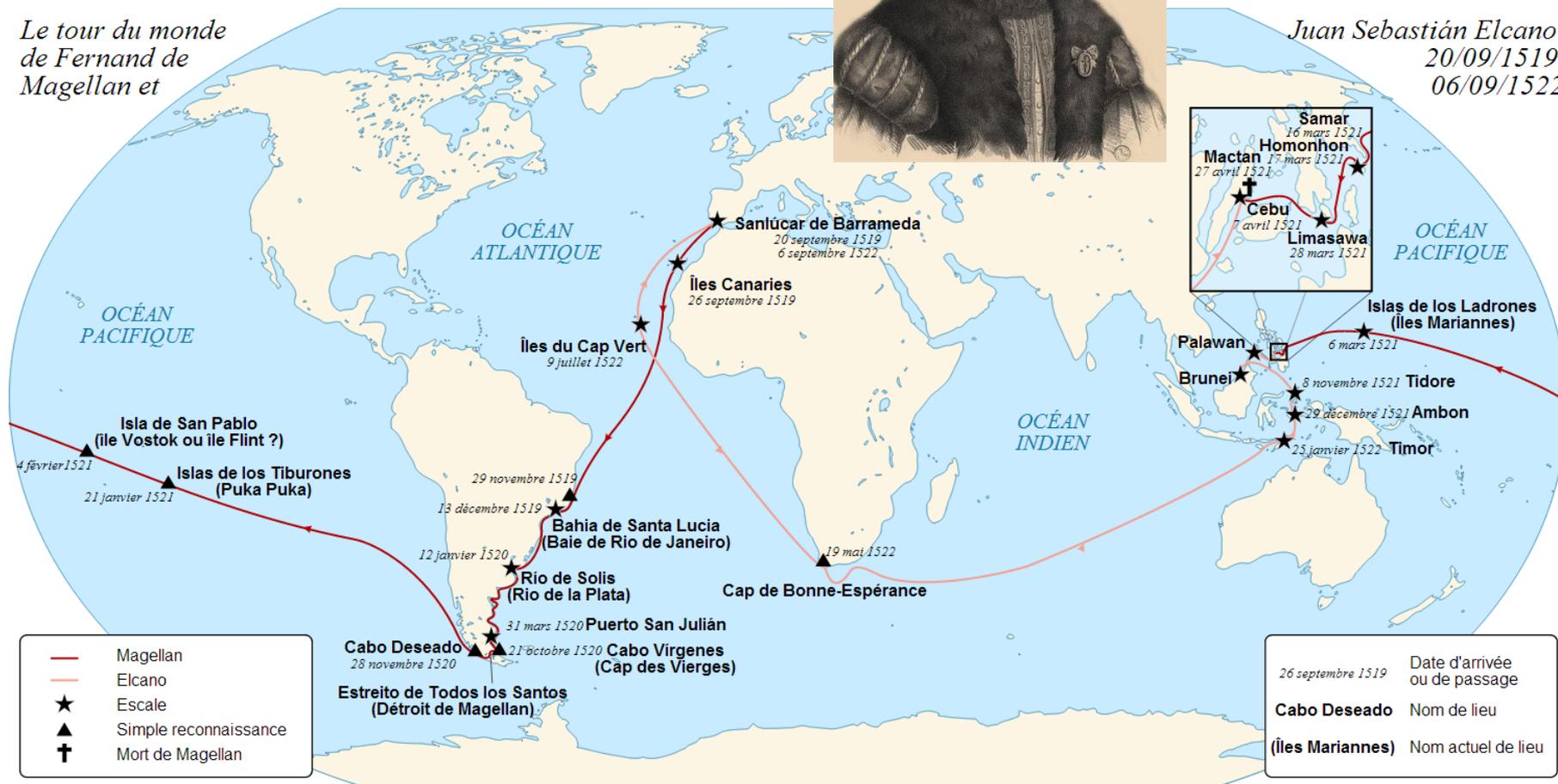
# L'exploration des fonds océaniques

1521 : **Magellan**, avec une corde lestée de 400m, n'atteint pas le fond des océans.  
Il déclare que les océans n'ont pas de fond.



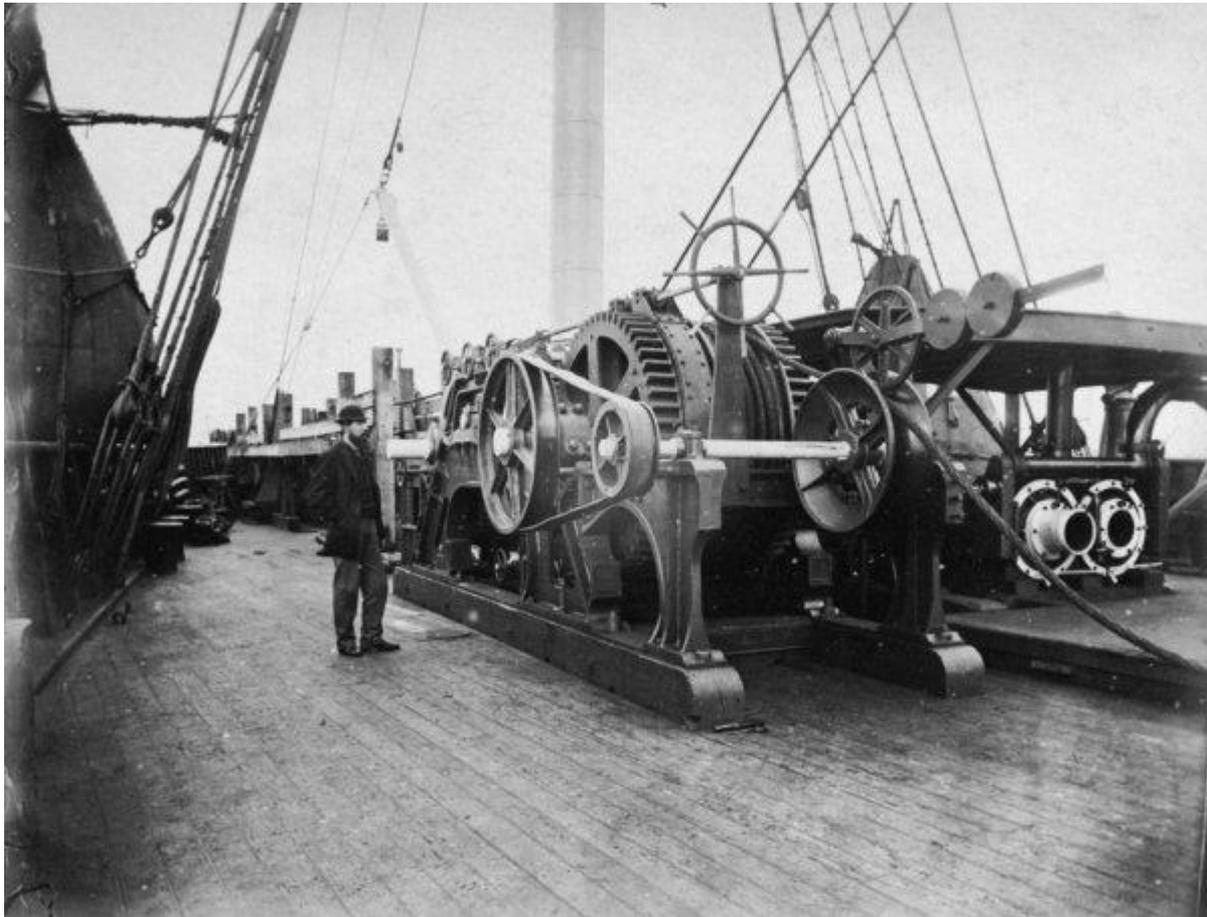
Juan Sebastián Elcano  
20/09/1519  
06/09/1522

Le tour du monde  
de Fernand de  
Magellan et

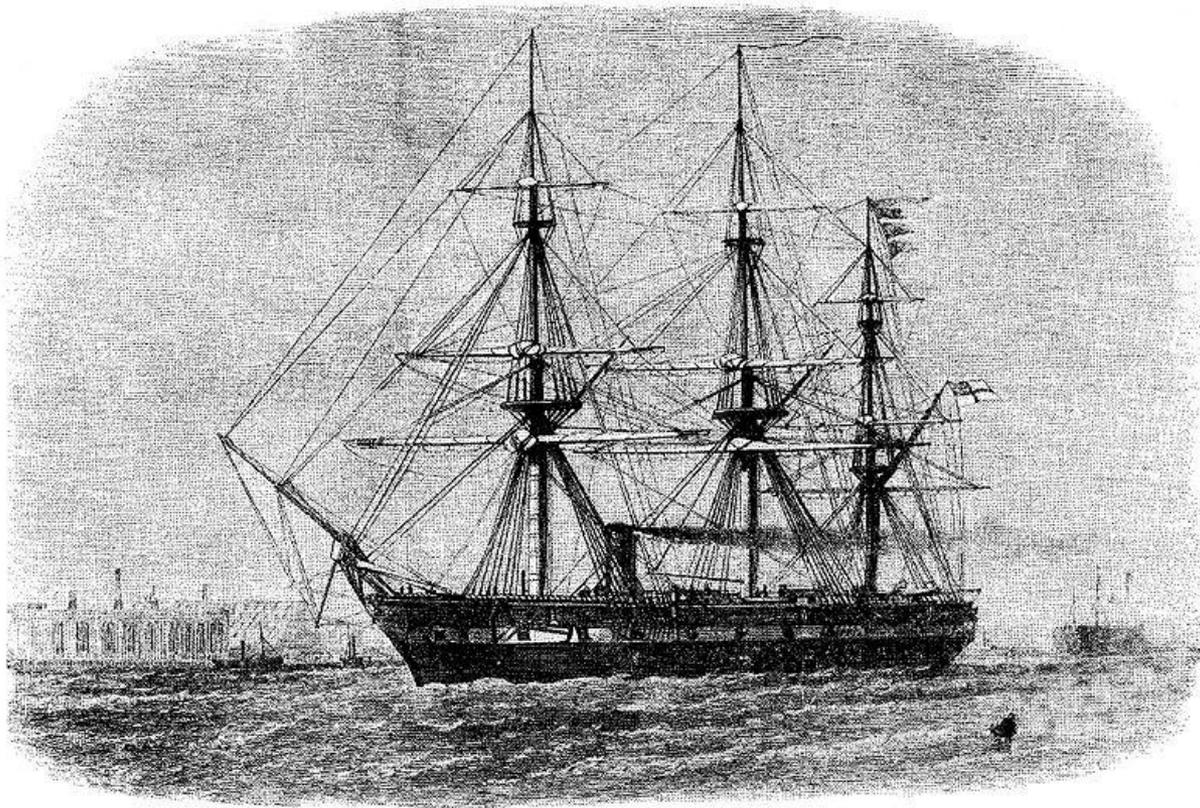


Dans la 2eme moitié du XIXe siècle, l'avènement de projets de pose de cables transocéaniques stimule les campagnes de mesures de profondeur à partir de cables sondes.

En 1866, Great Eastern, paquebot britannique, met en place le premier câble télégraphique transatlantique de 3200 km entre l'Irlande et Terre-Neuve en 1866

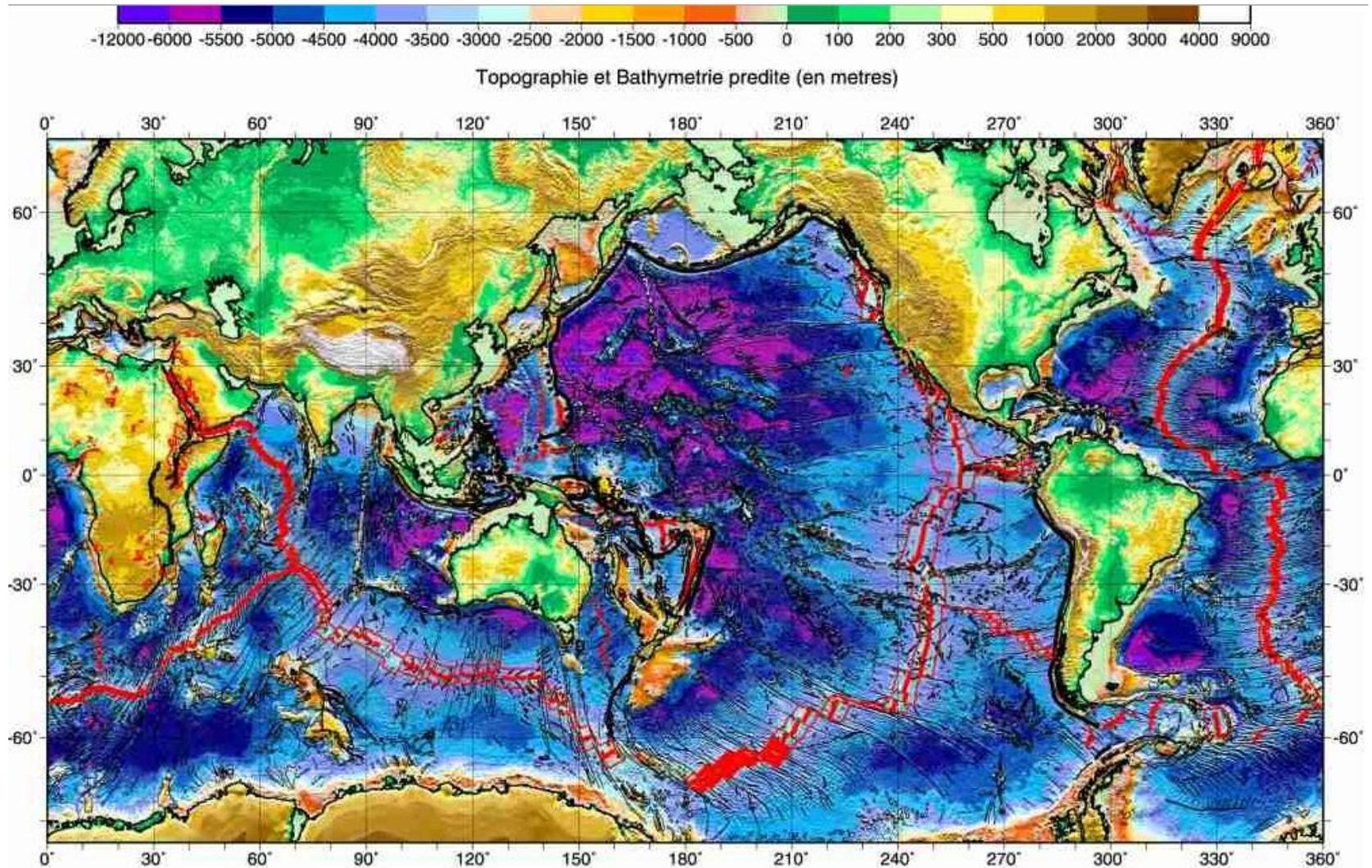


De 1872 à 1876, le navire britannique HMS Challenger (*His/Her Majesty's Ship*) sillonne les océans Indien, Pacifique et Atlantique. Cette expédition marque le début de la géologie marine moderne (rapport sur la composante biogénétique des sédiments marins et repérage de grands reliefs médio-océaniques: les dorsales) → 1<sup>ere</sup> ébauche de **carte bathymétrique**



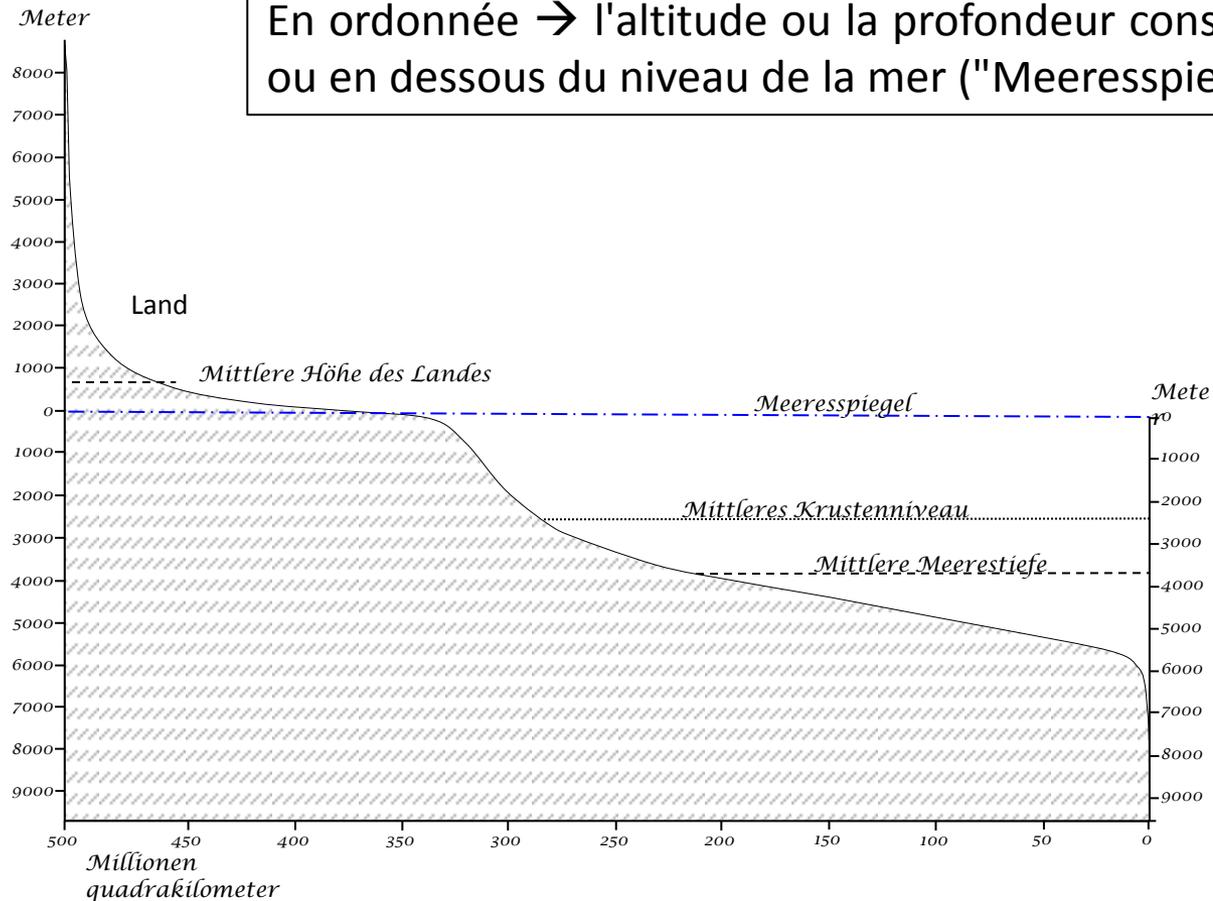
A partir de 1920, les **échosondages** améliorent qualitativement et quantitativement les données.

Actuellement, les sondeurs multifaisceaux « Seabeam » des navires océanographiques et l'altimétrie radar des satellites donnent du modelé sous marin une image complète et homogène.



# La répartition des altitudes sur Terre

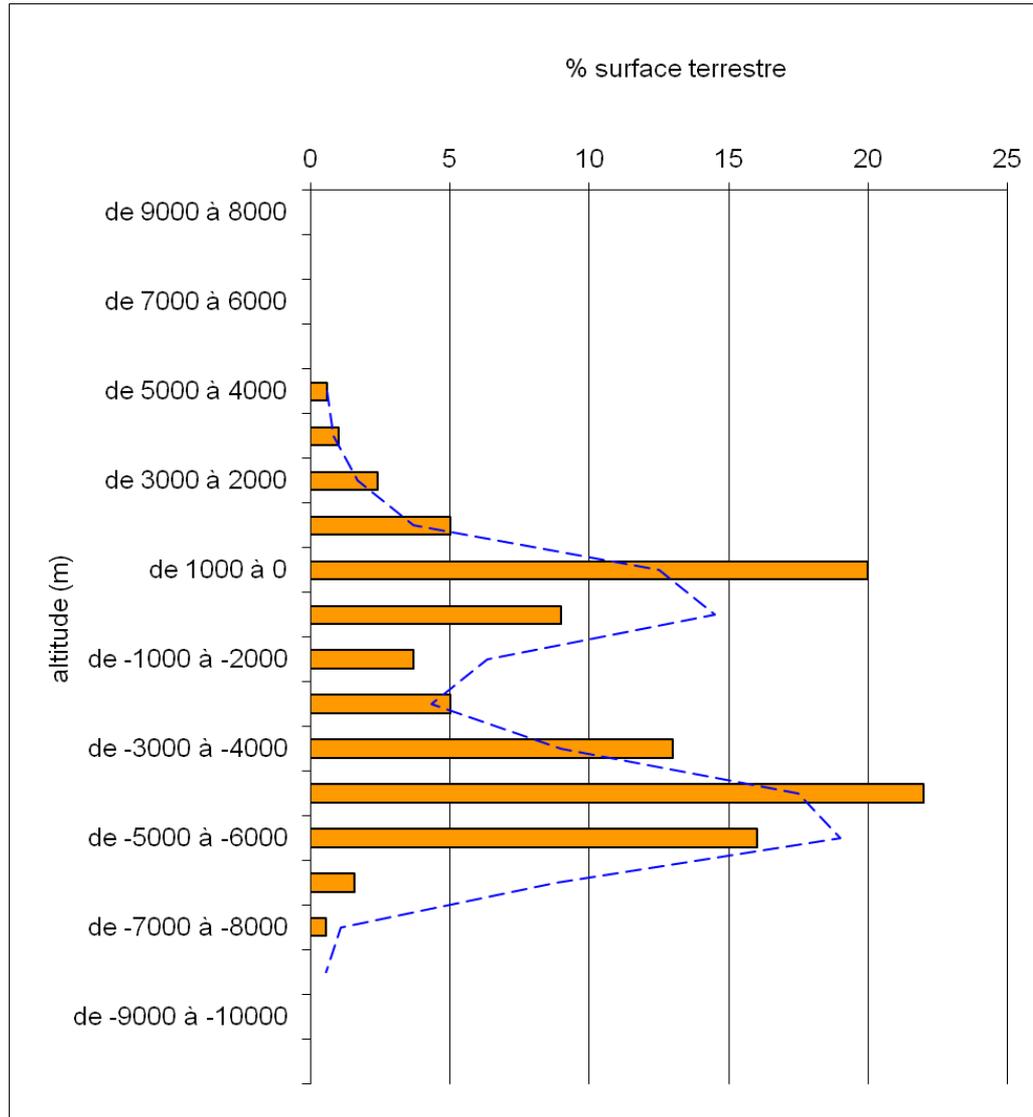
**Otto Krümmel**, en 1897, propose la première représentation sous forme d'une courbe hypsométrique cumulative.



Droits réservés - © 1929 A. Wegener

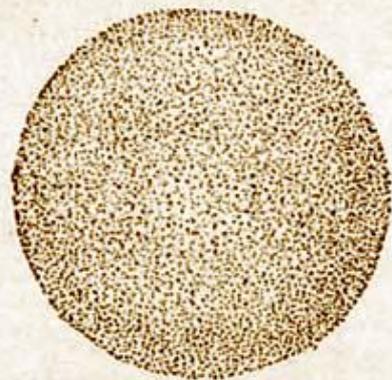
En abscisse → la surface terrestre cumulée en millions de Km<sup>2</sup>.

Cette même représentation peut être aussi établie sans cumuler les surfaces → **Courbe bimodale**

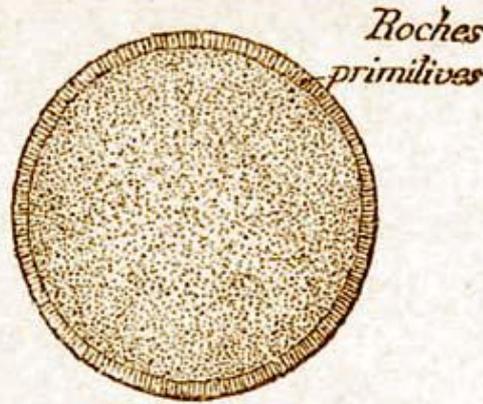


Au début du XX<sup>ème</sup> siècle, pour expliquer les différences d'altitude à la surface de la Terre, la théorie en vigueur est celle de la **contraction thermique de la Terre** (Eduard Suess, « La face de la Terre », 1883):

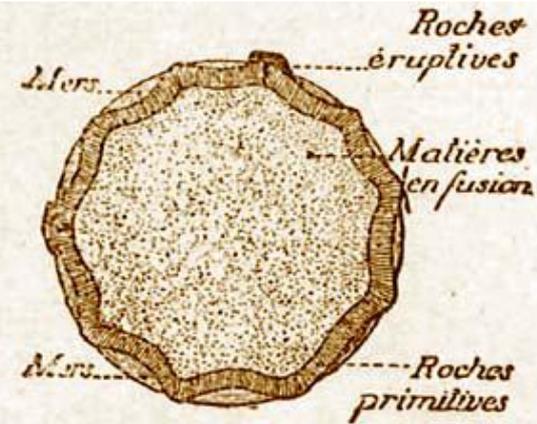
Le **refroidissement** de la Terre depuis sa formation entraînerait une diminution de son volume, donc de sa surface. Cela induirait un **plissement** à l'origine des chaînes de montagnes (bosses) et des vastes dépressions (creux) constituant les océans. On aboutirait ainsi à une surface ridée, comme l'est la surface d'une pomme desséchée.



II. Phase stellaire.

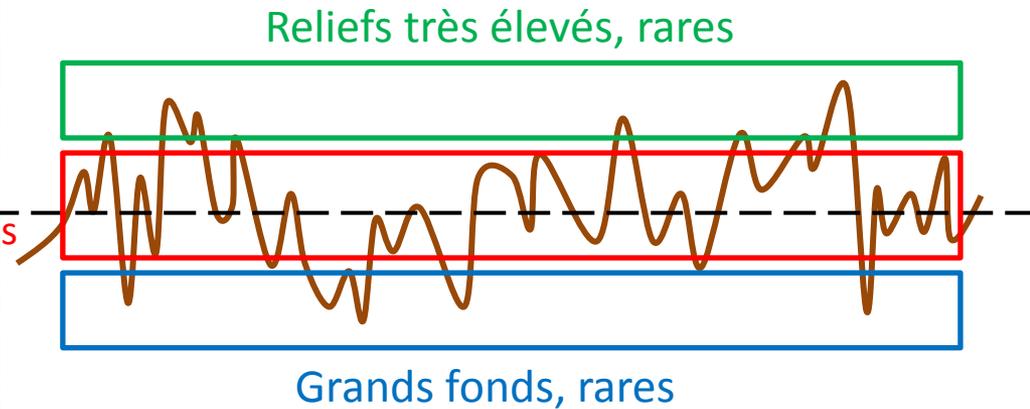
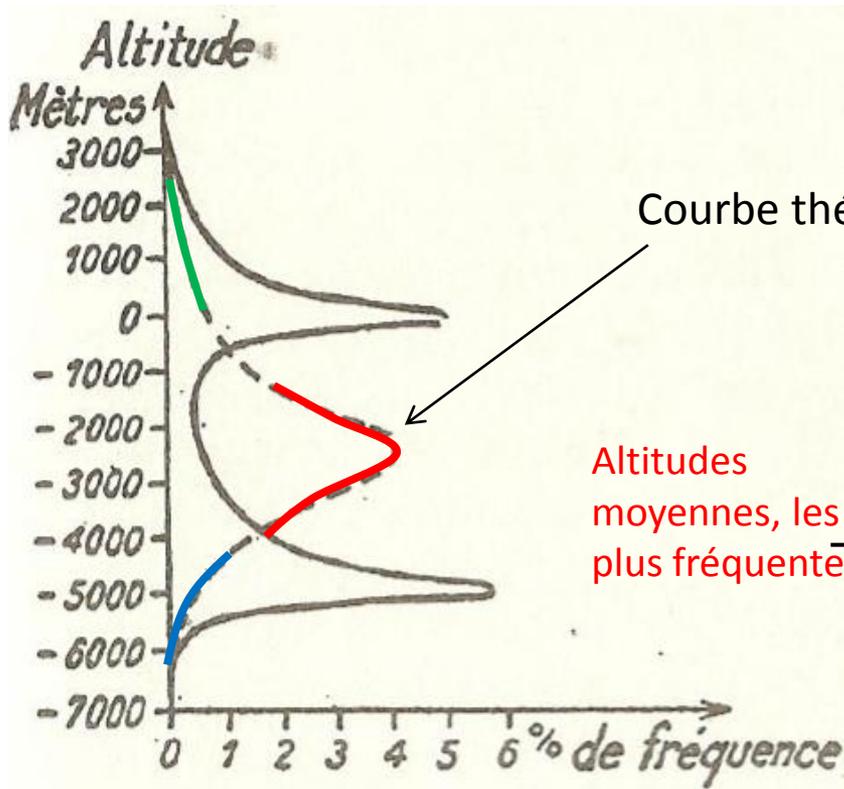


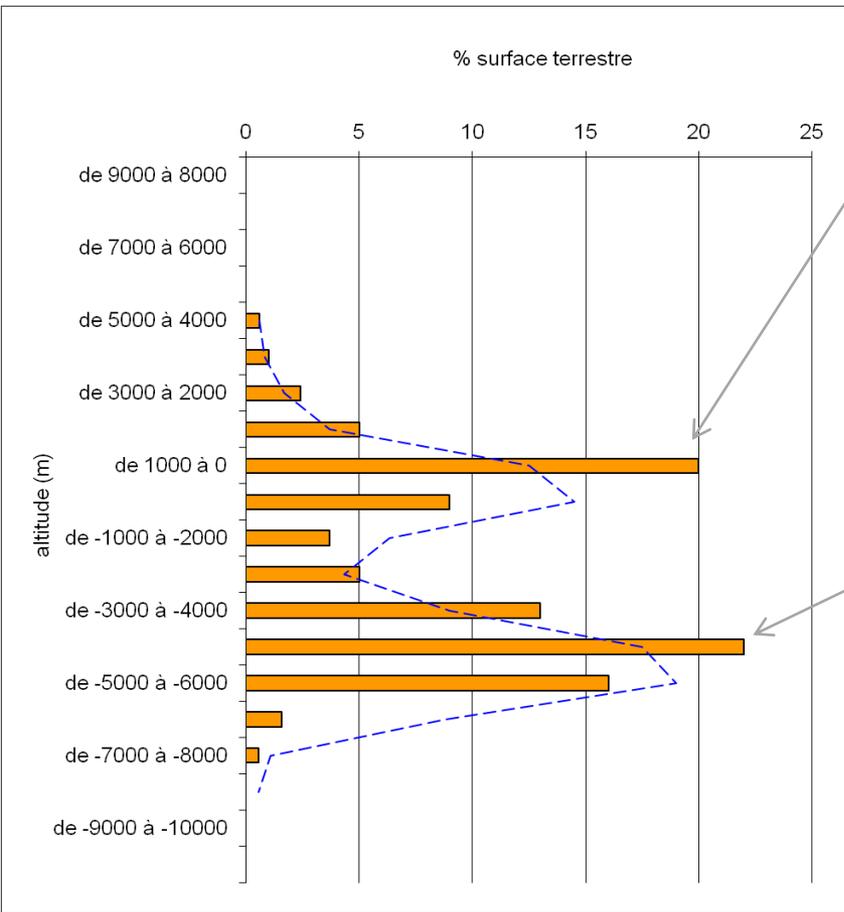
III. Phase planétaire.



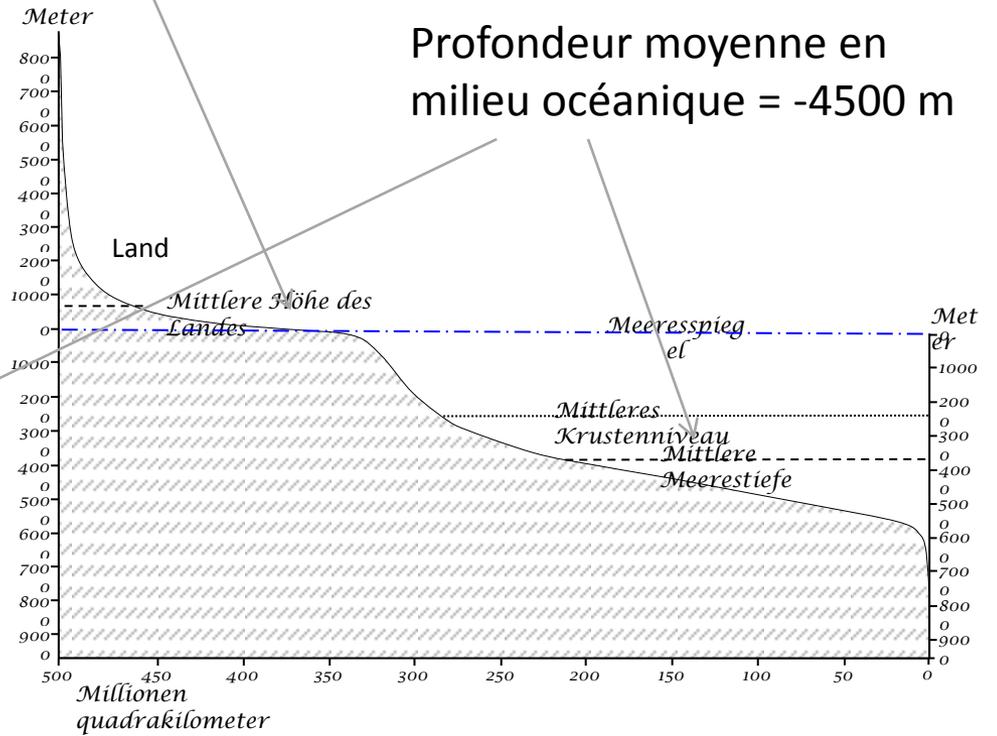
IV. La Terre plissée et fracturée.

Selon **Wegener** (« Genèse des océans et des continents », 1912), la distribution bimodale des altitudes ne peut être expliquée par la théorie de la **contraction thermique** de la Terre: Si les hauteurs sont dues à des soulèvements et les profondeurs à des affaissements, à partir d'un niveau initial commun, il serait alors naturel d'admettre que les fréquences soient d'autant plus petites que l'on s'éloigne du niveau initial. La loi des fréquences devrait être celle d'une courbe de Gauss avec un seul maximum.





Altitude moyenne en milieu continental = 100 m

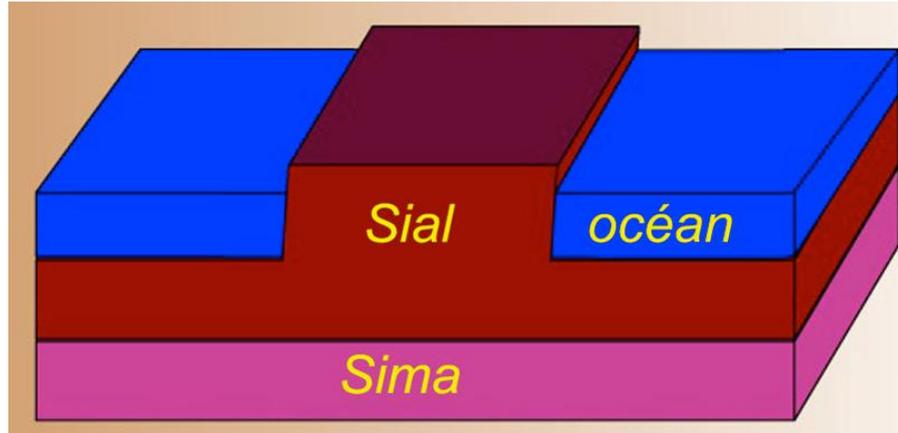


Profondeur moyenne en milieu océanique = -4500 m

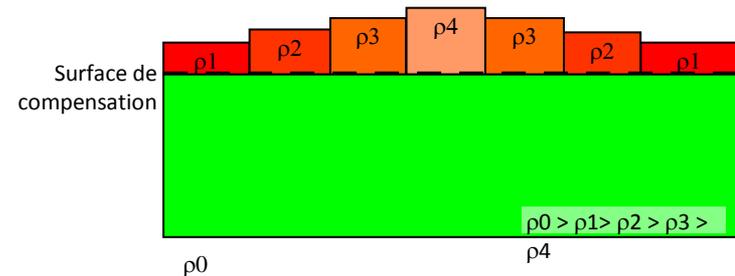
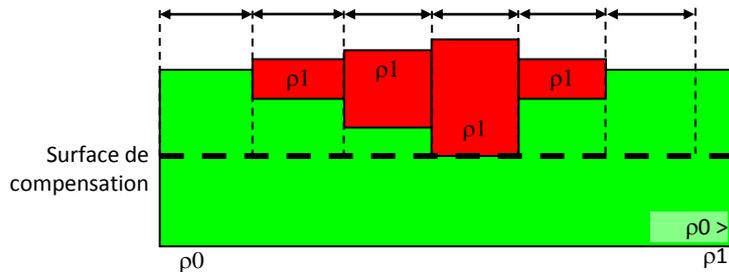
→ Conforte l'idée que les continents et océans constituent **deux couches distinctes** de l'écorce terrestre, **de nature différente**.

# La dualité pétrographique croûte / manteau

Au début du XX<sup>ème</sup> siècle, on connaît l'existence d'un matériau superficiel (**SIAL**, constitué de roches riche en silicium et aluminium) et d'un matériau sous-jacent plus dense (**SIMA**, riche en silicium et magnésium).

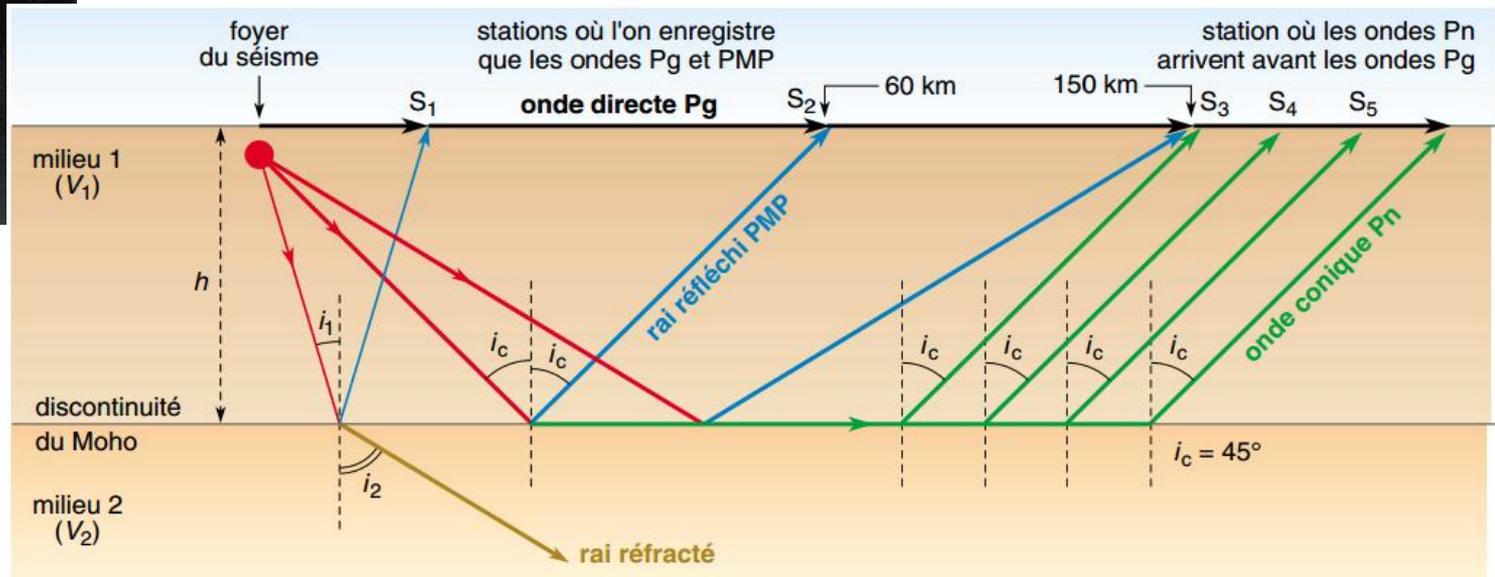
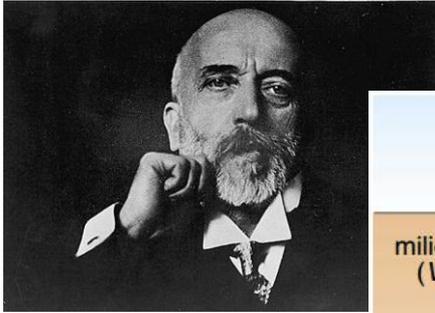


Les travaux de Pratt et Airy (**modèles isostatiques**) sont ainsi confortés : une croûte superficielle "flotte" sur un matériau plus dense.



# La dualité pétrographique croûte / manteau

Les travaux de **Mohorovicic** en 1909 confirment cette idée en montrant une forte discontinuité de vitesse sismique (appelée, depuis, **Moho**) à la base de la croûte continentale, indiquant une discontinuité **chimique** et **physique** entre SIAL et SIMA.



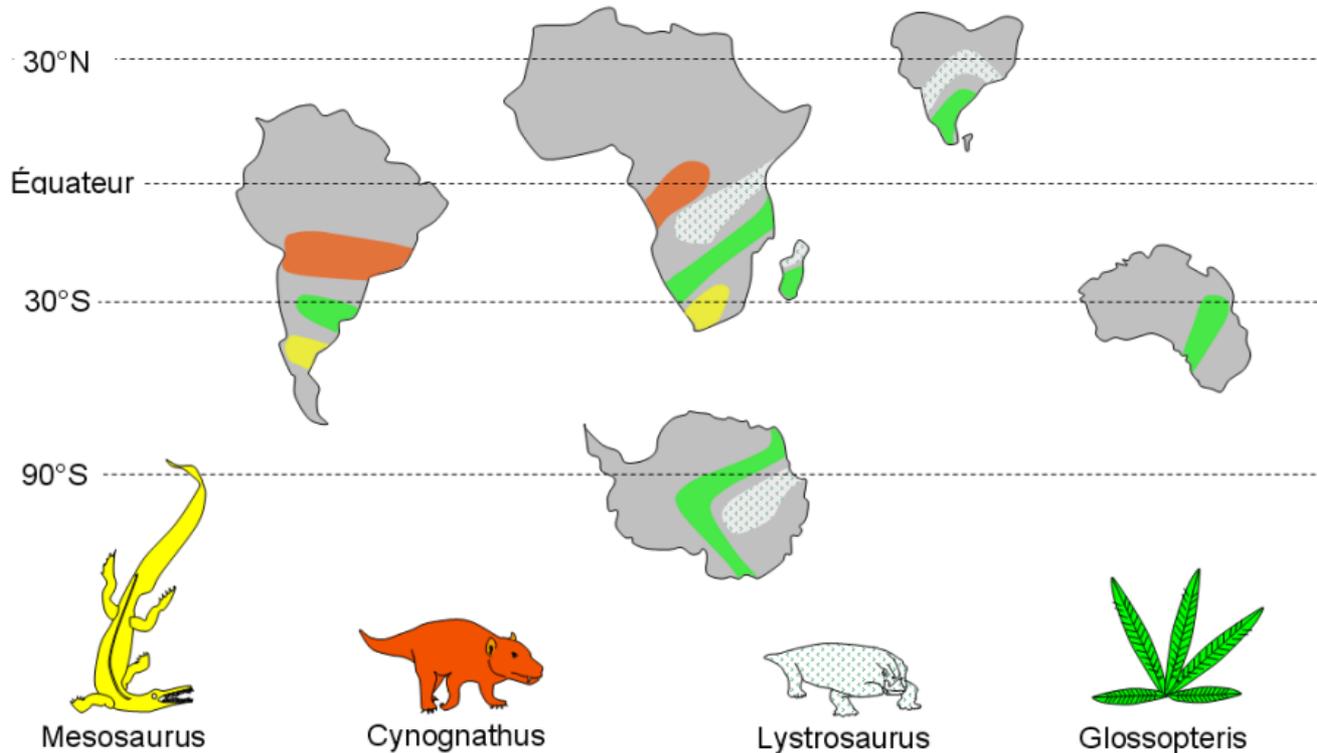
© Hachette Ed

Des enregistrements d'ondes sismiques permirent de mettre en évidence la réfraction partielle des ondes sismiques par cette discontinuité : en 1909, **Mohorovicic** observe deux trains d'ondes P sur un sismogramme. D'après la distance à la station de l'épicentre et l'intervalle de temps entre l'arrivée des deux trains d'ondes P, il calcule la profondeur de la discontinuité présumée: environ 30km.

## Théorie fixiste vs théorie mobiliste

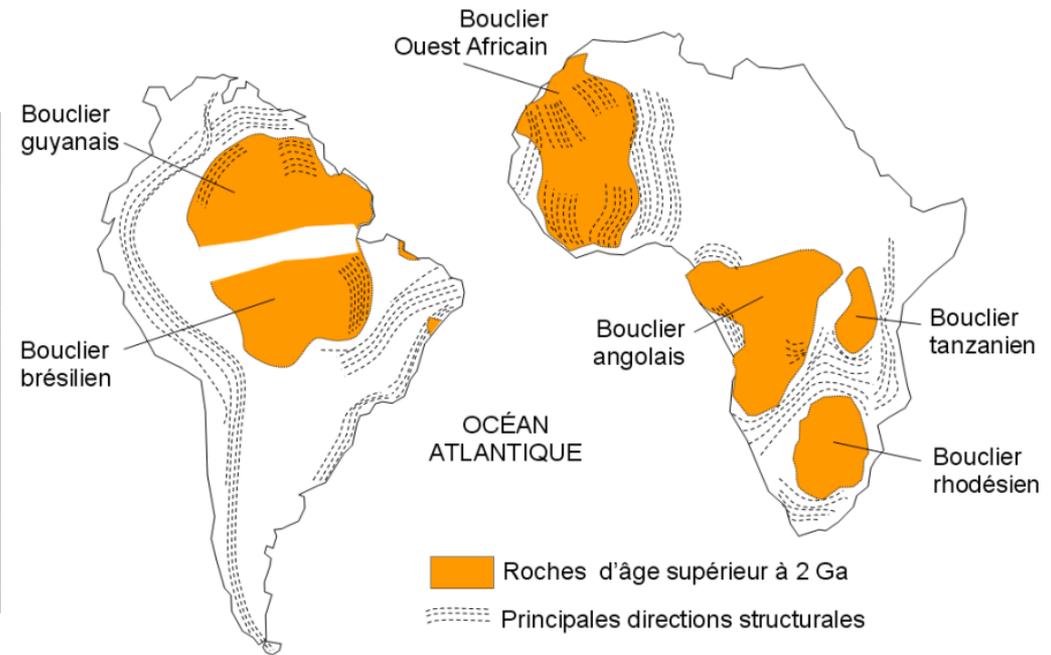
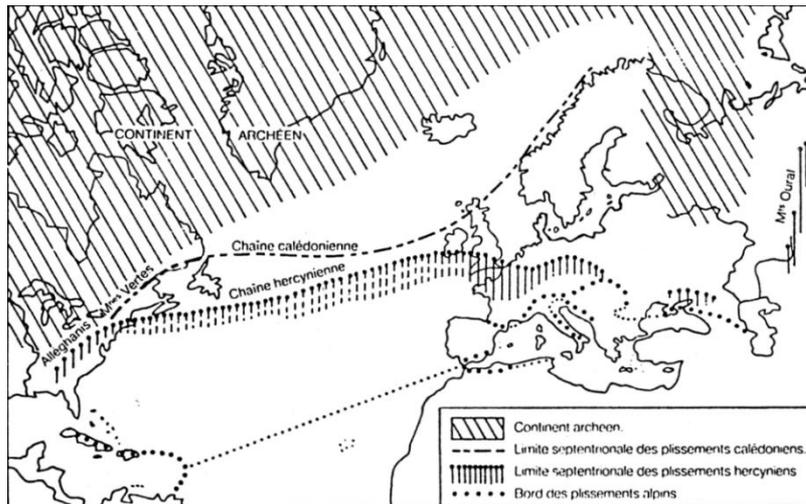
En étudiant les fossiles d'un continent à l'autre, **Suess** remarque que certaines régions aujourd'hui séparées par des océans possédaient une faune ou une flore fossile commune. Il imagine notamment que le Sud et le centre de l'Afrique, Madagascar et l'Inde formaient jadis un continent unique qu'il appelle **Gondwana**.

Les continents actuels se sont ensuite individualisés au fur et à mesure que les parties centrales de l'ancien continent s'**effondraient** pour donner naissance à l'océan Indien. Les mers intérieures et les vastes océans se sont ainsi formés puis agrandis par des **affaissements successifs**.



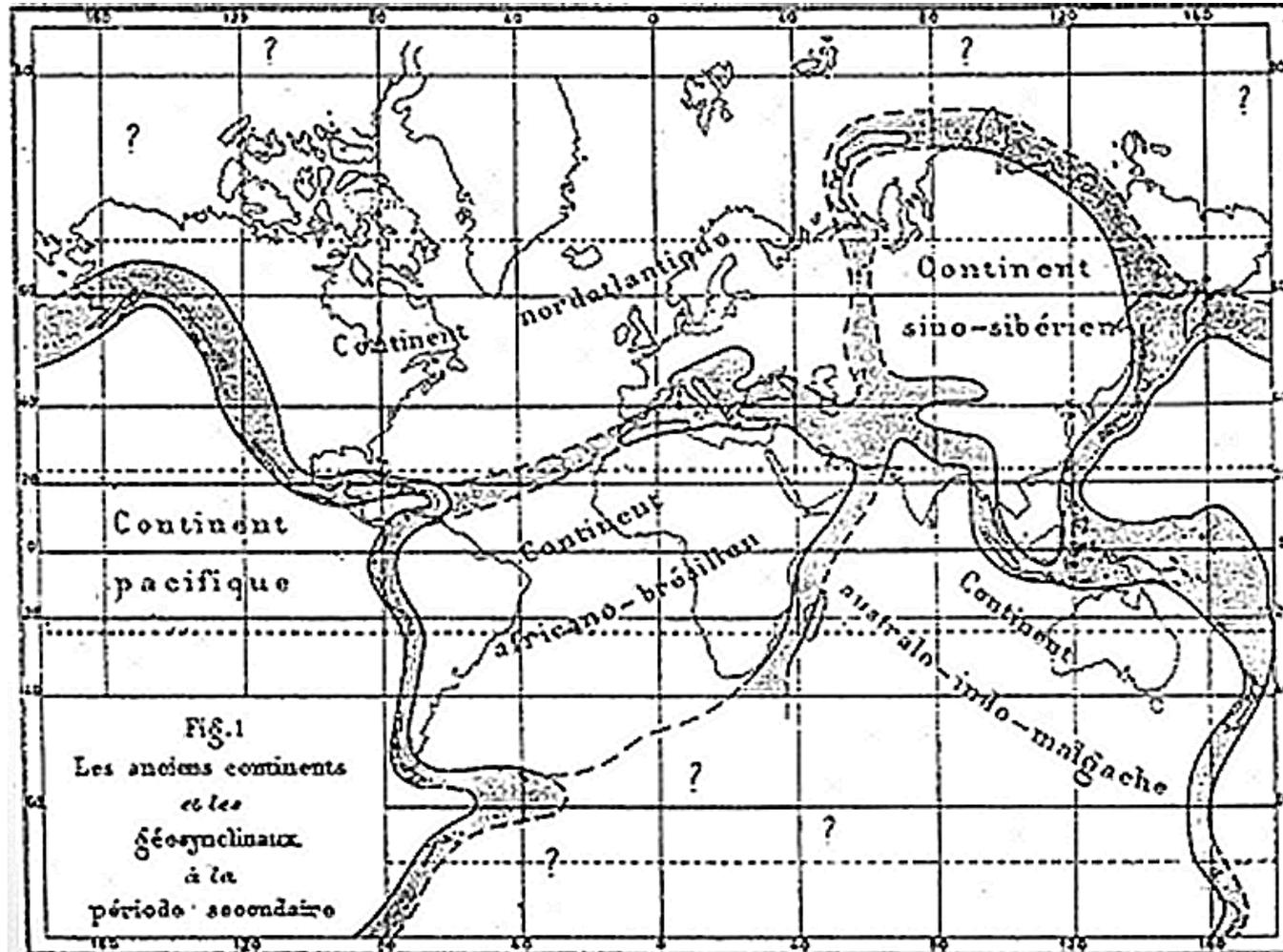
# Théorie fixiste vs théorie mobiliste

**Marcel Bertrand**, en 1887 et **Alexandre Du Toit** 1927, confirment cette vision fixiste en observant que les **chaînes européennes** (chaînes calédonienne, hercynienne et alpine) se prolongent sur le continent américain. Il en est de même entre l'Afrique et l'Amérique du Sud pour les **boucliers anciens**. L'océan Atlantique se serait formé par un **affaissement** qui aurait coupé les structures montagneuses des continents qui le bordent à angle droit.



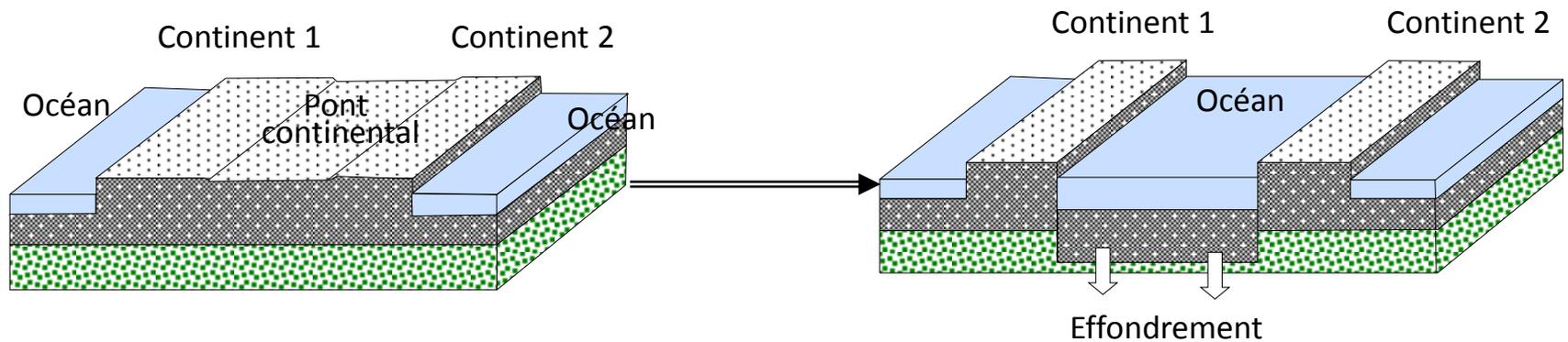
## Théorie fixiste vs théorie mobiliste

Ainsi, à l'époque de **Wegener**, les **ponts continentaux**, ou isthmes, sont l'explication donnée pour expliquer les continuités faunistiques, floristiques et paléogéographiques de part et d'autre d'un océan. Ces isthmes auraient permis une continuité terrestre, aujourd'hui disparue suite à leur effondrement et à leur submersion.



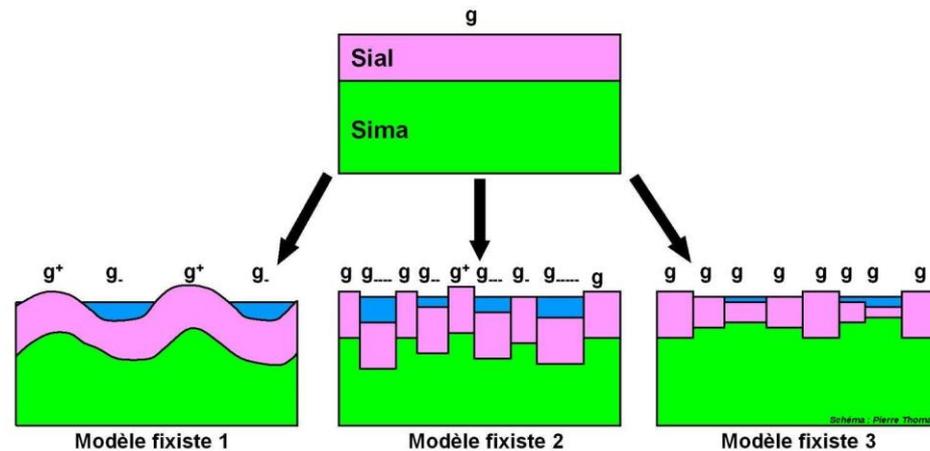
## Théorie fixiste vs théorie mobiliste

Ainsi, à l'époque de **Wegener**, les **ponts continentaux**, ou isthmes, sont l'explication donnée pour expliquer les continuités faunistiques, floristiques et paléogéographiques de part et d'autre d'un océan. Ces isthmes auraient permis une continuité terrestre, aujourd'hui disparue suite à leur effondrement et à leur submersion.



Cette idée d'effondrement continental est rejetée par **Wegener**: Selon lui, il est impossible que des masses de faible densité puissent s'enfoncer de 5000 m

## Des variantes d'une même théorie fixiste sont en discussion...



**Modèle fixiste 1.** Dans cette première variante, ce sont des ondulations du sial (= croûte continentale) qui engendrent les différences d'altitude. Ce modèle n'explique pas la bimodalité des altitudes (qui seraient réparties en « gaussienne » de part et d'autre d'une altitude moyenne), ni la quasi-constance de la gravité à la surface du globe. En effet, les différences de masse sous les bosses et les creux devraient entraîner des différences de gravité, ce qui n'est pas le cas.

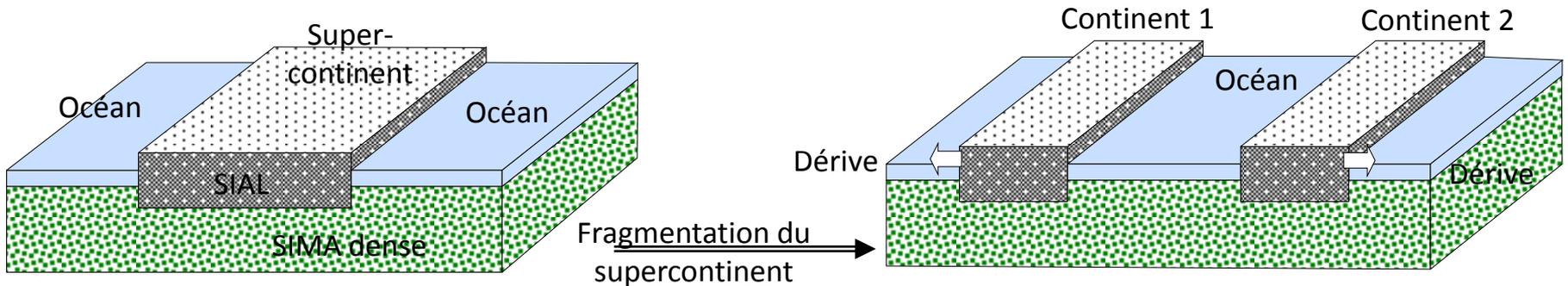
**Modèle fixiste 2.** Dans cette deuxième variante, des blocs de sial sont plus ou moins effondrés. À moins d'imaginer qu'un processus géologique (mais lequel ?) « règle » l'effondrement avec une valeur constante, il n'y a aucune raison d'avoir une bimodalité des altitudes. De plus, ce modèle n'explique en aucun cas la gravité quasi-constante à la surface du globe, la gravité devant être d'autant plus faible que l'enfoncement a été important. Enfin, ce modèle suppose que le sima est suffisamment déformable pour qu'on ait pu y enfoncer des blocs de sial. Mais quand on enfonce un radeau qui flotte dans un substrat déformable, il remonte quand cesse la force d'enfoncement. En plus de trouver un processus géologique « enfonceur », il faudrait en trouver un autre qui empêche la remontée... ce que personne ne proposait à cette époque.

**Modèle fixiste 3.** Dans cette troisième variante, les différences d'altitude sont dues à des différences d'épaisseur du sial, sans que cela fasse varier la gravité en surface (modèle d'Airy). Mais la bimodalité des altitudes impose de trouver un processus géologique entraînant une bimodalité des épaisseurs du sial au lieu d'une variation « aléatoire » de cette épaisseur.

Les modèles ne pouvant expliquer la **bimodalité** des altitudes, c'est un argument pour **Wegener** pour proposer une **théorie mobiliste** (qui s'appuiera d'ailleurs sur d'autres observations)

Pour **Wegener**, le SIAL est d'épaisseur constante (aux montagnes près). Mais le SIAL ne recouvre pas toute la Terre, et le SIMA affleure au fond des océans. Le SIAL peut se rompre, et ces morceaux dériver sur le SIMA à la manière de panneaux de banquise ou d'icebergs tabulaires dérivant sur l'océan.

→ Ce modèle explique la **bimodalité des altitudes** et la quasi-constance de la gravité.

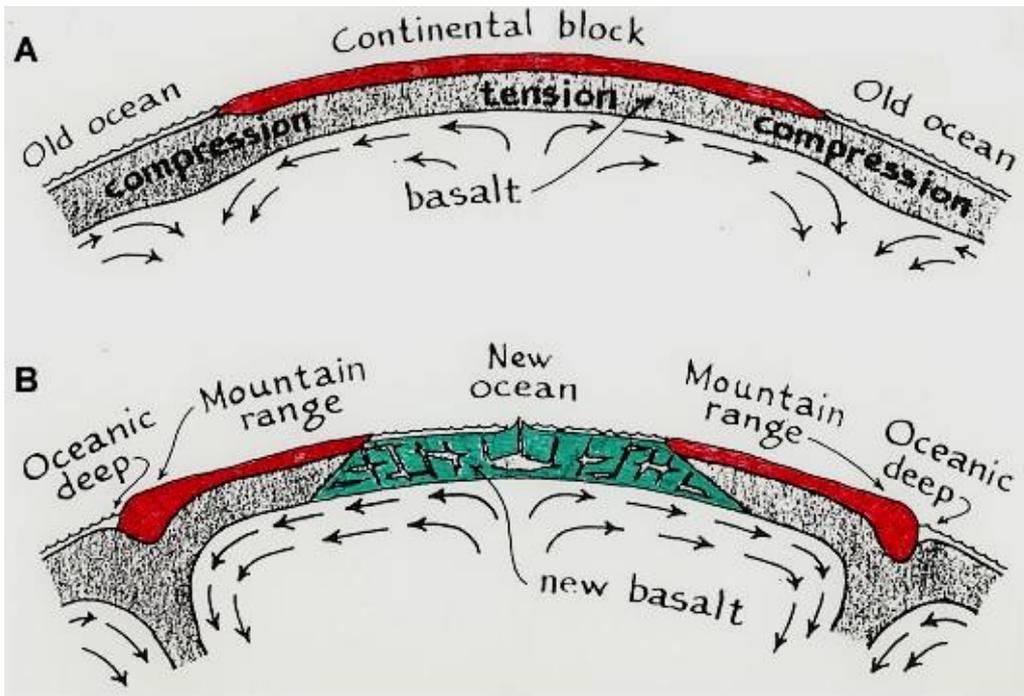


La théorie de la dérive est grandiose, mais une difficulté essentielle demeure, celle de savoir **comment cette mise en mouvement est possible**

→ Les hypothèses proposées par Wegener (forces de marées exercées par la Lune et le Soleil, courants de matière dans le SIMA, forces d'Eötvös liées à la poussée d'Archimède combinée à la forme aplatie de la Terre) ne sont pas jugées suffisantes.

En 1930, année de la mort de Wegener, la **théorie mobiliste est rejetée** par la plupart des géologues.

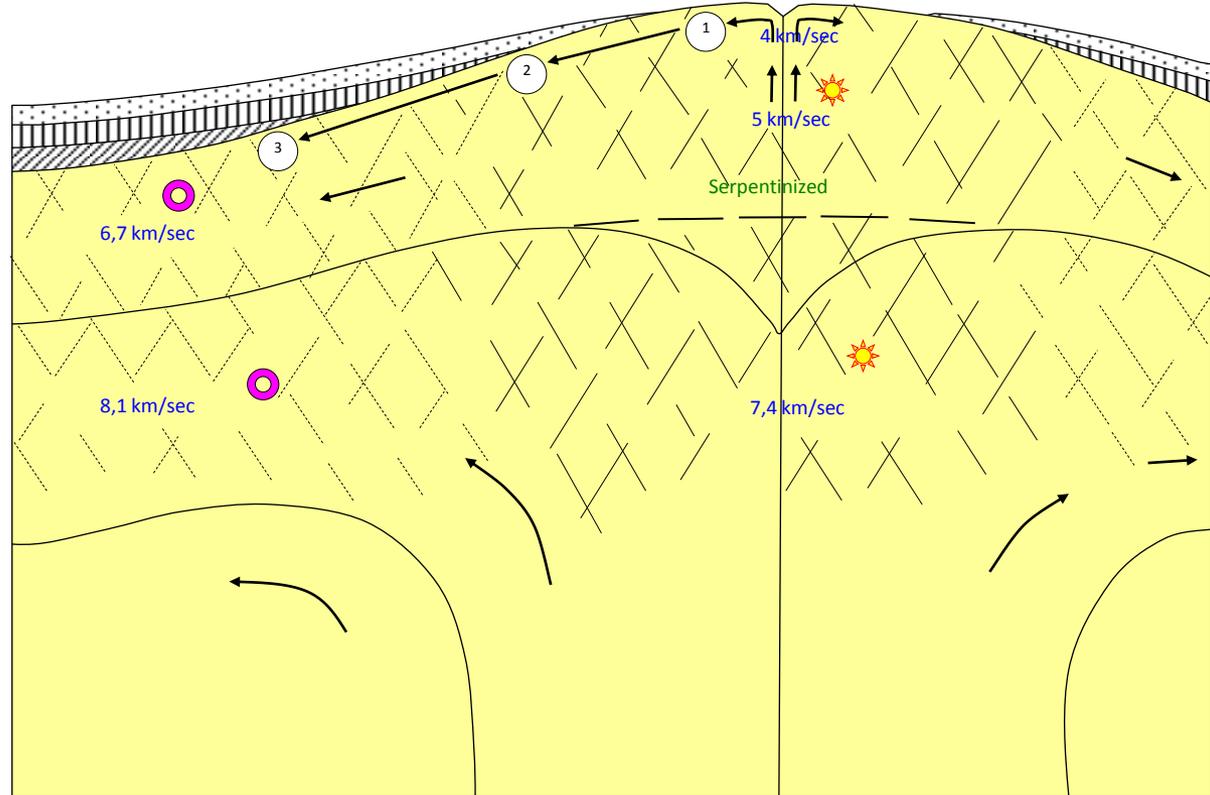
Même l'hypothèse des courants de convection, présentée par **Holmes** en 1928, n'est pas suivie ni même débattue et l'idée d'un mobilisme global est difficilement acceptée.



Ce n'est que lorsque **Hess** découvrira en 1960 l'expansion des fonds océaniques (confirmé par les études paléomagnétiques du plancher océanique par **Vine et Matthews** en 1963) que les idées mobilistes pourront s'imposer et permettre d'aboutir à la formulation de la théorie de la tectonique des plaques.



-  Seismic velocity decreased by higher temperature and fracturing, brecciation, dilatation
-  Temperature lower, fractures healed, velocity normal



Expansion océanique:  
hypothèse de Hess  
D'après *History of Ocean Basins*,  
H. H. HESS, Princeton  
University, Princeton, N. J.

Diagram to represent (1) apparent progressive overlap of ocean sediments on a mid-ocean ridge which would actually be the effect of the mantle moving laterally away from ridge crest, and (2) the postulated fracturing where convective flow changes direction from vertical to horizontal. Fracturing and higher temperature could account for the lower seismic velocities on ridge crests, and cooling and healing of the fractures with times, the return to normal velocities on the flanks

I – La dualité géologique océans / continents: la construction d'une idée...

## **II – Pluralité pétrographique des croûtes**

III – Domaines océaniques et continentaux: principaux ensembles morphologiques

VI – Formation et recyclage de la croûte continentale

# L'essentiel...

## Des différences de **composition chimique**

	CROÛTE CONTINENTALE %	CROÛTE OCÉANIQUE %
SiO <sub>2</sub>	57,3	49,5
TiO <sub>2</sub>	0,9	1,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,9	16,0
FeO	9,1	10,5
MgO	5,3	7,7
CaO	7,4	11,3
Na <sub>2</sub> O	3,1	2,8
K <sub>2</sub> O	1,1	0,15

**TABLEAU 11.2. COMPOSITIONS MOYENNES EN OXYDES (ESTIMÉES EN % DE MASSE) DE LA CROÛTE CONTINENTALE ET DE LA CROÛTE OCÉANIQUE.**

*(D'après Taylor et Mc Lennan, 1985).*

Minéraux fréquents :  
Feldspaths et micas (riches en Ca, K et Na)

Roches:  
Granitoïdes, gneiss

Densité = 2,7

Minéraux fréquents :  
Pyroxènes et Olivines riches en Fe et Mg

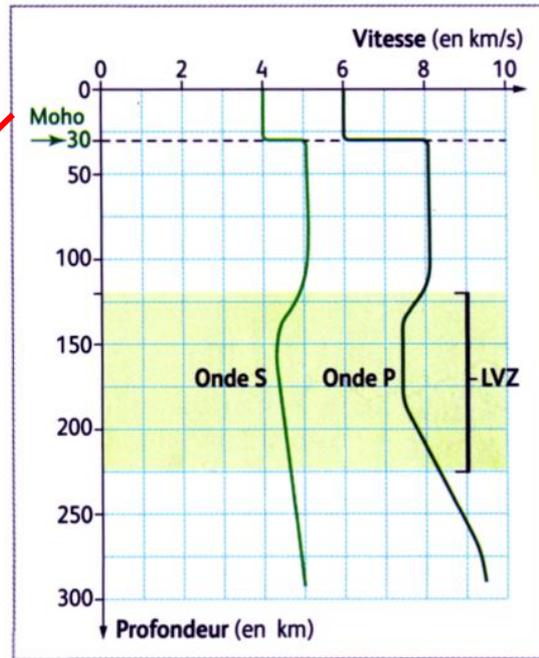
Roches:  
gabbros, basaltes

Densité = 2,9

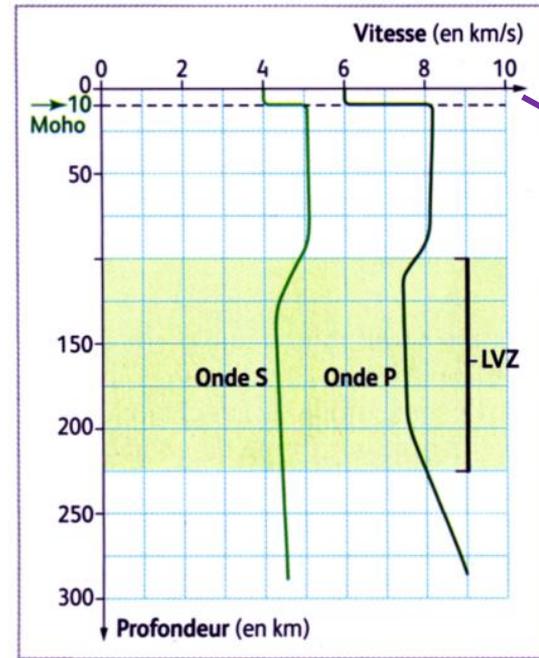
... Points communs: richesse en **silice** qui s'explique par une composition essentiellement silicatée

# Les études sismiques révèlent des épaisseurs moyennes différentes

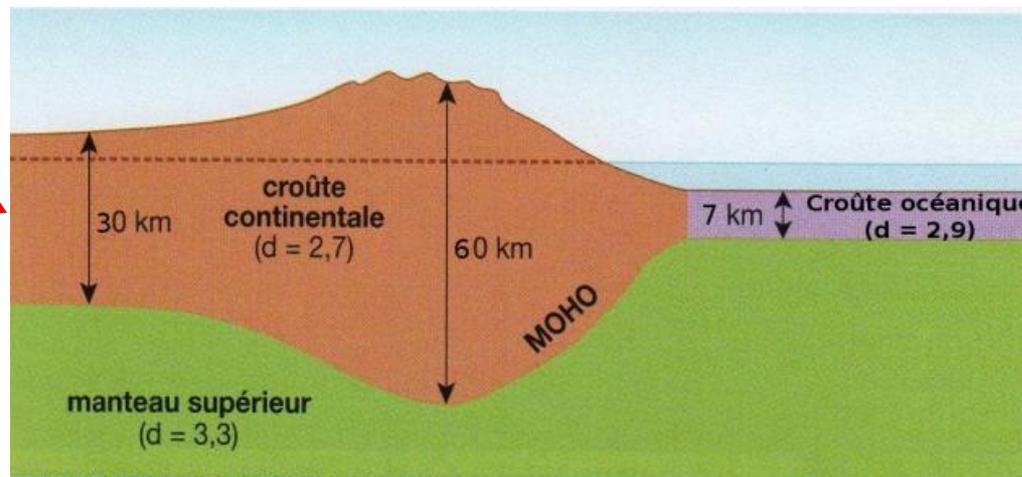
Variations de vitesse des **ondes P** en fonction de la profondeur



Continents

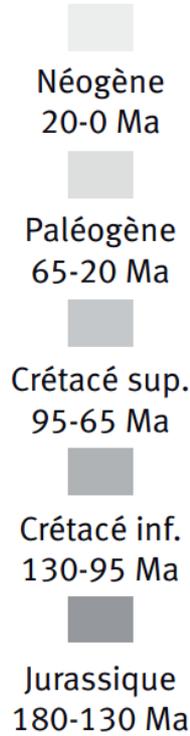
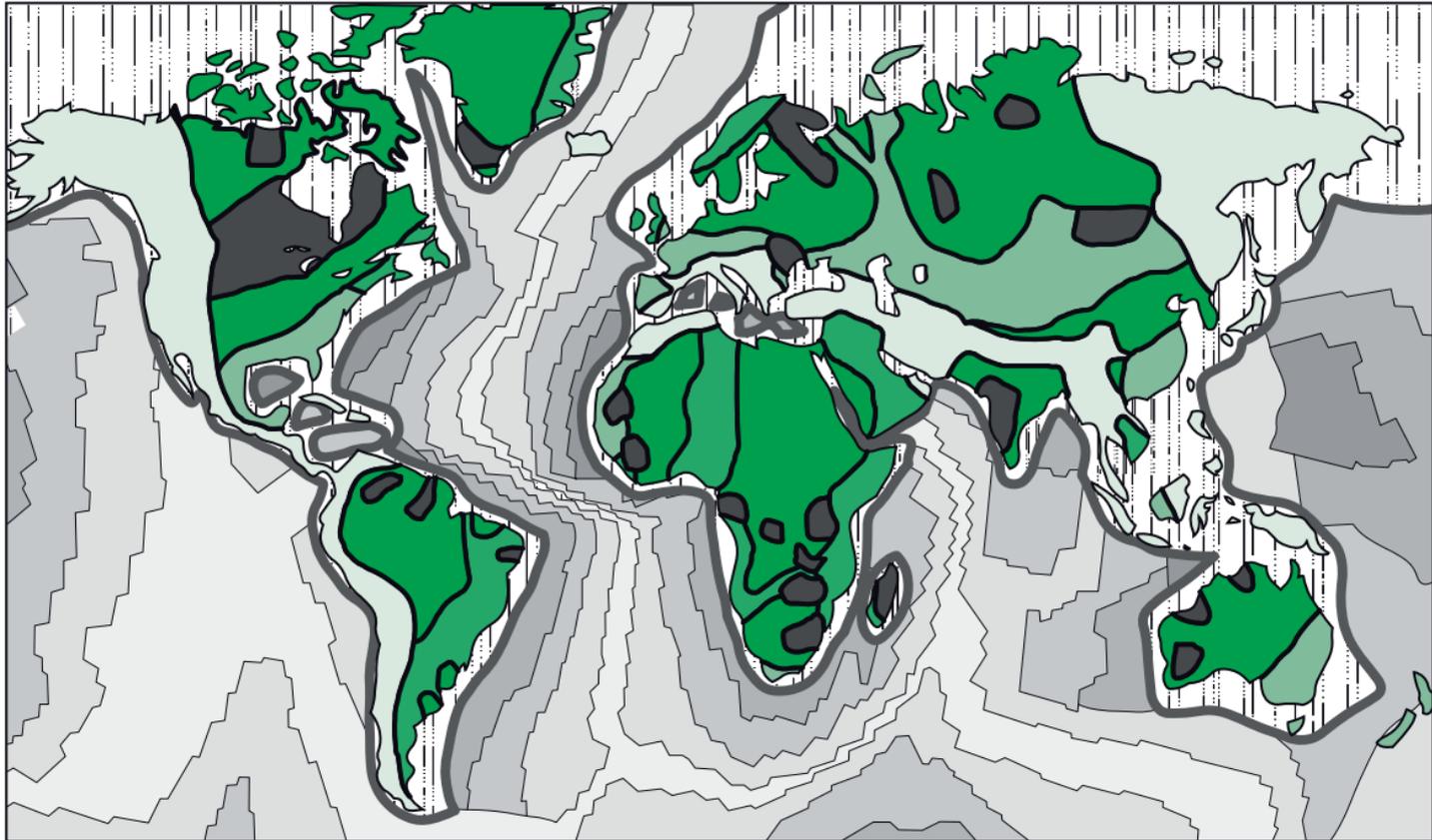
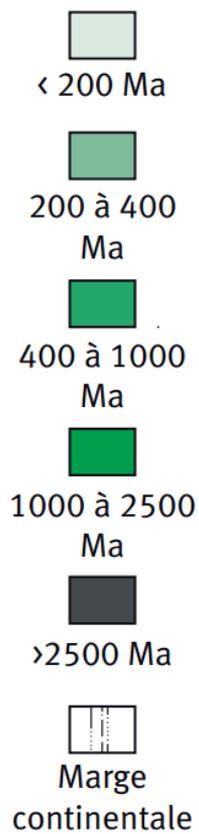


Océans

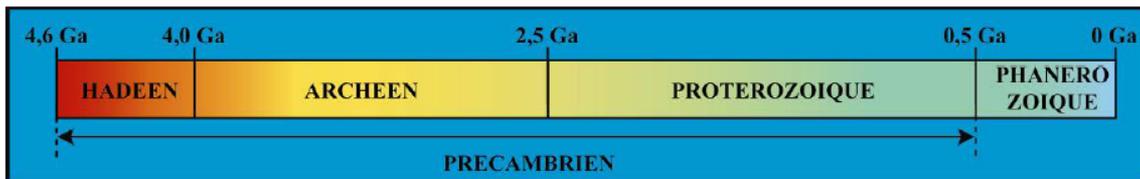


Les datations par **radiochronologie** donnent des âges très différents:

- L'âge de la **croûte océanique** n'excède pas 200 Ma
- La **croûte continentale** date, à certains endroits, de plus de 4 Ga.



<http://www.academie-en-ligne.fr/>



## Gneiss de Sandriver, Afrique, Zimbabwe (3,8 Ga)



## Gneiss gris d'Amitsôq au Groenland (3,8 Ga)



Gneiss d'Acasta (Canada), 4 Ga



## Les zircons de Jack Hills (Australie)

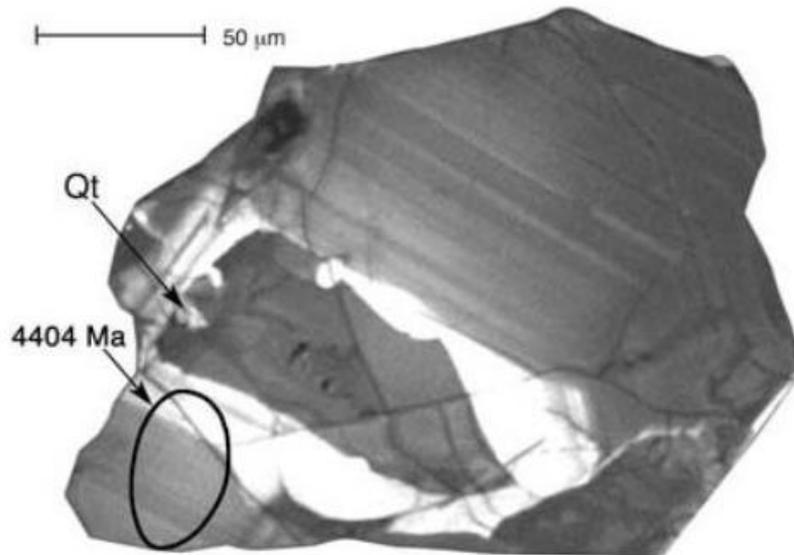
Des zircons ( $\text{ZrSiO}_4$ ), ont été découverts dans des vieux grès et des conglomérats à Jack Hills (Australie de l'ouest). Ils proviennent d'une roche qui a été totalement altérée mais ces cristaux ont résisté et se sont trouvés réincorporés dans des roches plus jeunes.



## Les zircons de Jack Hills (Australie)

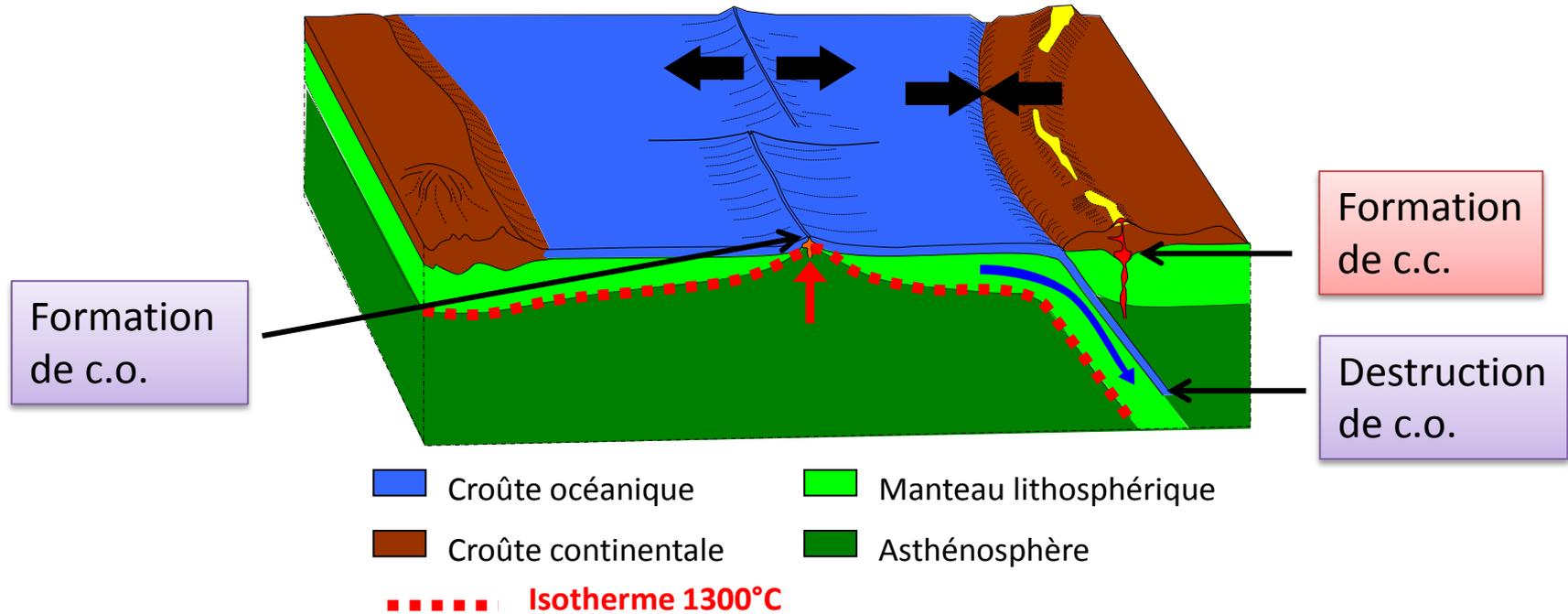
Les zircons ont été datés à 4,4 Ga (Wilde et al., 2001).

La datation a été réalisée grâce à l'uranium et au plomb qu'ils contiennent (uranium initial se désintègre en plomb)



La présence d'inclusions de minéraux tels que quartz, feldspath potassique, biotite, muscovite...etc, a confirmé leur origine continentale.

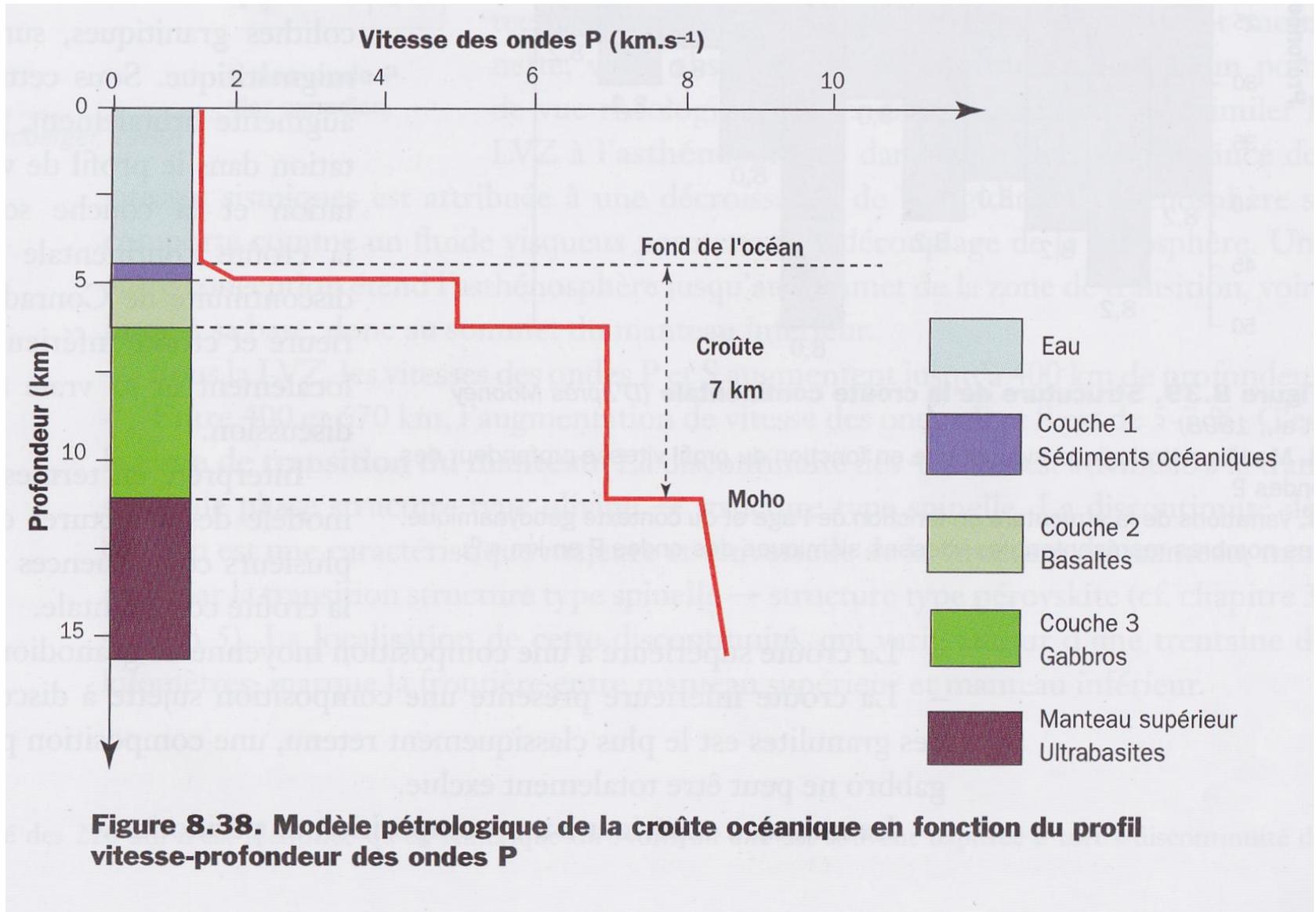
Alors comment expliquer des âges aussi différents entre **croûte océanique** et **continentale** ?



En s'éloignant de la dorsale, **lithosphère océanique** s'épaissit et augmente en densité → elle retourne rapidement dans le manteau (Age < 200 MA) au niveau des zones de subduction.

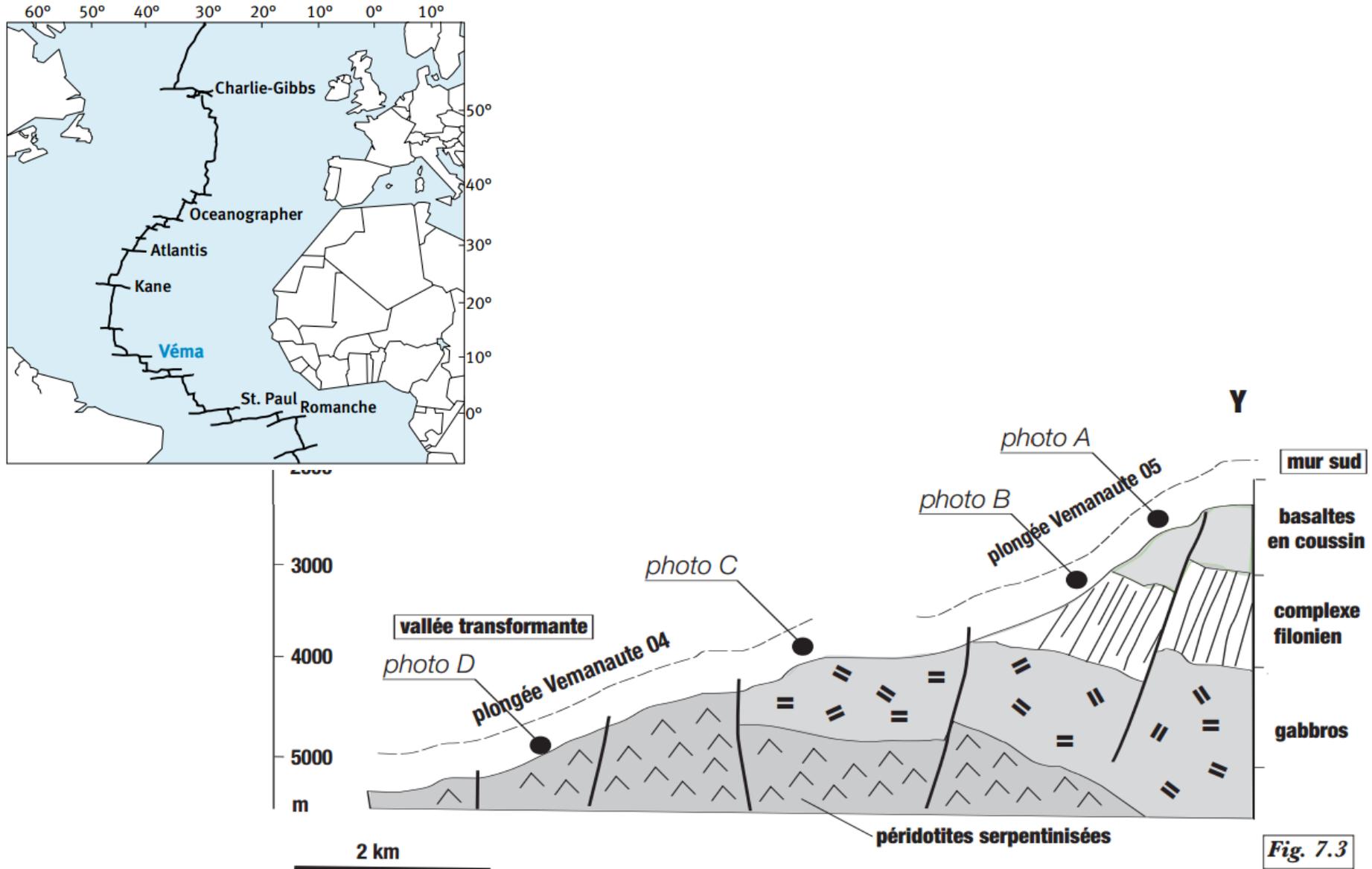
La **lithosphère continentale** conserve une densité plus faible. Elle demeure donc en surface du globe et sa destruction (érosion) est beaucoup plus lente → Age plus anciens, jusqu'à 3,9 Ga

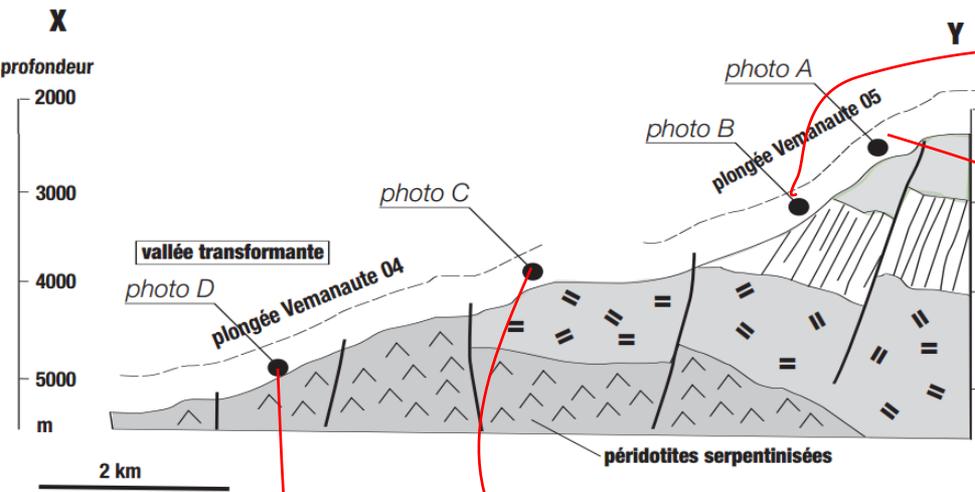
# La croûte océanique



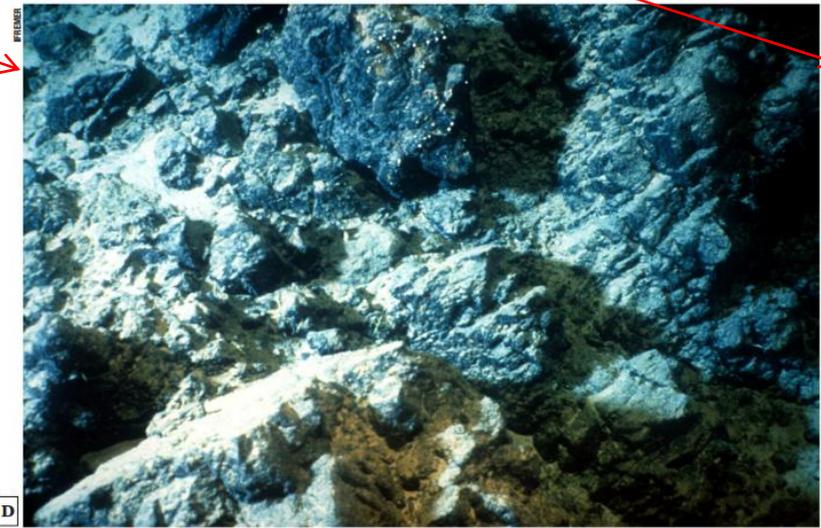
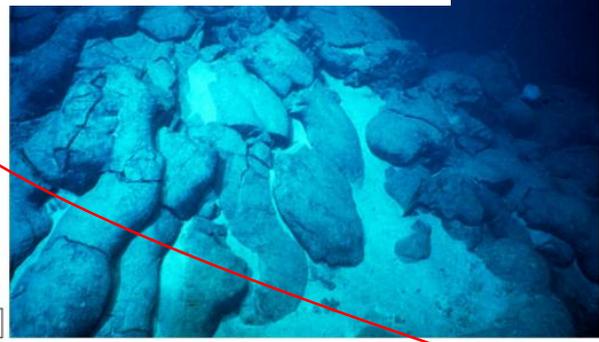
Cette étude est confirmée par des **observations directes...**

Exemple: exploration de la faille transformante Vema, IFREMER, 1988





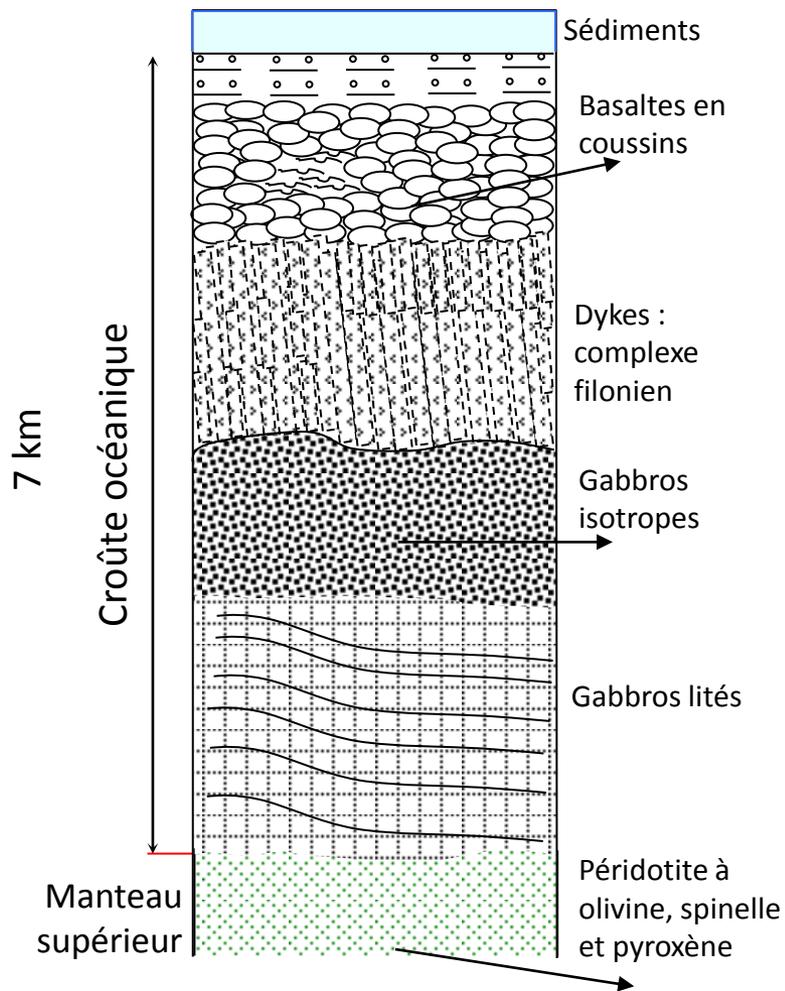
**Fig. 7.3**



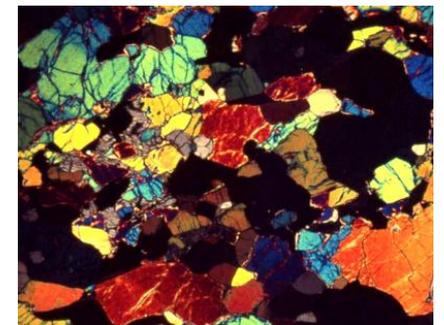
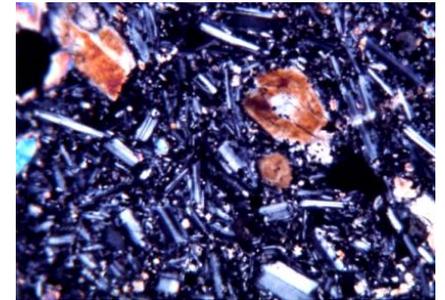
- A : laves en coussins*
- B : complexe filonien*
- C : gabbros*
- D : serpentines*

## Échantillons

## Microscope, LPA



*D'après W M White 'Geochemistry'*



On retrouve cette organisation au niveau des **ophiolites** (vestiges d'anciennes lithosphères océaniques)

### Ophiolite du Chenaillet, Montgenèvre



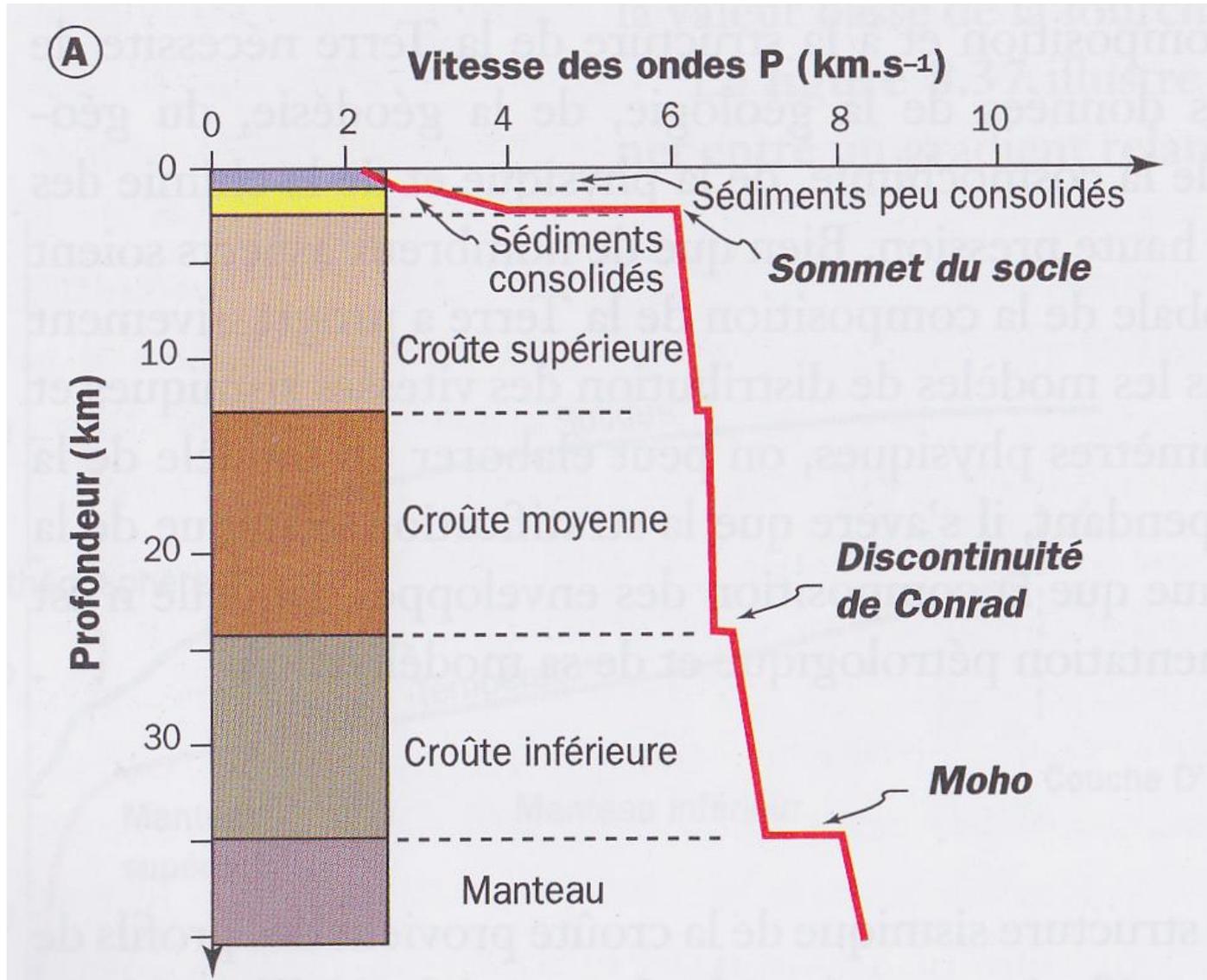
Basaltes en coussins

Gabbros

Péridotite  
serpentinisée

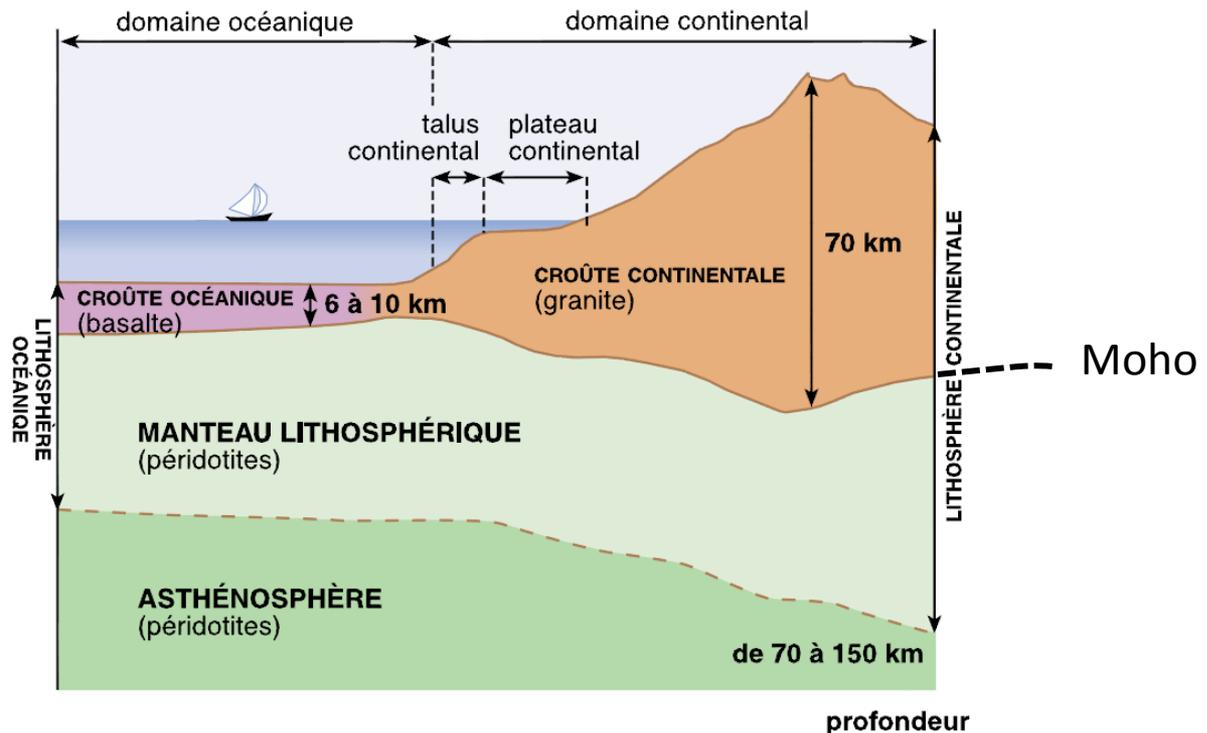
# La croûte continentale

Modèle pétrologique de la croûte continentale établi à partir de données sismiques

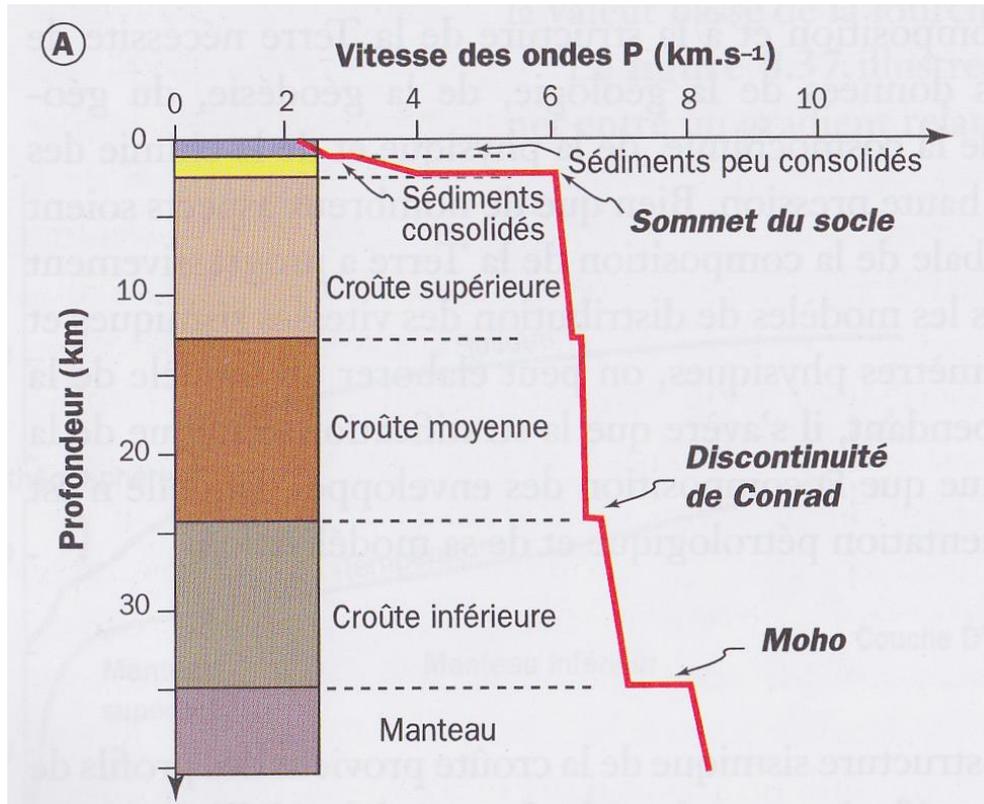


Ce modèle est une **synthèse** de données recueillies dans différentes régions.  
Contrairement à la croûte océanique, la croûte continentale n'est pas uniforme et peut présenter des variations de structure en fonction de la localisation:

- Son **épaisseur varie** (35-40 Km sous les aires continentales stables et 50-70 Km sous les chaînes de montagne jeunes)
- Le Moho n'est pas toujours une frontière nette. Le passage croûte / manteau peut être plus ou moins transitionnel (c'est seulement une zone d'augmentation rapide de vitesse des ondes sismiques sur une épaisseur de 1 à 5 Km)



# La croûte continentale



- Parfois, les variations de vitesse sismique mettent en évidence:
- Une croûte supérieure à faible vitesse
  - Une croûte inférieure à vitesse plus élevée (donc densité plus élevée)

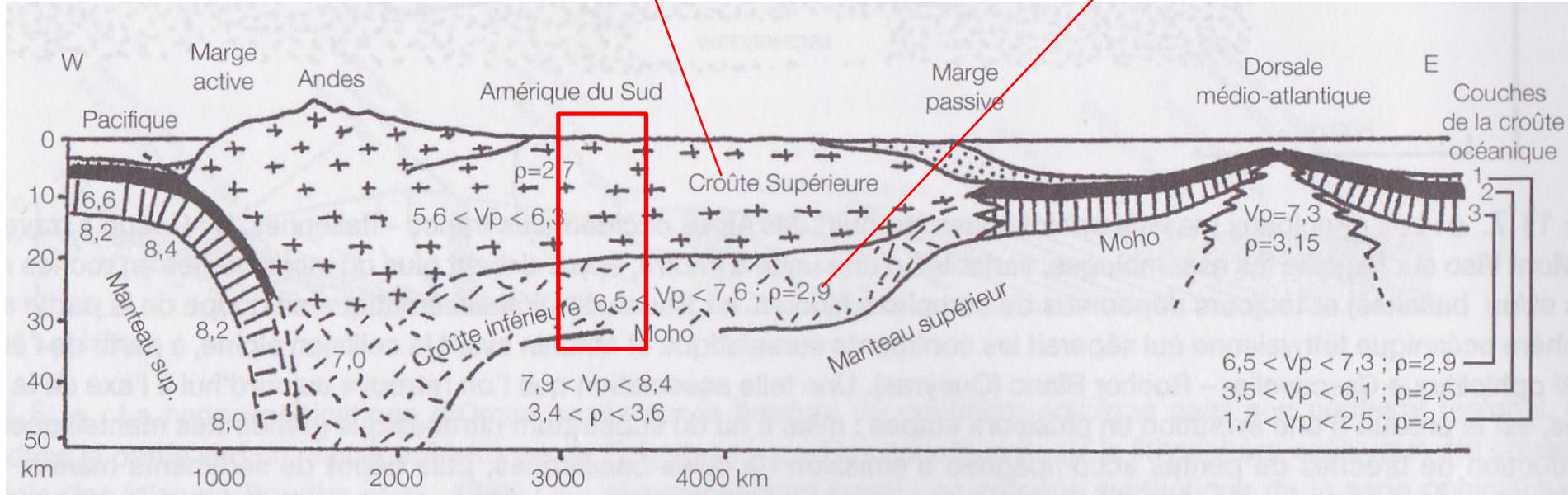
Cette **discontinuité de Conrad** n'est connue que localement et sa vraie nature est sujette à discussion.

Cette discontinuité est interprétée en terme de composition:

- La croûte supérieure → composition moyenne de **granodiorite**
- La croûte inférieure → composition de type **granulite** probable (plus déshydratée)

Micaschistes,  
greiss,  
granitoïdes

Eclogites,  
amphibolites,  
granulites



**Structure sismique comparée de la croûte continentale et de la croûte océanique le long d'un transect Pacifique – Amérique du Sud – Atlantique.**

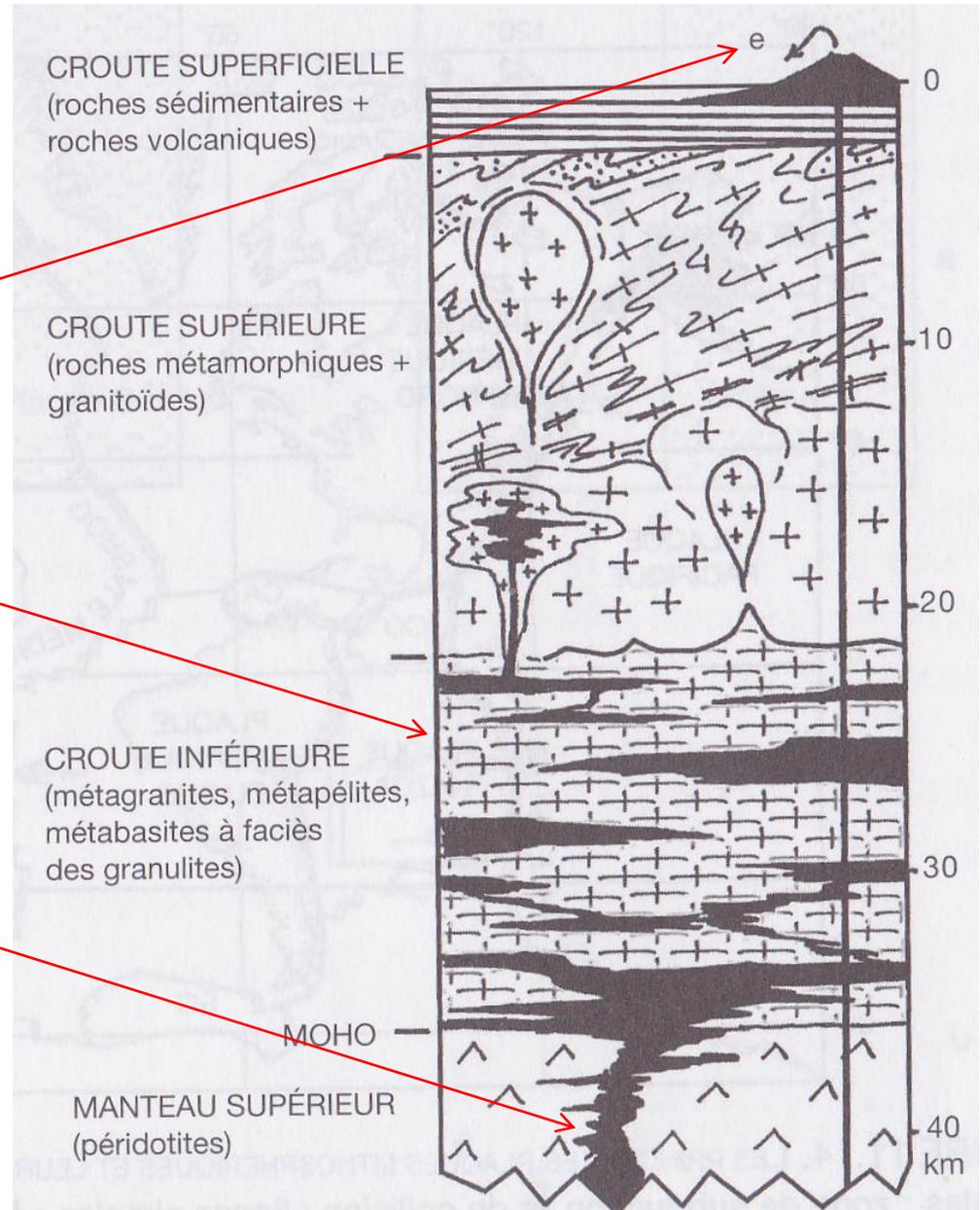
## Représentation simplifiée de la structure de la **croûte continentale**

e = enclaves prélevées en profondeur, ramenées en surface par volcanisme

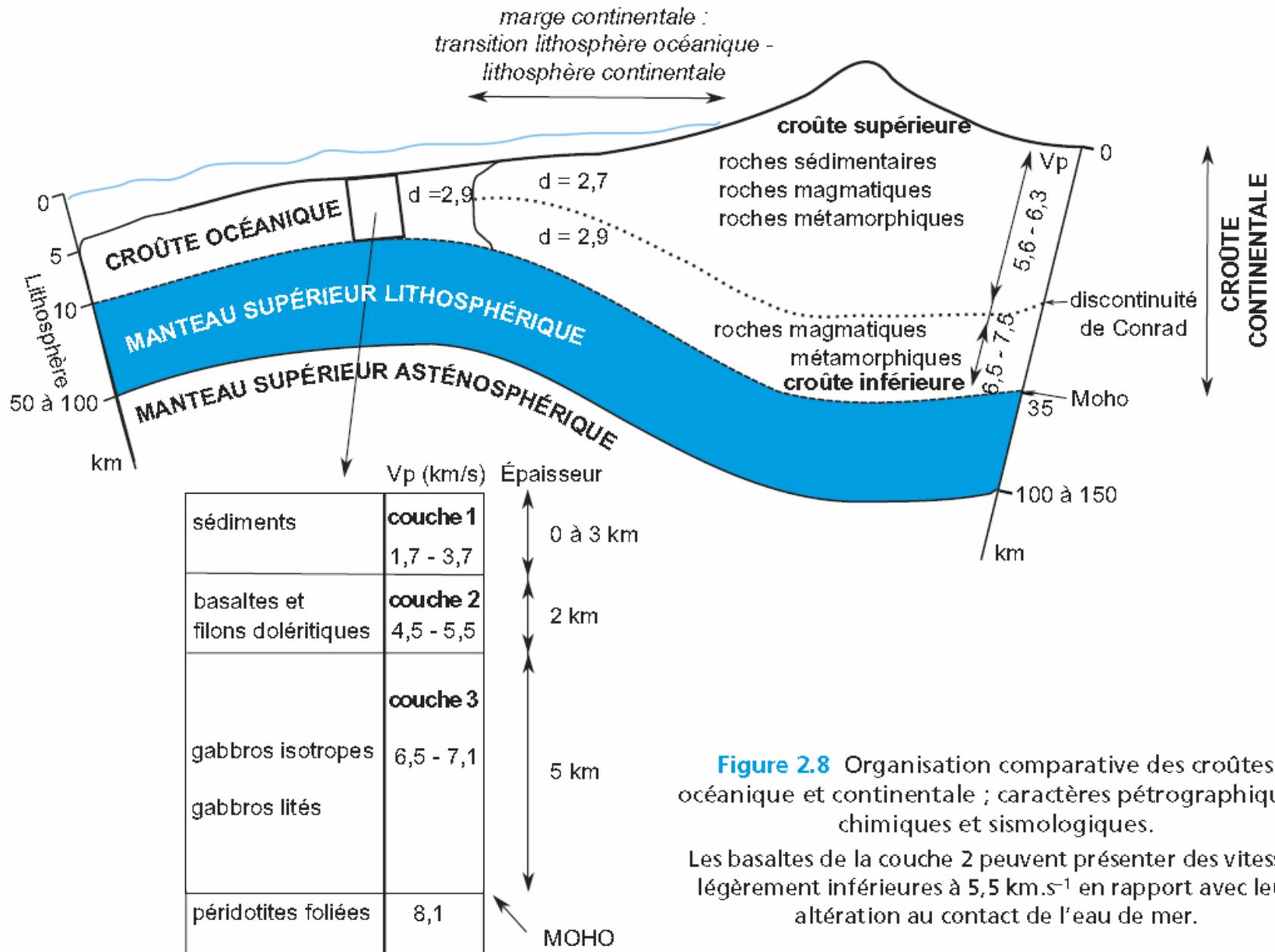
Ensemble métamorphisé dans le faciès **granulite** avec possibilité de fusion partielle de la croûte inférieure

**Fusion partielle** du manteau sous-crustal possible dans un contexte d'extension tardive d'une chaîne de montagne (Ex: Zone d'Ivrée)

*Les épaisseurs sont données à titre indicatif (croûte de l'Europe de l'Ouest)*



## En conclusion



**Figure 2.8** Organisation comparative des croûtes océanique et continentale ; caractères pétrographiques, chimiques et sismologiques.

Les basaltes de la couche 2 peuvent présenter des vitesses légèrement inférieures à  $5,5 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$  en rapport avec leur altération au contact de l'eau de mer.

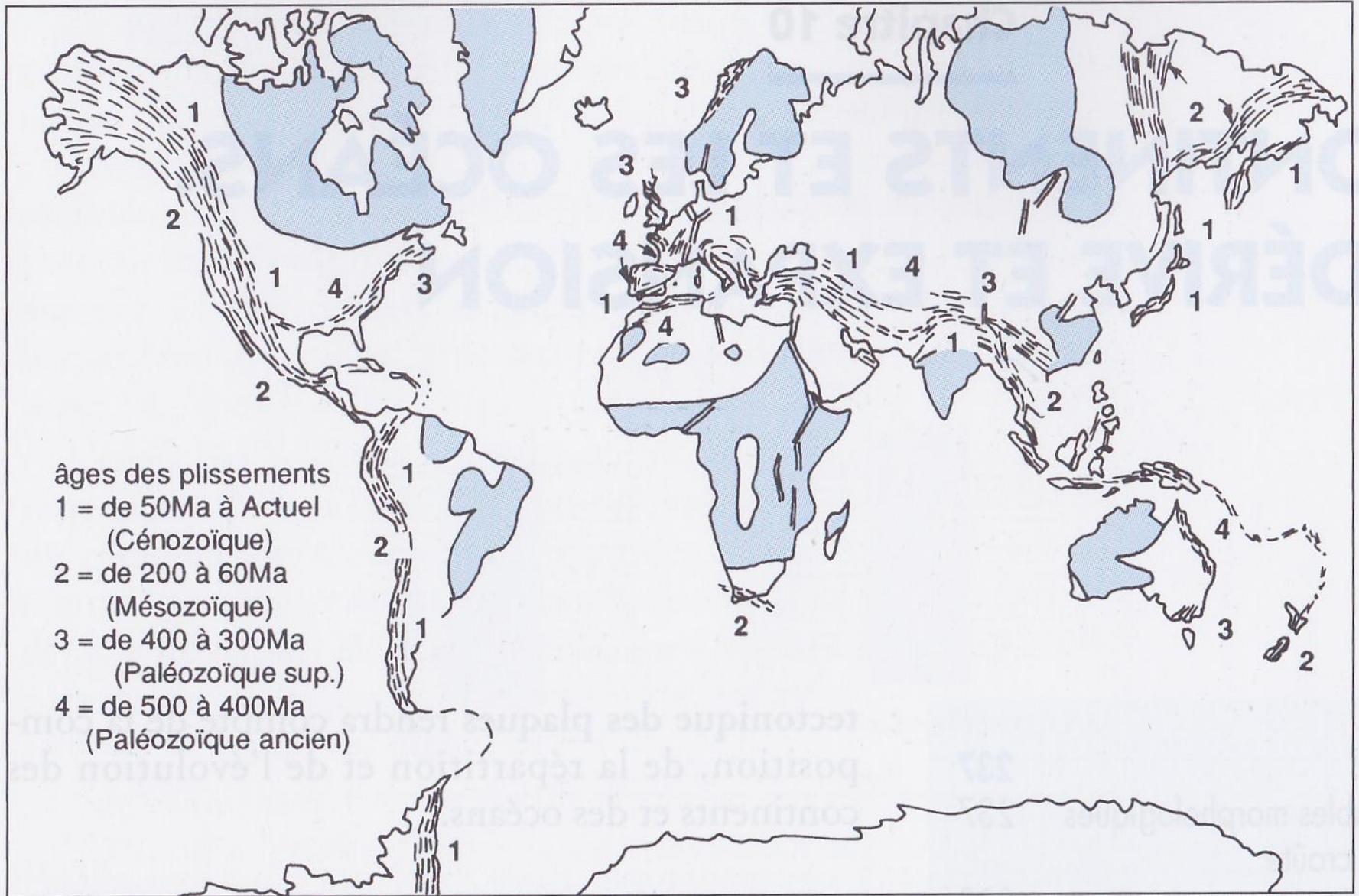
I – La dualité géologique océans / continents: la construction d'une idée...

II – Pluralité pétrographique des croûtes

**III – Domaines océaniques et continentaux: principaux ensembles morphologiques**

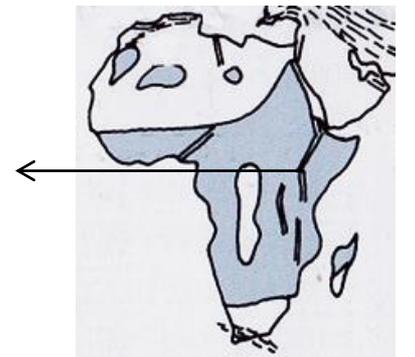
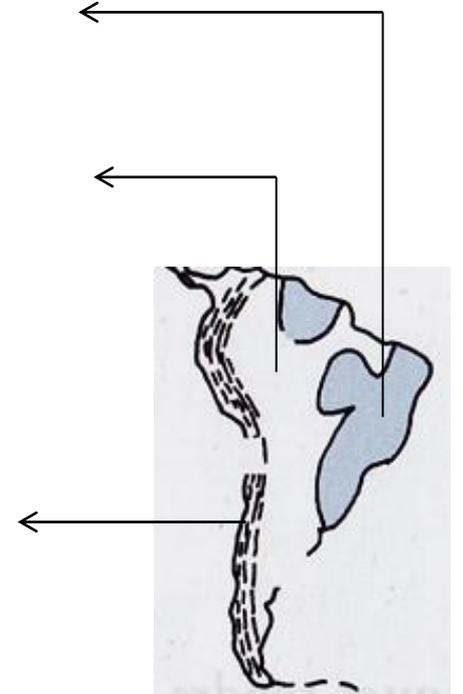
VI – Formation et recyclage de la croûte continentale

# Principaux ensembles morphologiques continentaux



**En bleu**, bouclier anciens (antérieurs à 600 MA)

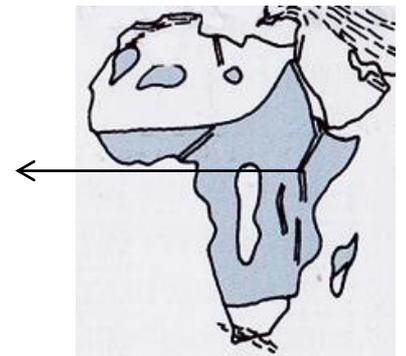
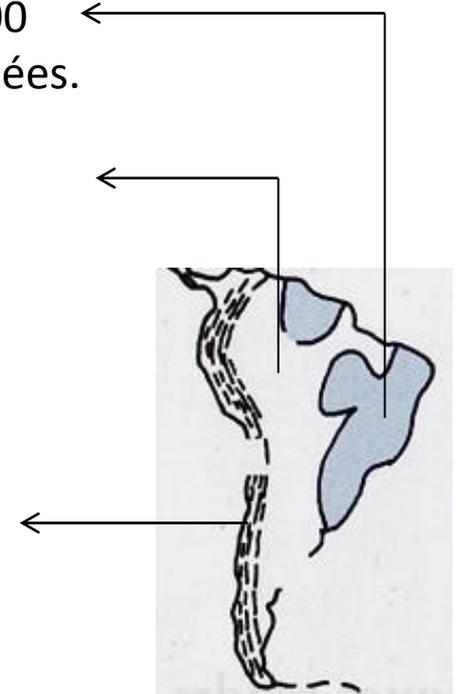
On peut donc distinguer :



On peut donc distinguer :

- Des **boucliers et des plateformes** (pour 77,5 % de la surface continentale globale émergée)

**Boucliers** = Vastes étendues de roches très anciennes (antérieures à 600 MA), généralement intensément plissées, métamorphisées et granitisées.

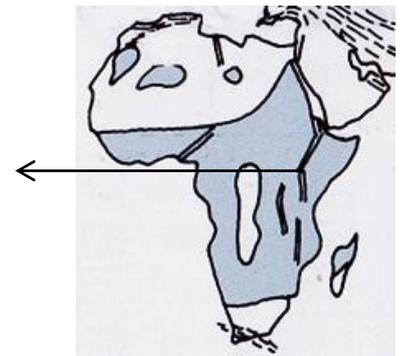
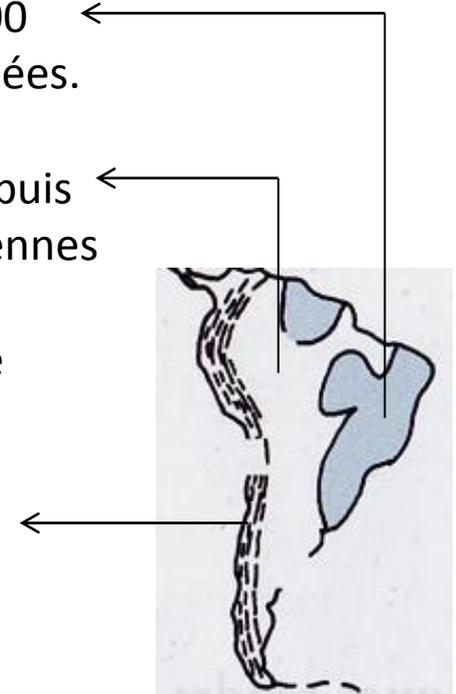


On peut donc distinguer :

- Des **boucliers et des plateformes** (pour 77,5 % de la surface continentale globale émergée)

**Boucliers** = Vastes étendues de roches très anciennes (antérieures à 600 MA), généralement intensément plissées, métamorphisées et granitisées.

**Plates formes** : Boucliers recouverts par des sédiments accumulés depuis 600 MA peu déformés (horizontaux) Constitués de roches précambriennes respectivement indemnes de toute trace d'évolution géologique plus récente, ou pénéplanées (aplanies) et éventuellement recouvertes de formations plus récentes peu ou pas déformées.



On peut donc distinguer :

- Des **boucliers et des plateformes (pour 77,5 % de la surface continentale globale émergée)**

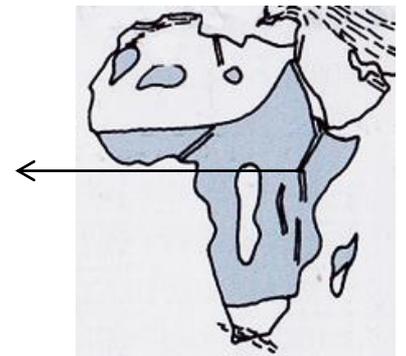
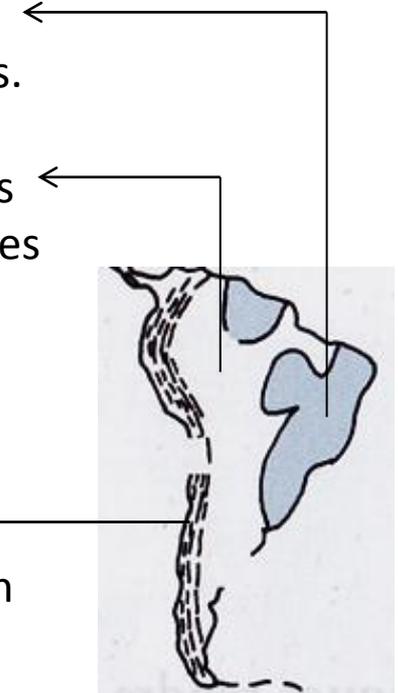
**Boucliers** = Vastes étendues de roches très anciennes (antérieurs à 600 MA), généralement intensément plissées, métamorphisées et granitisées.

**Plates formes** : Boucliers recouverts par des sédiments accumulés depuis 600 MA peu déformés (horizontaux) Constitués de roches précambriennes respectivement indemnes de toute trace d'évolution géologique plus récente, ou pénéplanées (aplanies) et éventuellement recouvertes de formations plus récentes peu ou pas déformées.

-Des **chaînes de montagnes (22% de la surface continentale émergée)**

Ensembles sédimentaires plissés, métamorphisés, granitisés ordonnés en chaînes linéaires:

Chaîne Calédonienne (600-400 MA), Hercynienne (400-200 MA), Alpines (200 MA à l'actuel)



On peut donc distinguer :

- Des **boucliers et des plateformes (pour 77,5 % de la surface continentale globale émergée)**

**Boucliers** = Vastes étendues de roches très anciennes (antérieures à 600 MA), généralement intensément plissées, métamorphisées et granitisées.

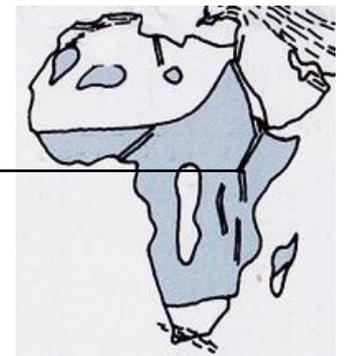
**Plates formes** : Boucliers recouverts par des sédiments accumulés depuis 600 MA peu déformés (horizontaux) Constitués de roches précambriennes respectivement indemnes de toute trace d'évolution géologique plus récente, ou pénéplanées (aplanies) et éventuellement recouvertes de formations plus récentes peu ou pas déformées.

-Des **chaînes de montagnes (22% de la surface continentale émergée)**

Ensembles sédimentaires plissés, métamorphisés, granitisés ordonnés en chaînes linéaires:

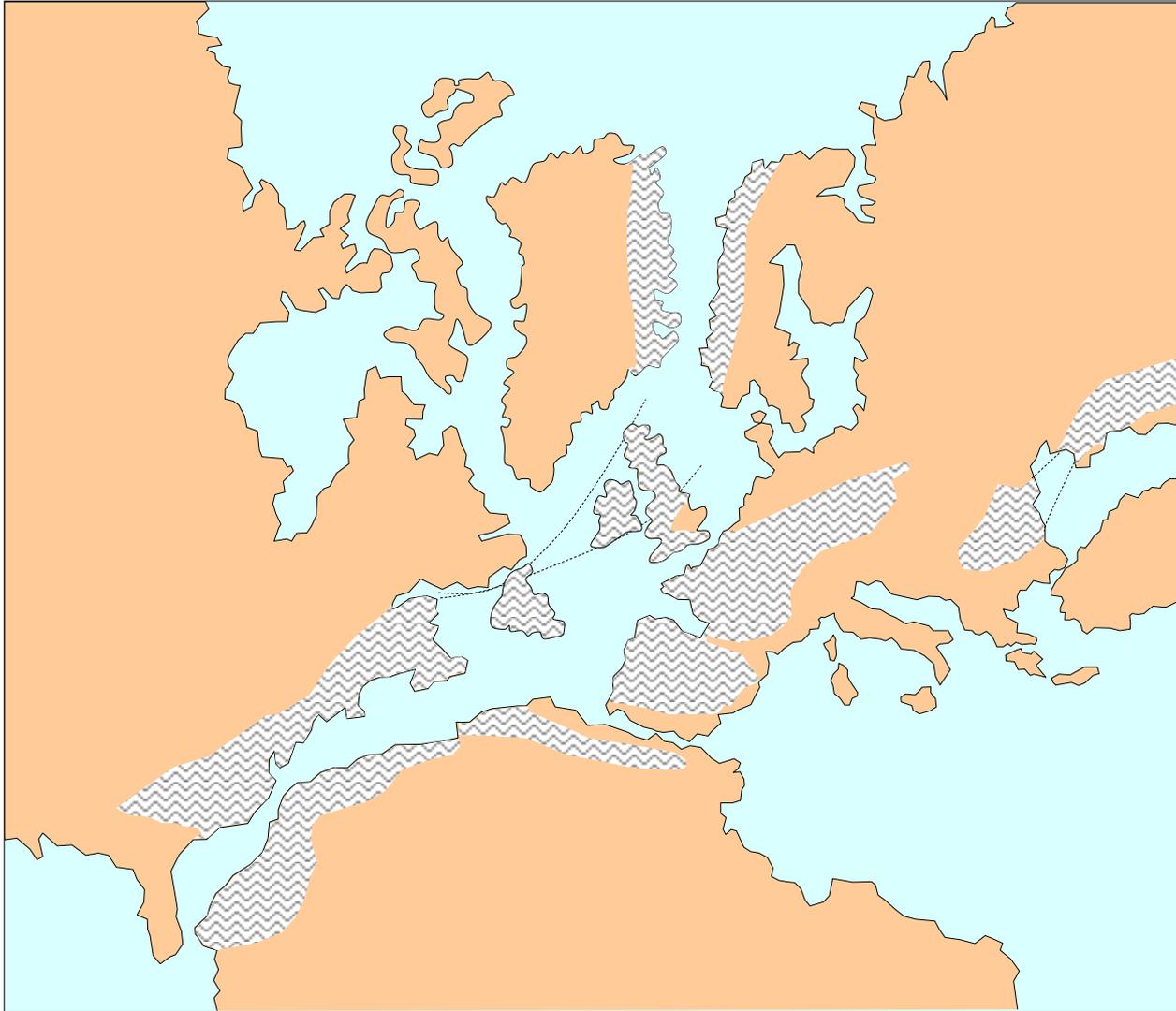
Chaîne Calédonienne (600-400 MA), Hercynienne (400-200 MA), Alpines (200 MA à l'actuel)

- Des **fossés d'effondrement, encore appelés rifts, qui couvrent très peu de la surface continentale émergée (moins de 0,5 %)**, et qui partagent avec les chaînes de montagnes récentes une activité sismique ainsi qu'une topographie assez contrastée.

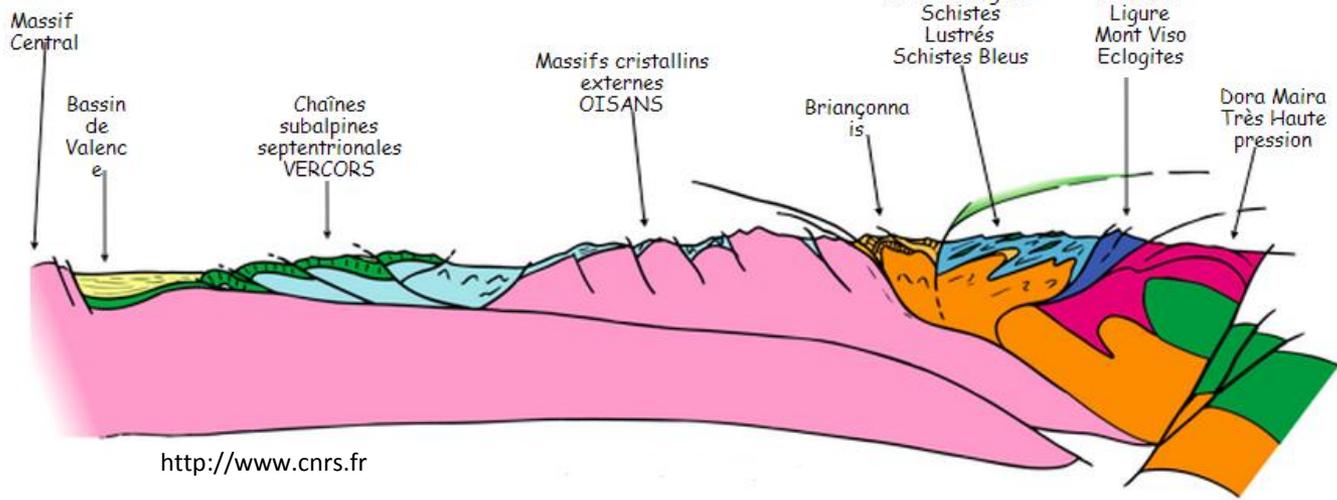
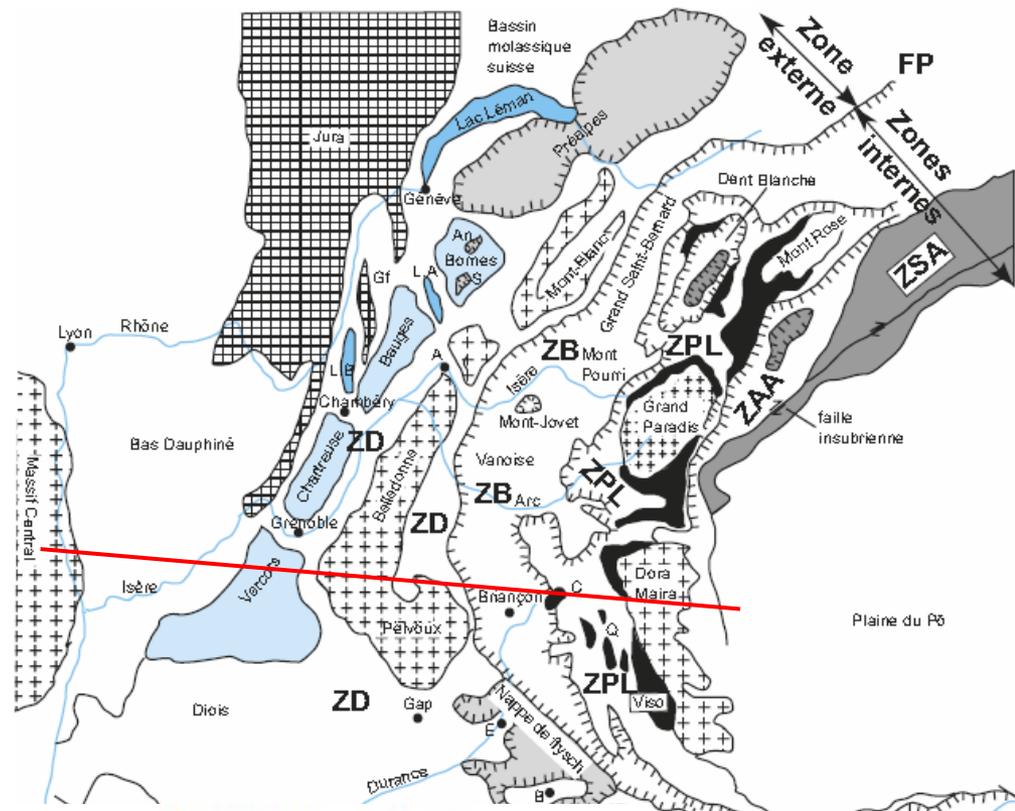


## Quelques exemples

Continuité des chaînes primaires (**calédonienne** et **hercynienne**)



# Schéma structural des Alpes occidentales

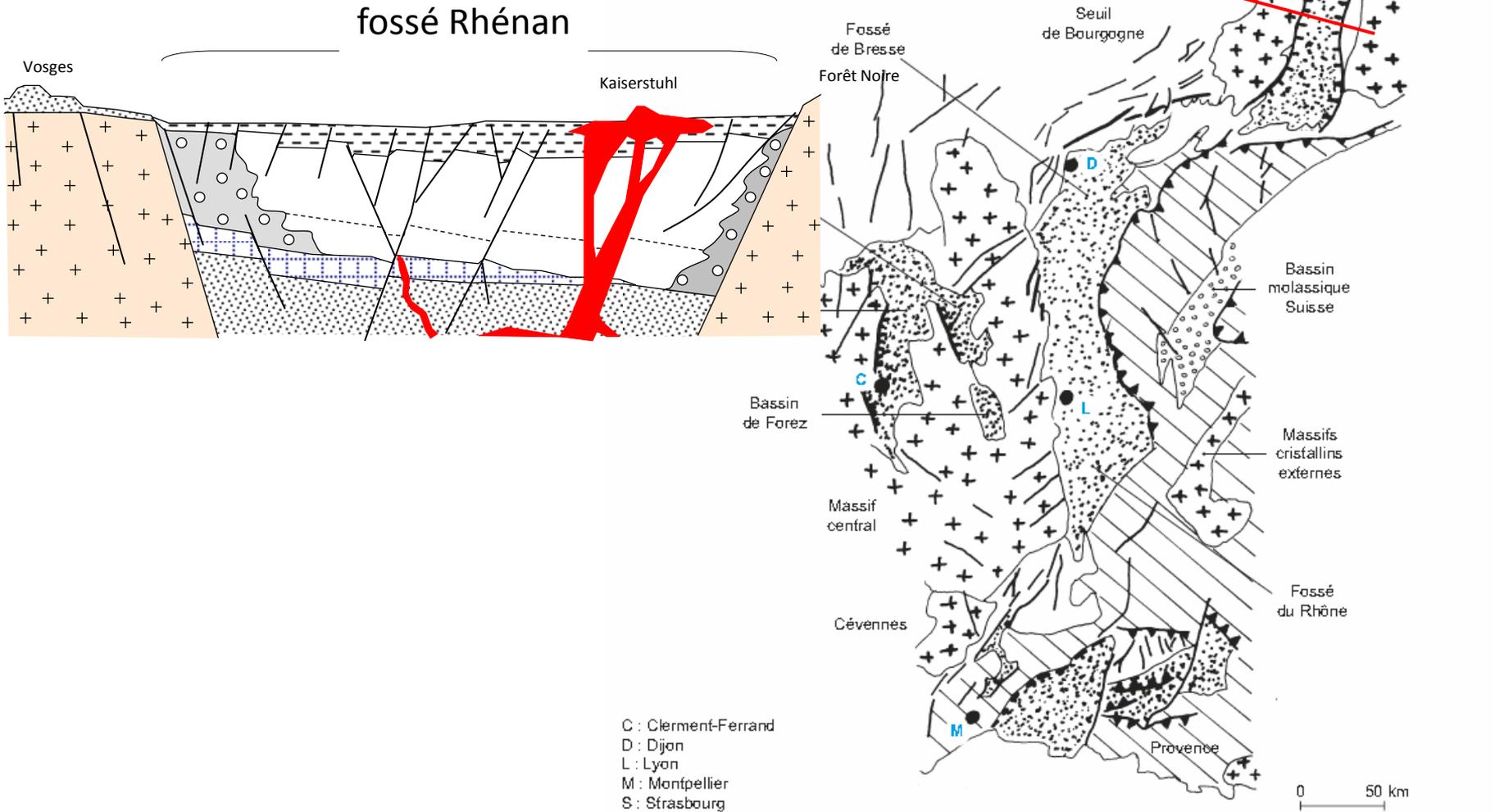


- A : Albertville ; An : klippe des Annes
- B : Barcelonnette ; C : Chenaillet
- E : Embrun ; FP : front pennique
- Gf : Gros Foug ; L.A : Lac d'Annecy
- L.B : Lac du Bourget ; Q : Queyras
- S : klippe de Sulens
- ZAA : zone austro-alpine
- ZB : zone briançonnaise
- ZD : zone dauphinoise
- ZPL : zone piémontaise et ligure
- ZSA : zone sud-alpine

<http://www.cnrs.fr>

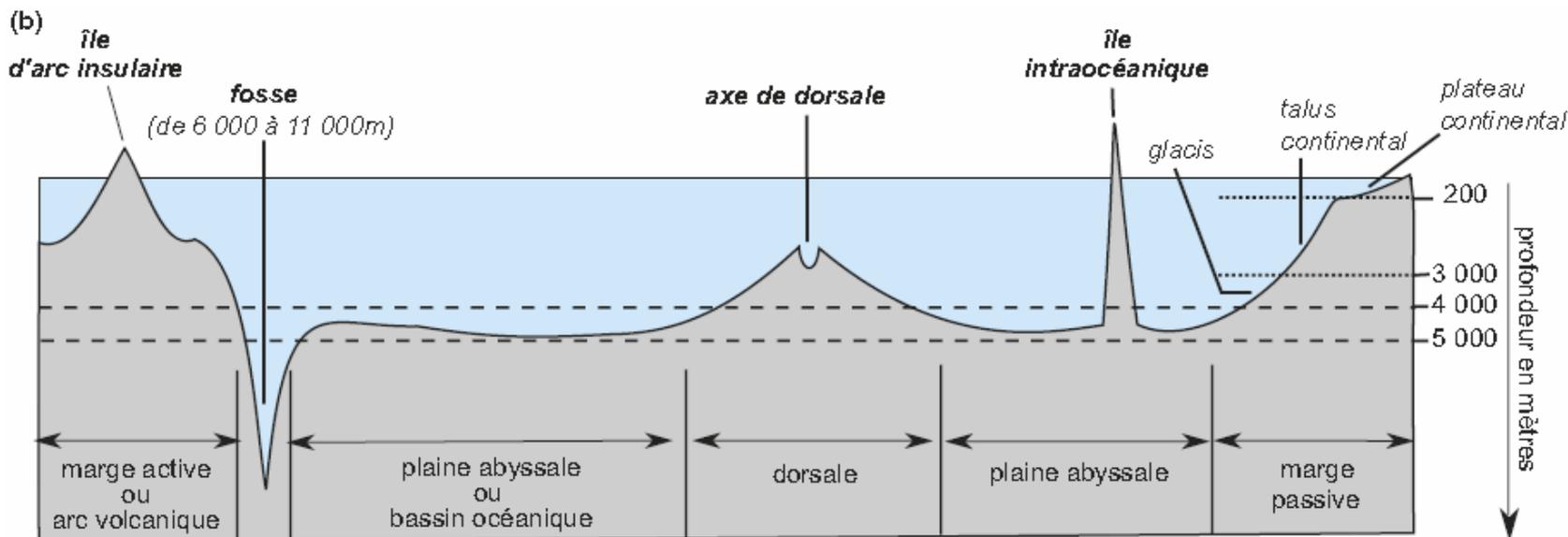
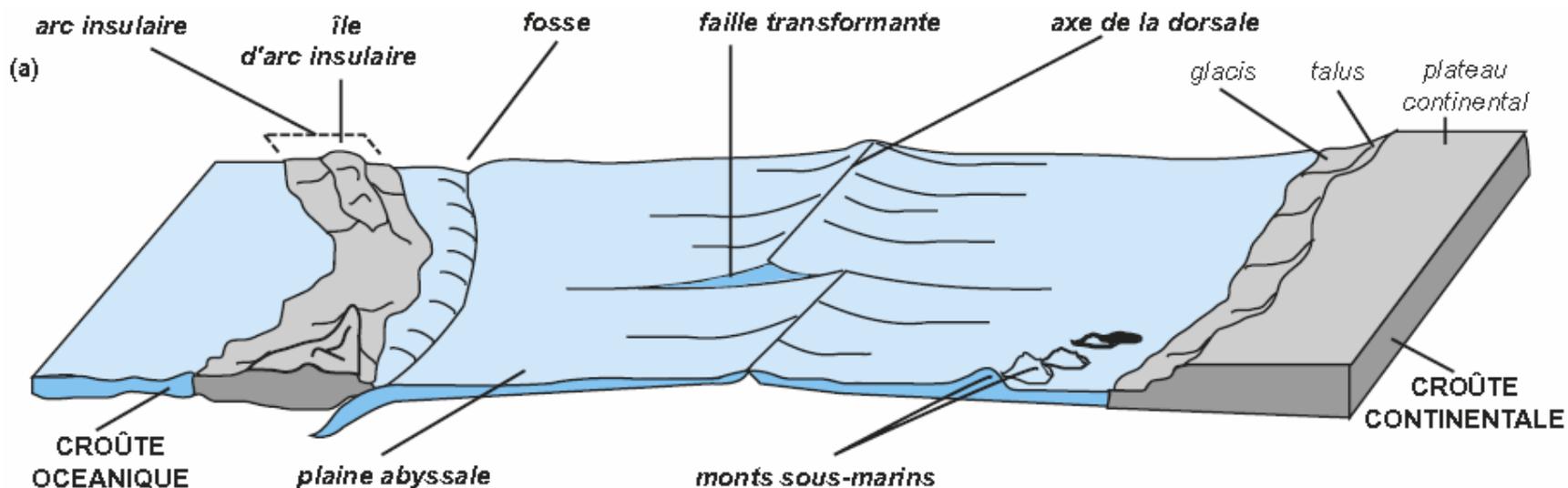
# Fossés d'effondrement péri-alpins (Oligo-Miocène)

-  Bassin miocène
-  Bassins oligocène
-  Couverture
-  Couverture des chaînes alpines
-  Socle
-  Faille normale
-  Chevauchement
-  Principales fractures



# Principaux ensembles morphologiques océaniques

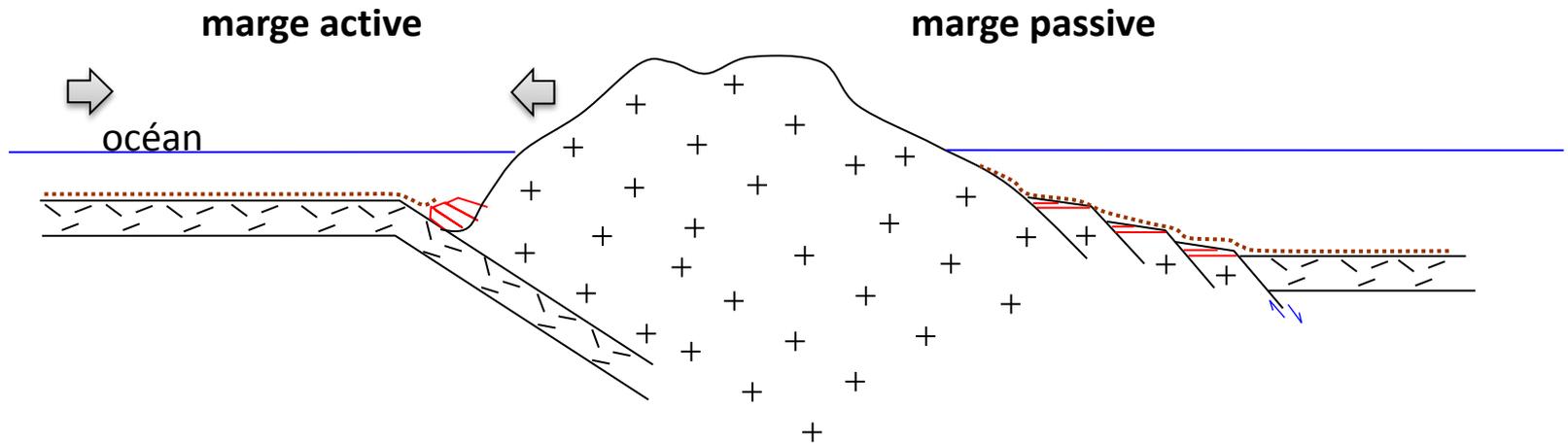
Exemple: Morphologie des fonds océaniques entre l'archipel des petites Antilles et le Sénégal (transect atlantique) et principales caractéristiques des différents secteurs



# Les marges, transitions entre domaines océaniques et continentaux

## Marges actives:

- présence d'une fosse océanique
- la bordure continentale émergée se présentant une chaîne de montagnes dans laquelle se manifeste souvent une activité volcanique
- zones sismiquement actives du globe avec une distribution des foyers des séismes selon un plan incliné (Plan de Wadati – Beniof)



## Marges passives:

- domaine souvent peu sismique
- Succession d'une plateforme continentale peu profonde, d'un talus (pente plus importante) puis d'une plaine abyssale.

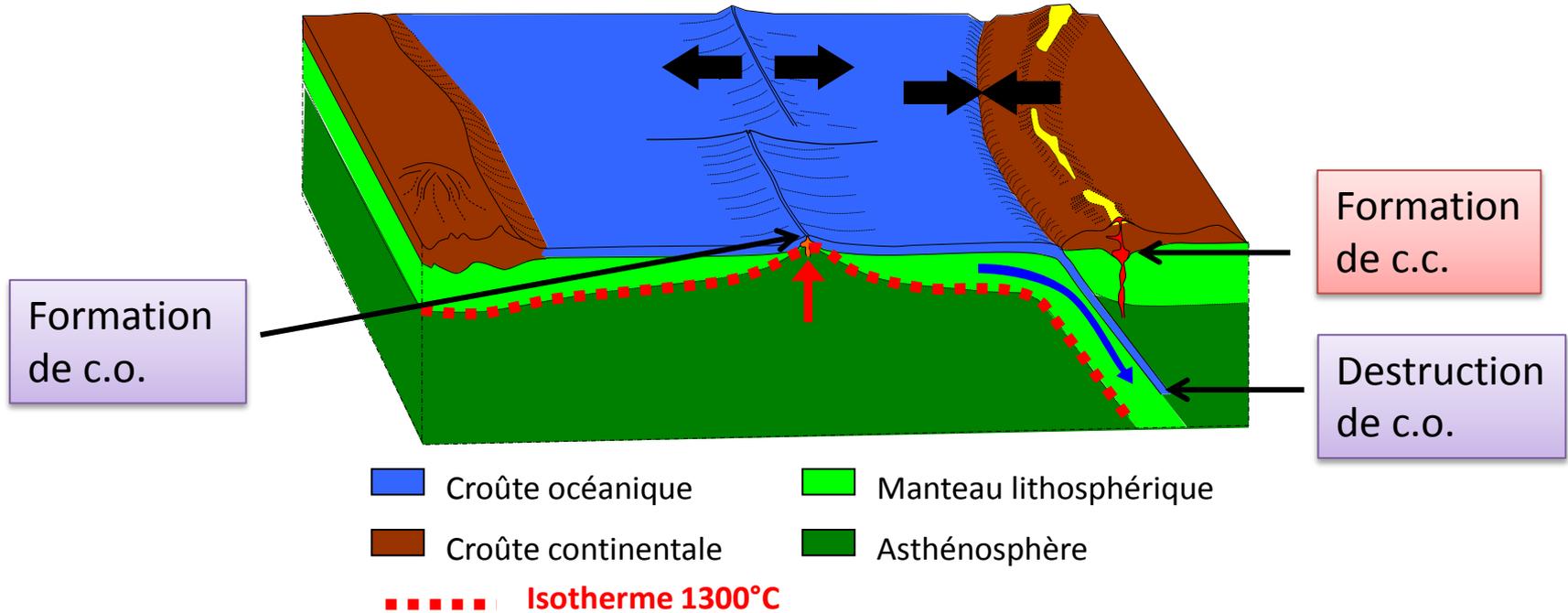
I – La dualité géologique océans / continents: la construction d'une idée...

II – Pluralité pétrographique des croûtes

III – Domaines océaniques et continentaux: principaux ensembles morphologiques

**VI – Formation et recyclage de la croûte continentale**

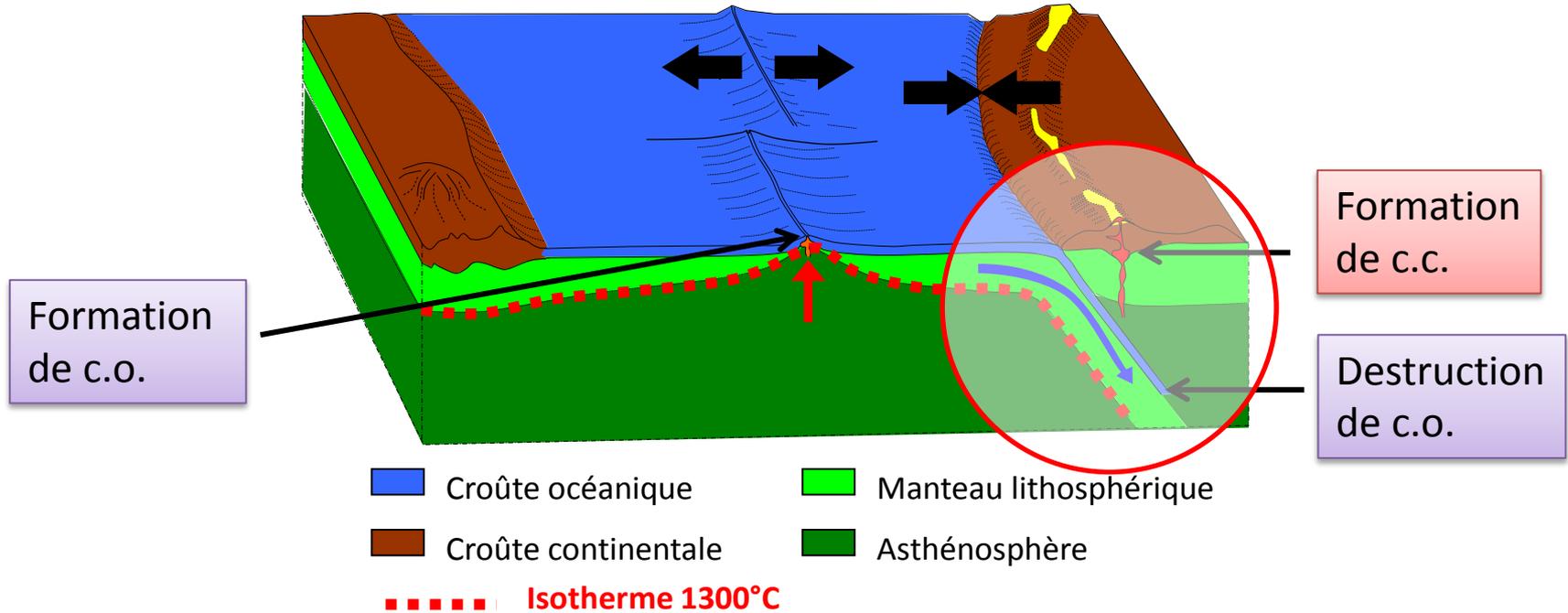
# Formation et recyclage de la croûte continentale



Actuellement, les **matériaux crustaux** sont essentiellement produits au niveau des zones de **subduction**, par **magmatisme** (c'est la fusion partielle de la **péridotite mantellique** qui produit les magmas à l'origine de roches volcaniques et plutoniques)

Est-ce qu'il en a toujours été ainsi ?

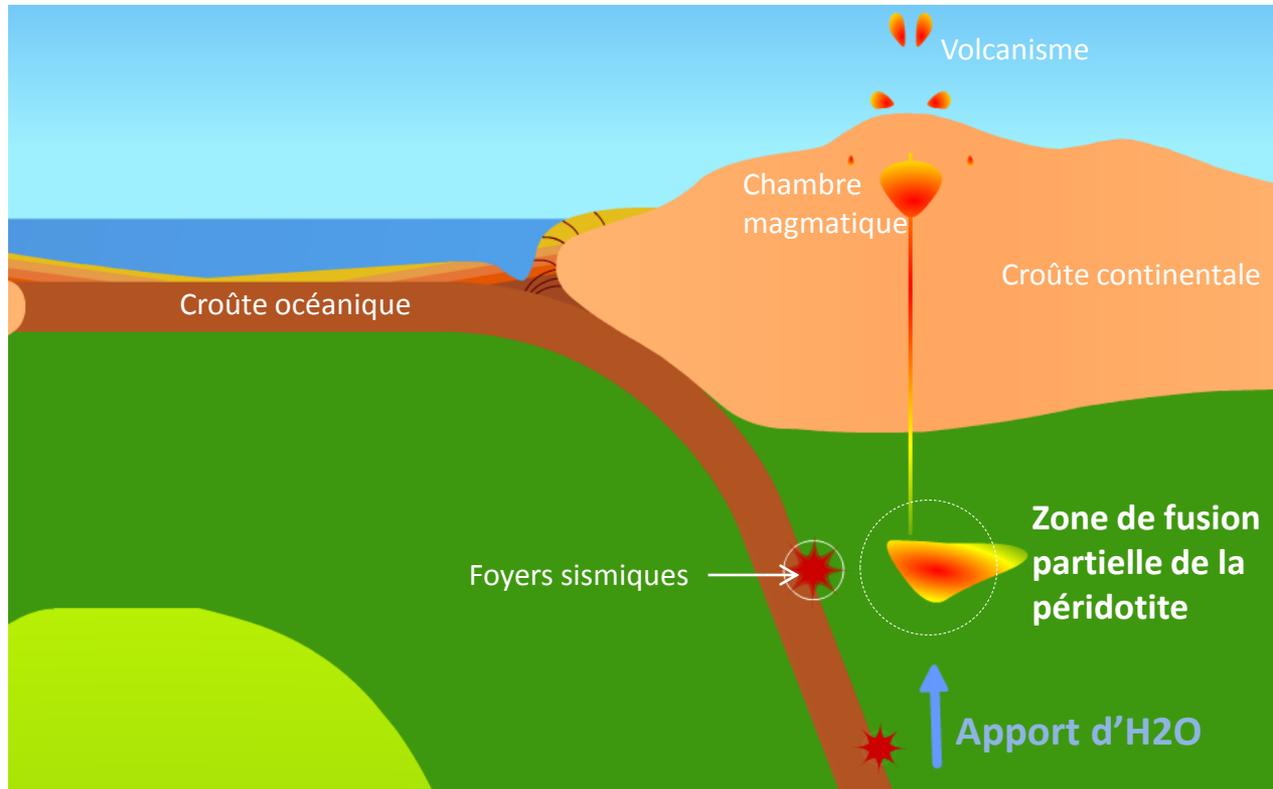
# Formation et recyclage de la croûte continentale



Actuellement, les **matériaux crustaux** sont essentiellement produits au niveau des zones de **subduction**, par **magmatisme** (c'est la fusion partielle de la **péridotite mantellique** qui produit les magmas à l'origine de roches volcaniques et plutoniques)

Est-ce qu'il en a toujours été ainsi ?

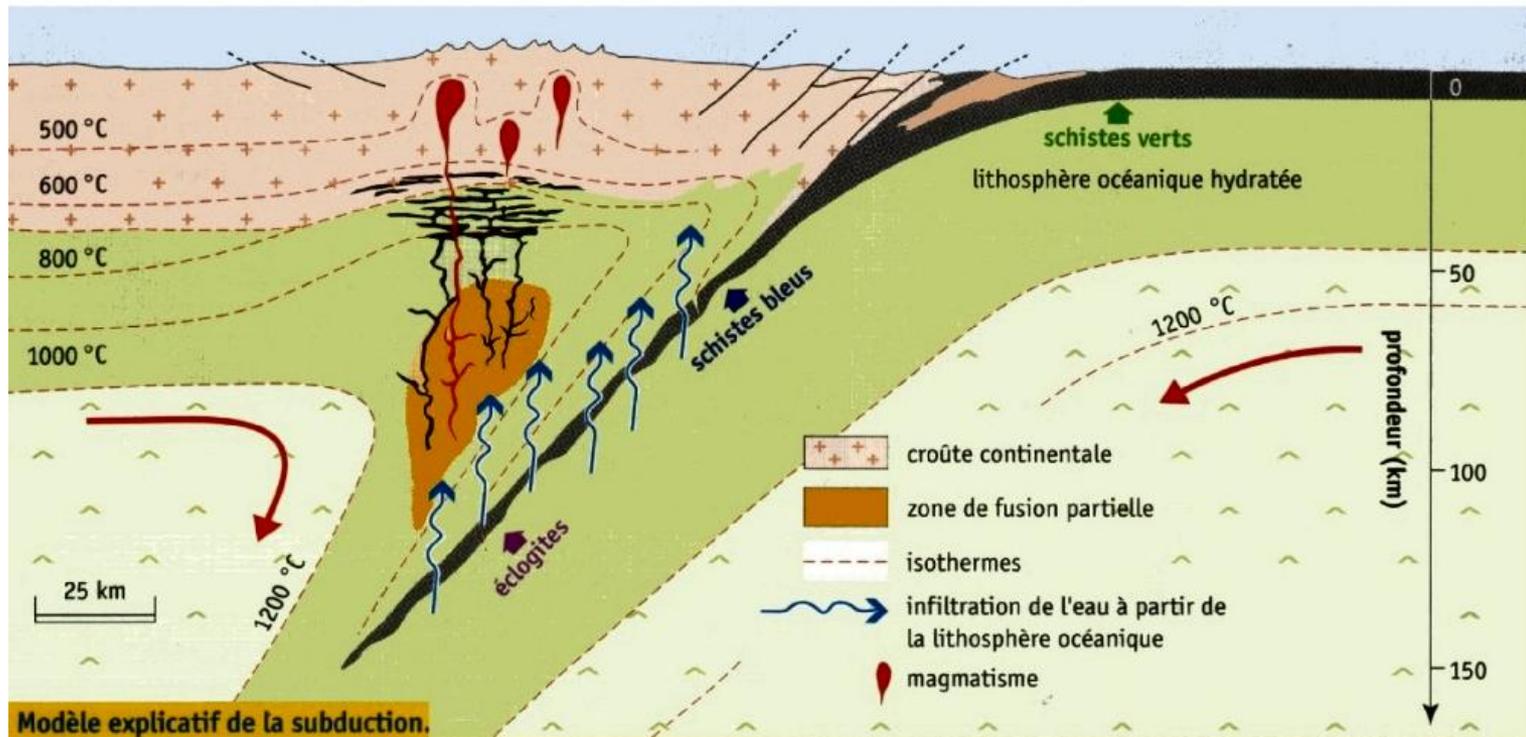
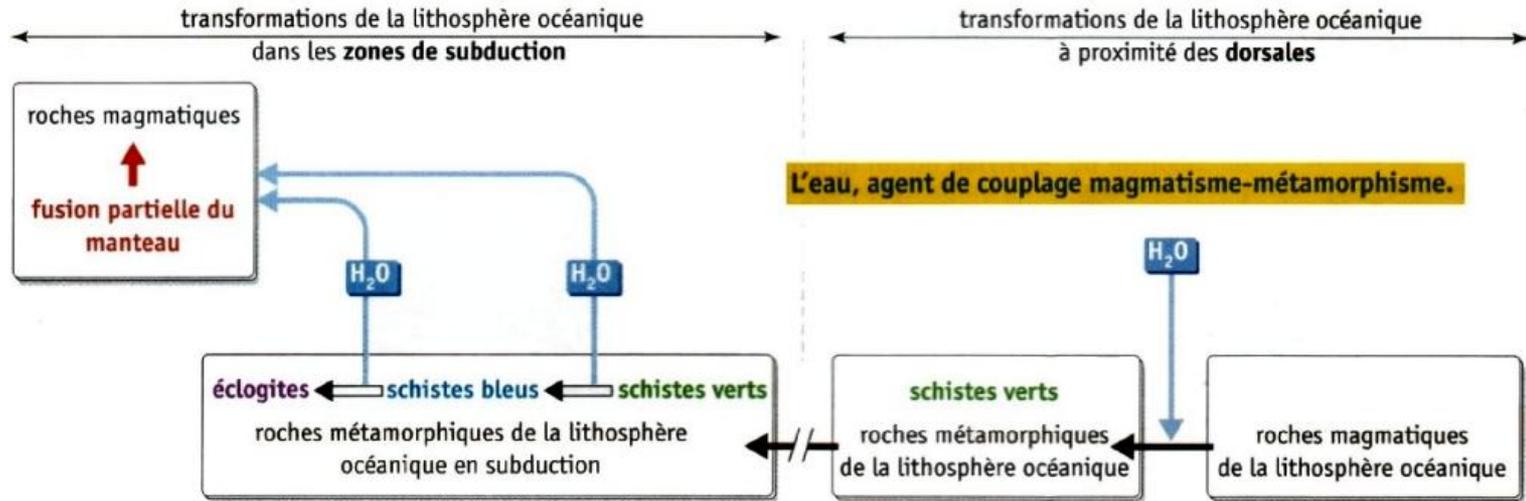
## Formation et recyclage de la croûte continentale



Actuellement, les **matériaux crustaux** sont essentiellement produits au niveau des zones de **subduction**, par **magmatisme** (c'est la fusion partielle de la **péridotite mantellique** qui produit les magmas à l'origine de roches volcaniques et plutoniques)

Est-ce qu'il en a toujours été ainsi ?

# En plus détaillé...



Revenons donc aux **roches les plus anciennes** de la **croûte continentale ...**

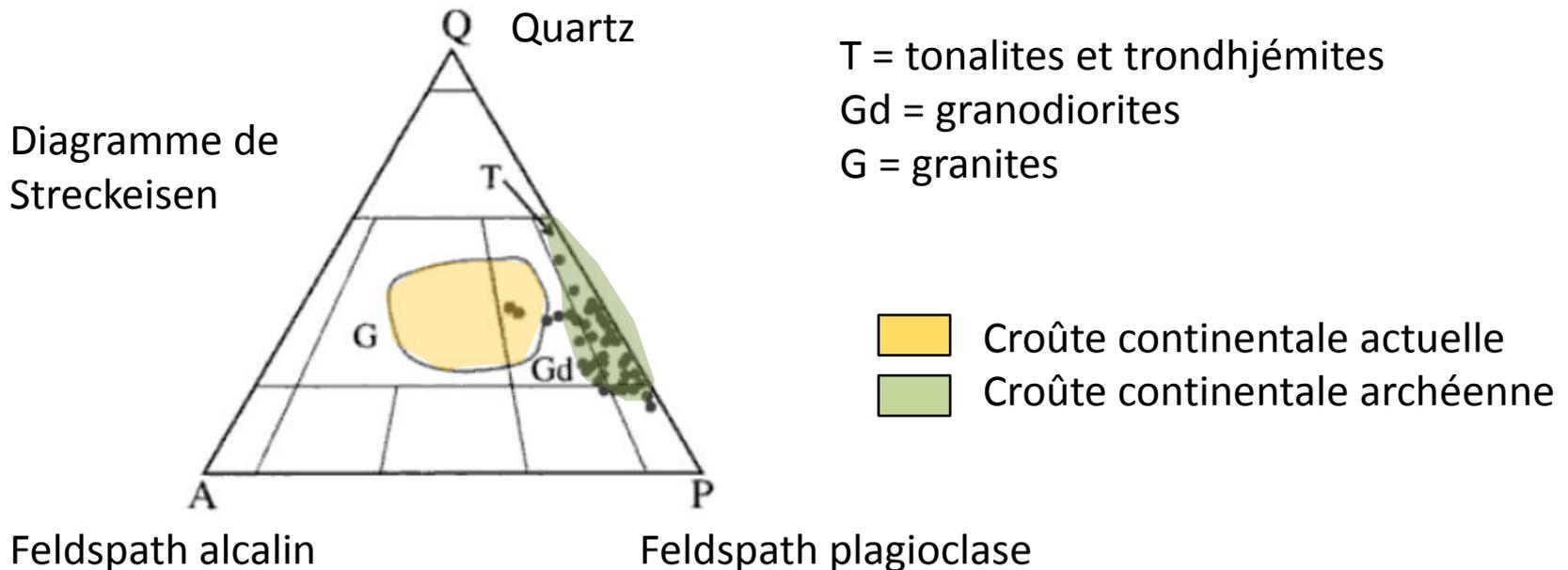
Gneiss d'Acasta (Canada), 4 Ga



Ces **gneiss** sont de couleur grise, très déformés, essentiellement constitués de quartz, plagioclases, biotite, hornblende.

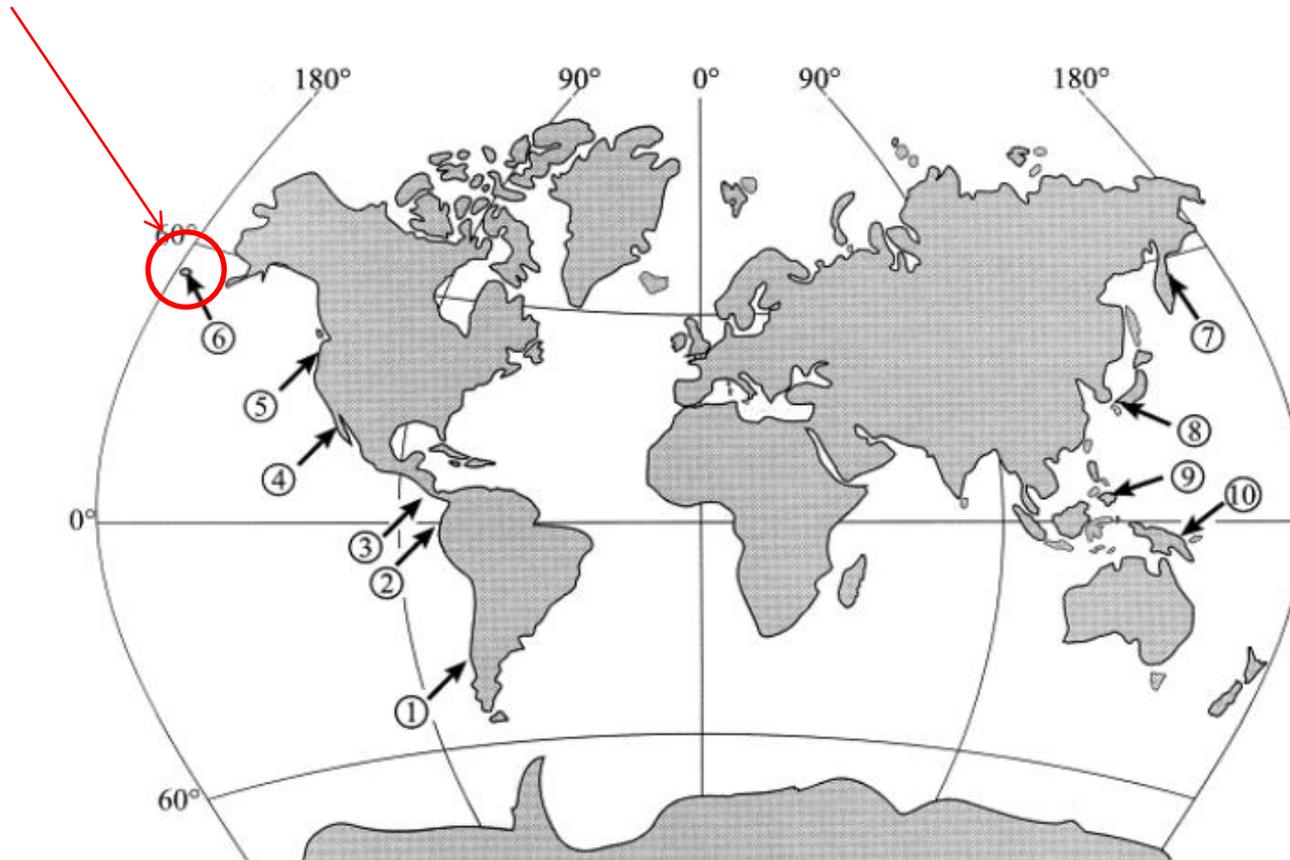
Pas de feldspaths potassiques. Il s'agit de **Tonalites à plagioclase sodique (Trondhémities) et de Granodiorites (→ TTG)**

En comparaison, la croûte continentale moderne a une composition granitique à granodioritique, à feldspath potassique.



La composition singulière de ces roches se rapproche de celle des **Adakites**, laves calco-alcalines particulières, dont la composition se rapproche de celles des TTG de type archéen (peu de K).

Les Adakites sont des roches découvertes sur l'île d'Adak, dans les Aléoutiennes (Alaska)

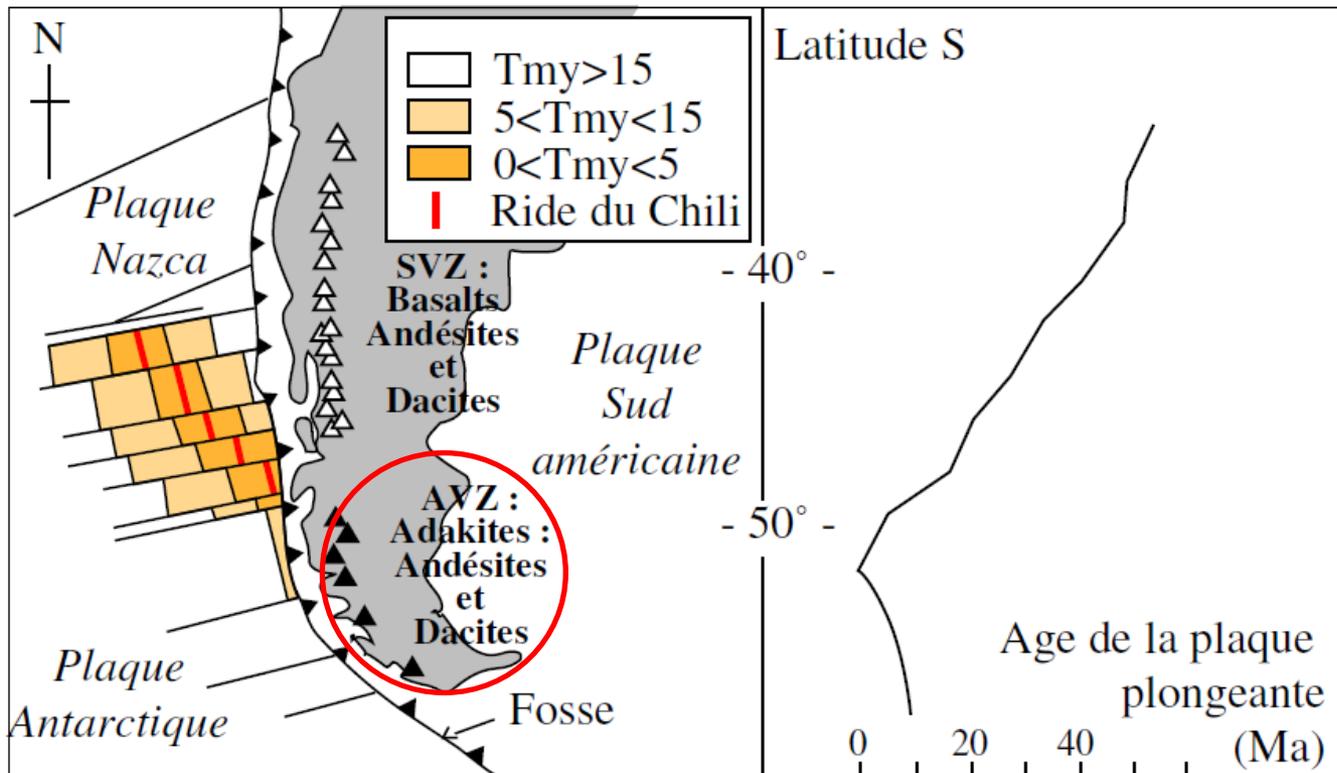


Répartition mondiale des principales adakites

## Comment se forment les adakites ?

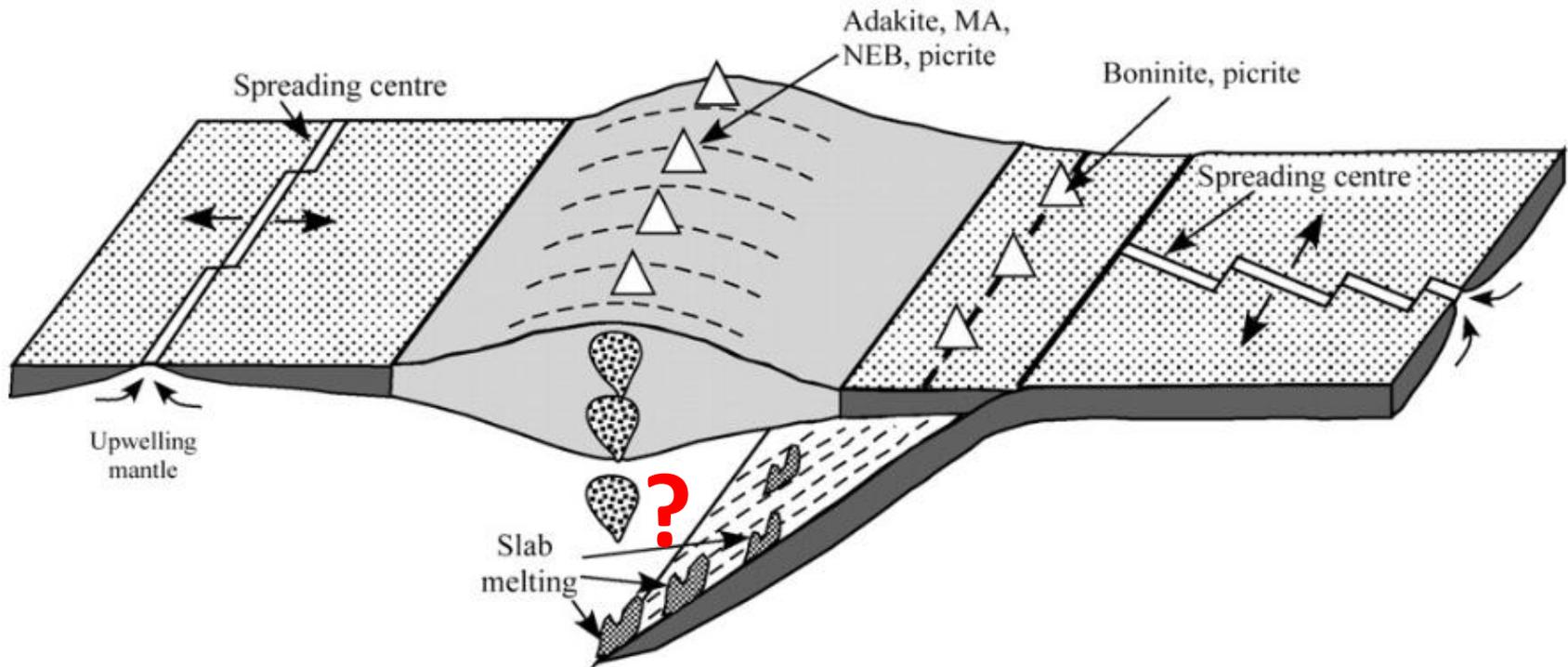
**Exemple:** En Patagonie, la plaque Nazca (au Nord), et la plaque Antarctique (au Sud), séparées par la dorsale (active) du Chili, entrent en **subduction** sous la plaque Sud-Américaine.

Cette subduction est oblique, ce qui fait que **l'âge de la croûte** qui rentre en subduction (ou sa distance à la dorsale) varie du Nord au Sud. Les **adakites** sont toujours associées à la subduction d'une croûte océanique **jeune** (< 30MA)



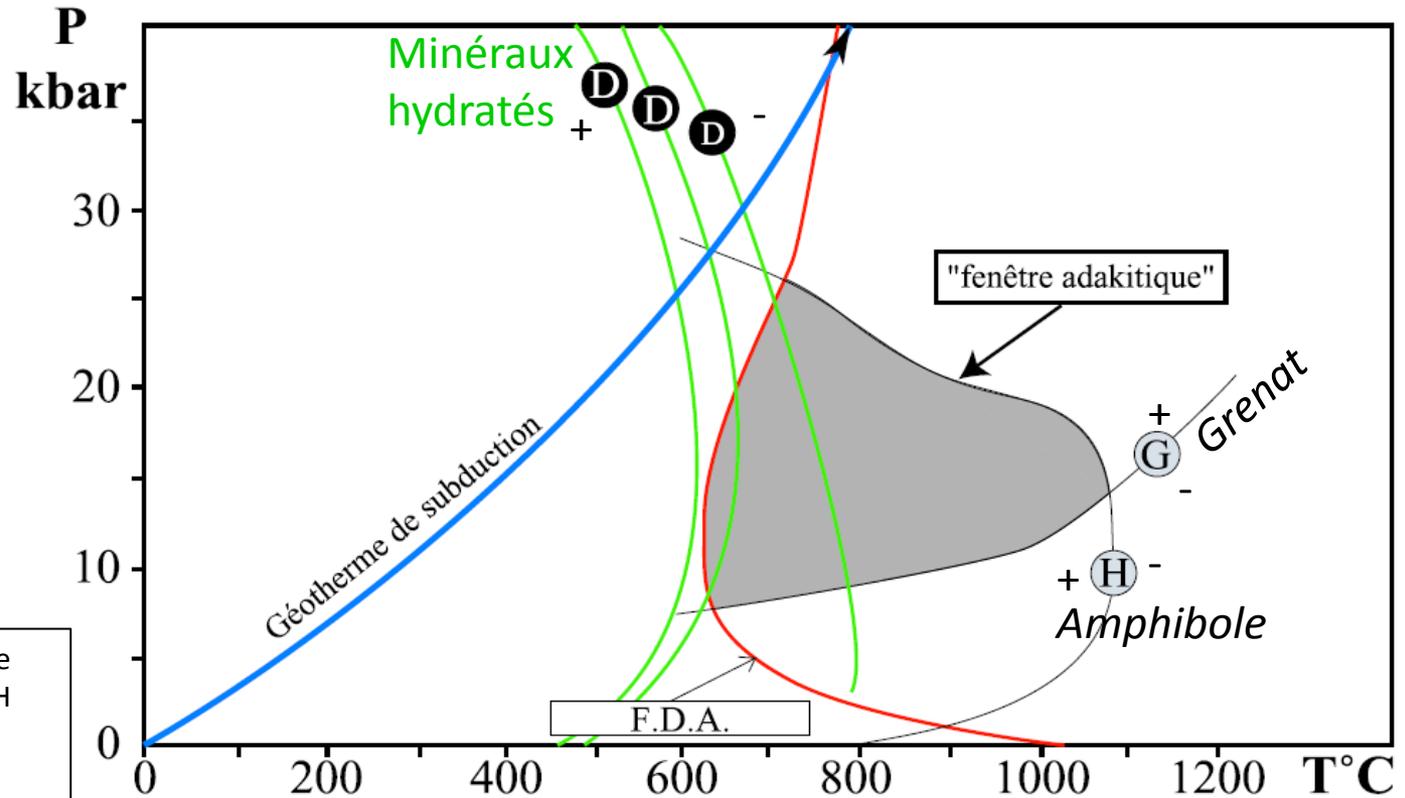
## Comment se forment les adakites ?

Des expérimentations montrent que la **fusion mantellique** ne peut donner des **adakites**. Par contre, la fusion d'**amphibolites à grenat** donne des liquides magmatiques de composition voisine des adakites. La nature basique des adakites semble montrer qu'elles proviennent de la fusion du basalte océanique hydraté.



**Pour faire fondre une amphibolite à grenat, il faut se trouver dans une zone assez étroite de l'espace P-T :**

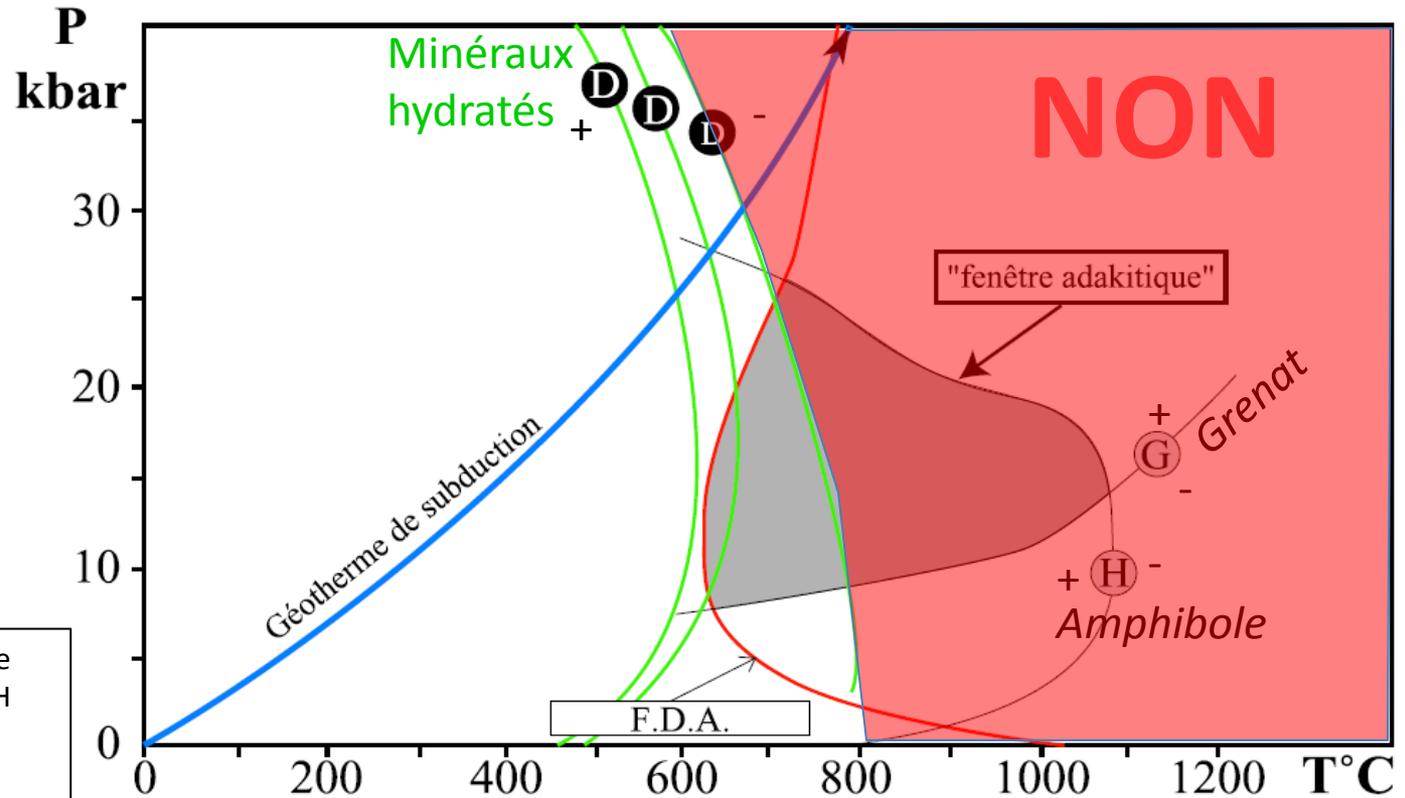
- Il faut qu'il y ait présence de minéraux hydratés (**Actinote, chlorite**, amphibolite). On doit être donc à **gauche de la courbe H**



La courbe G correspond à la limite inférieure de stabilité du grenat, H correspond à la disparition de l'amphibole (hornblende).

**Pour faire fondre une amphibolite à grenat, il faut se trouver dans une zone assez étroite de l'espace P-T :**

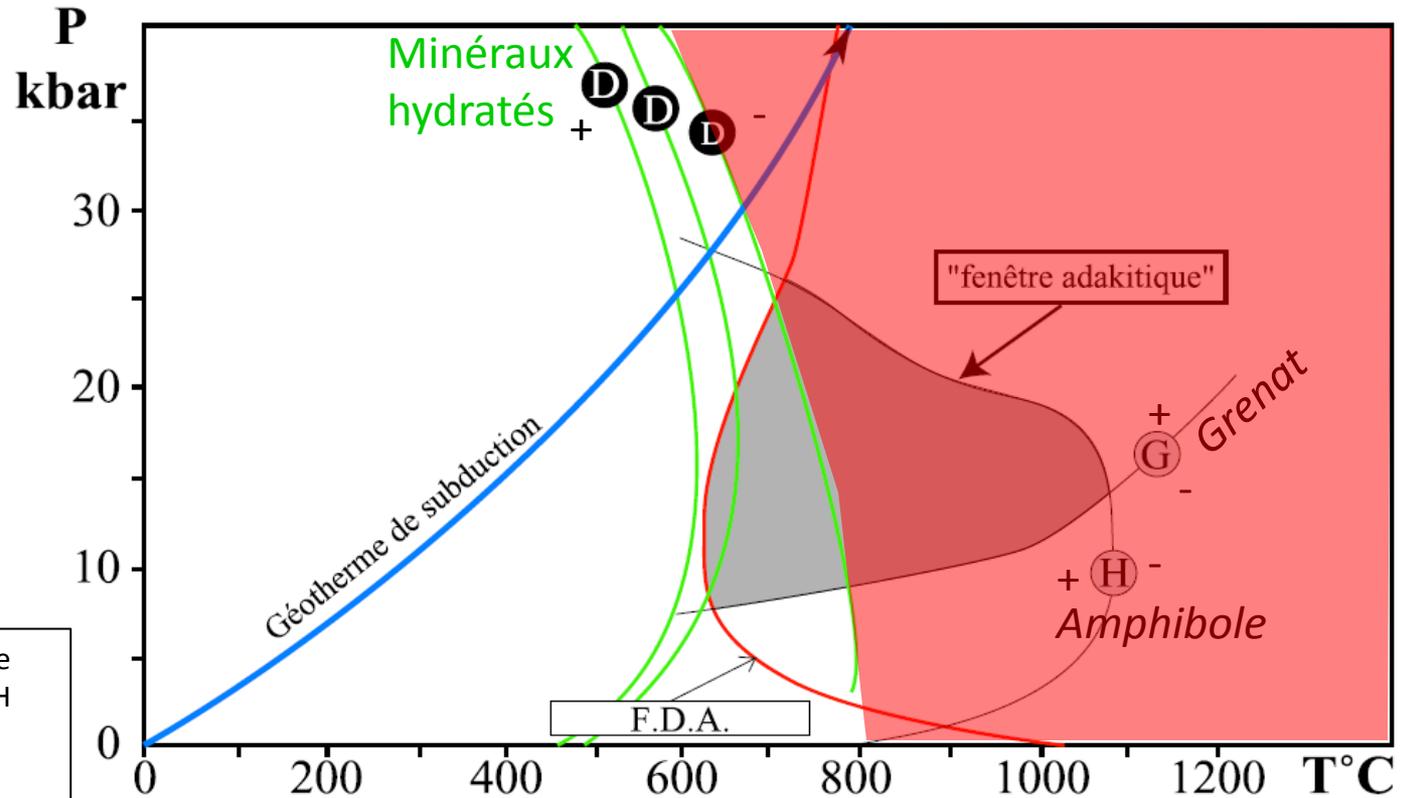
- Il faut qu'il y ait présence de minéraux hydratés (**Actinote, chlorite**, amphibolite). On doit être donc à **gauche de la courbe H**



La courbe G correspond à la limite inférieure de stabilité du grenat, H correspond à la disparition de l'amphibole (hornblende).

**Pour faire fondre une amphibolite à grenat**, il faut se trouver dans une zone assez étroite de l'espace P-T :

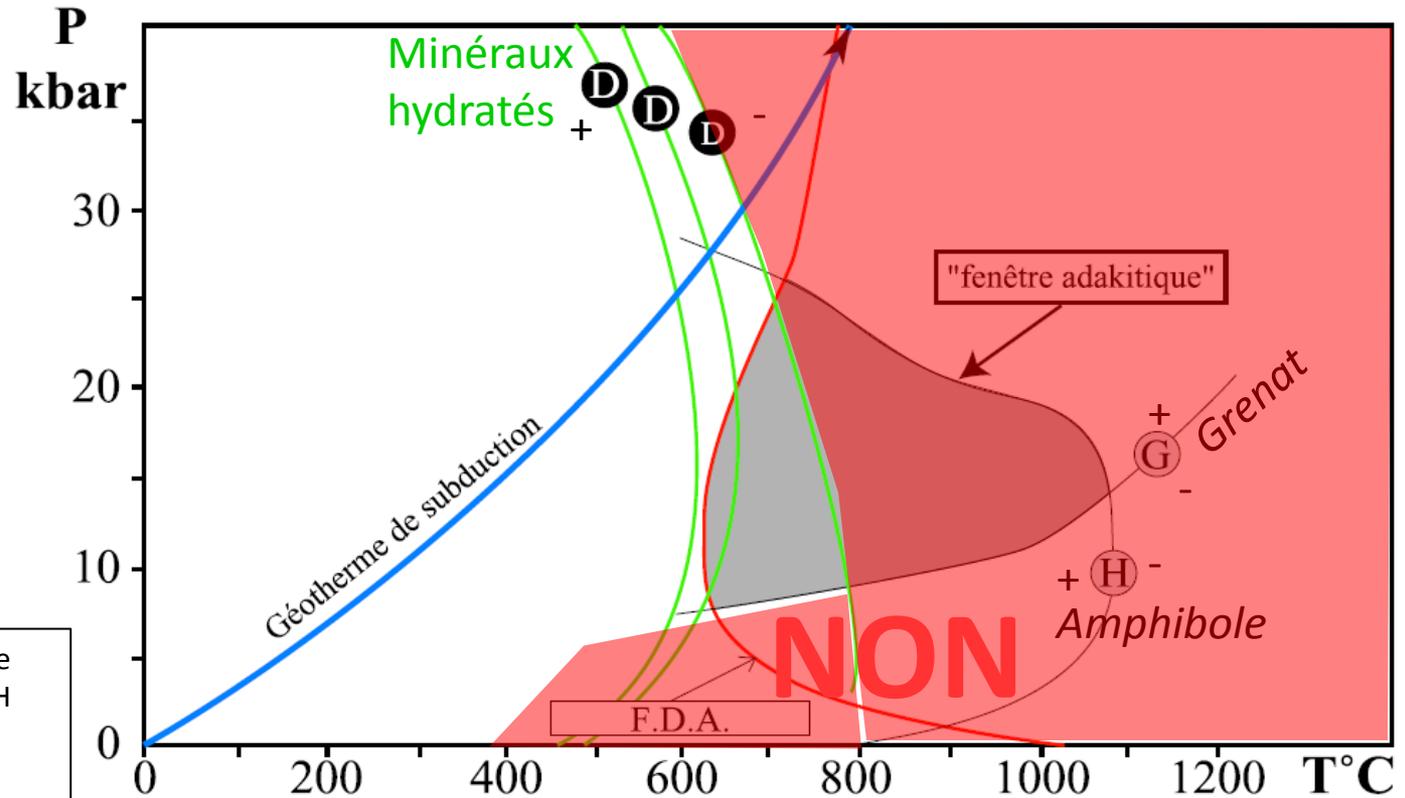
- Il faut qu'il y ait présence de minéraux hydratés (**Actinote, chlorite**, amphibolite). On doit être donc à **gauche de la courbe H**
- Il faut que le grenat soit stable (faute de quoi les liquides ne sont pas adakitiques), donc il faut être **au dessus de la courbe G** ;



La courbe G correspond à la limite inférieure de stabilité du grenat, H correspond à la disparition de l'amphibole (hornblende).

**Pour faire fondre une amphibolite à grenat**, il faut se trouver dans une zone assez étroite de l'espace P-T :

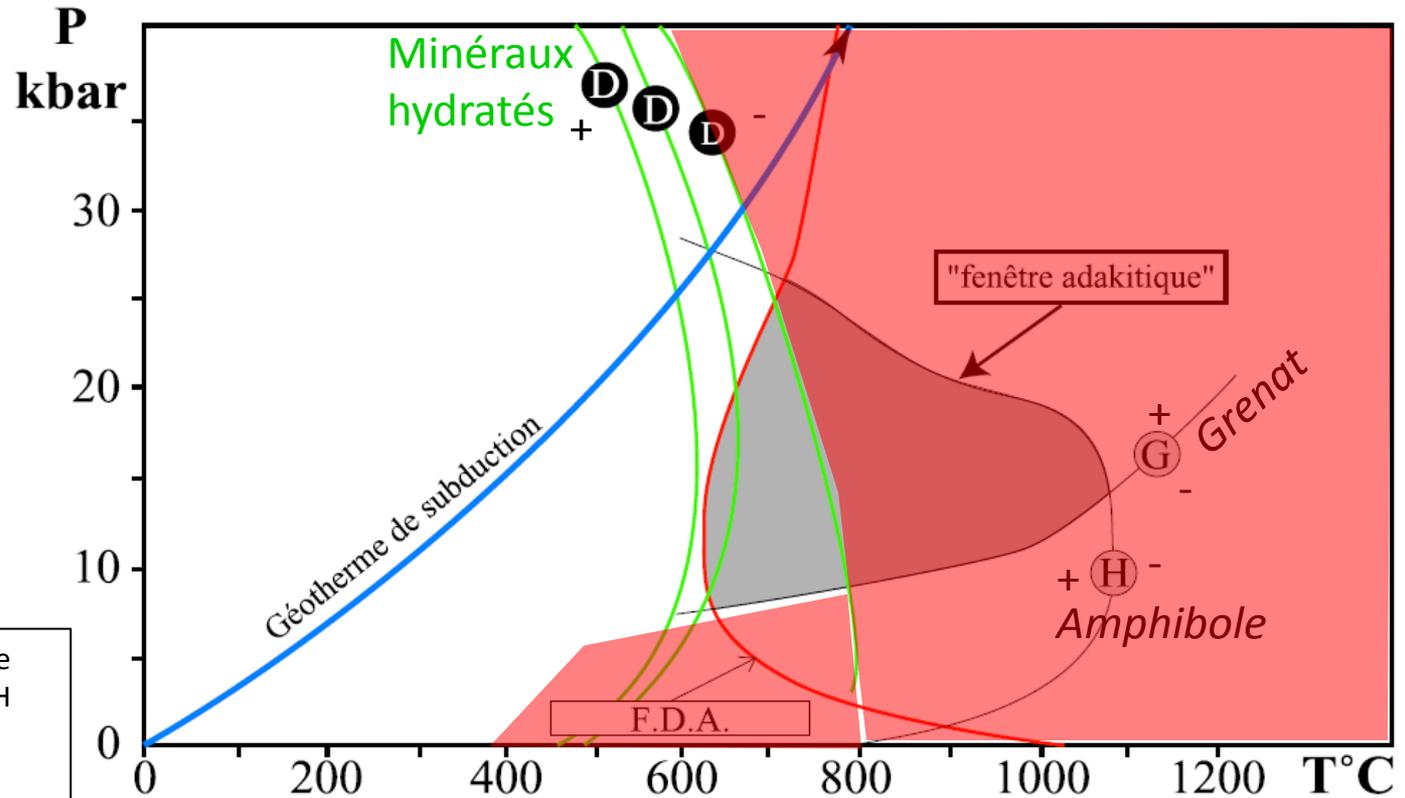
- Il faut qu'il y ait présence de minéraux hydratés (**Actinote, chlorite**, amphibolite). On doit être donc à **gauche de la courbe H**
- Il faut que le grenat soit stable (faute de quoi les liquides ne sont pas adakitiques), donc il faut être **au dessus de la courbe G** ;



La courbe G correspond à la limite inférieure de stabilité du grenat, H correspond à la disparition de l'amphibole (hornblende).

**Pour faire fondre une amphibolite à grenat**, il faut se trouver dans une zone assez étroite de l'espace P-T :

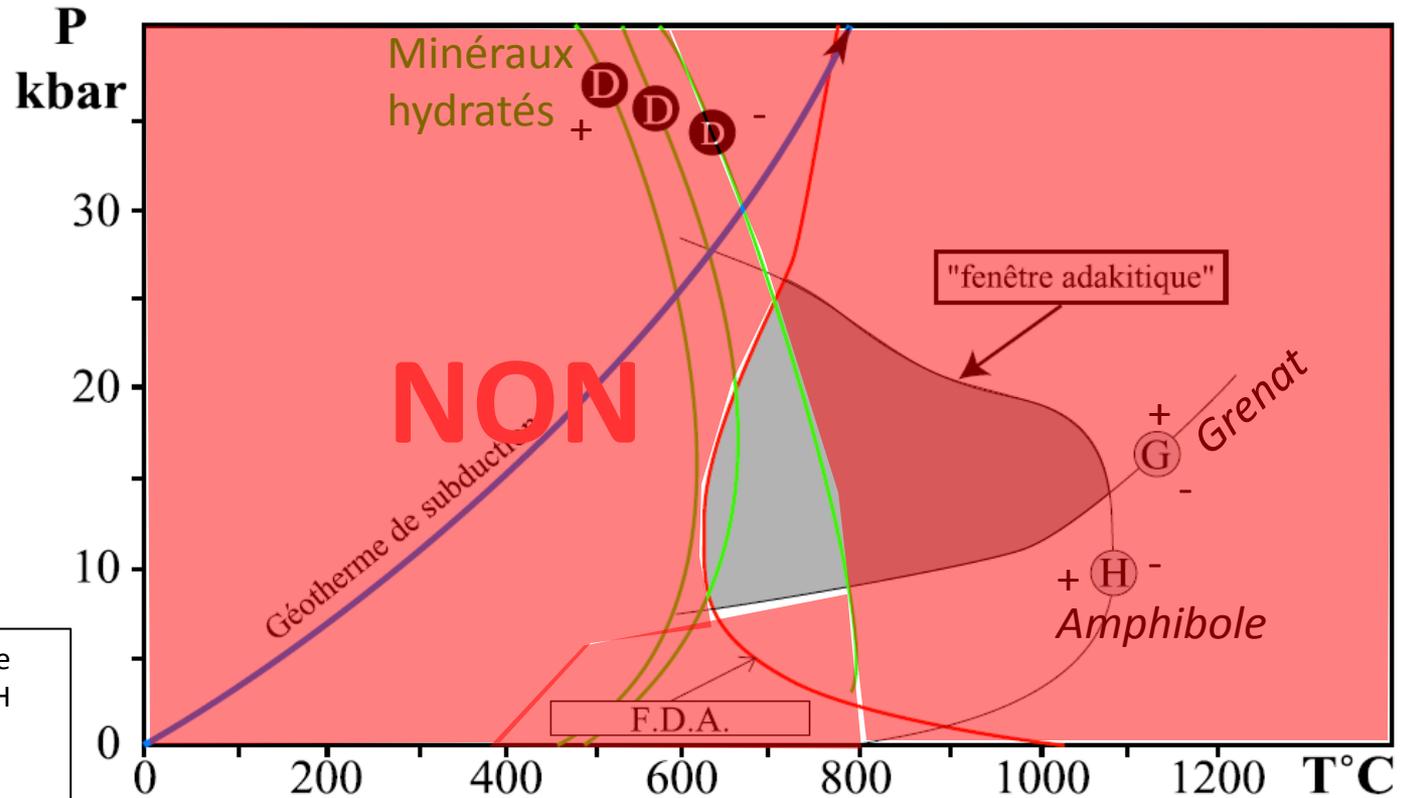
- Il faut qu'il y ait présence de minéraux hydratés (**Actinote, chlorite**, amphibolite). On doit être donc à **gauche** de la **courbe H**
- Il faut que le grenat soit stable (faute de quoi les liquides ne sont pas adakitiques), donc il faut être **au dessus** de la **courbe G** ;
- Il faut que la fusion de l'amphibolite hydratée puisse se dérouler, donc il faut être à **droite** de la **courbe FDA**.



La courbe G correspond à la limite inférieure de stabilité du grenat, H correspond à la disparition de l'amphibole (hornblende).

**Pour faire fondre une amphibolite à grenat**, il faut se trouver dans une zone assez étroite de l'espace P-T :

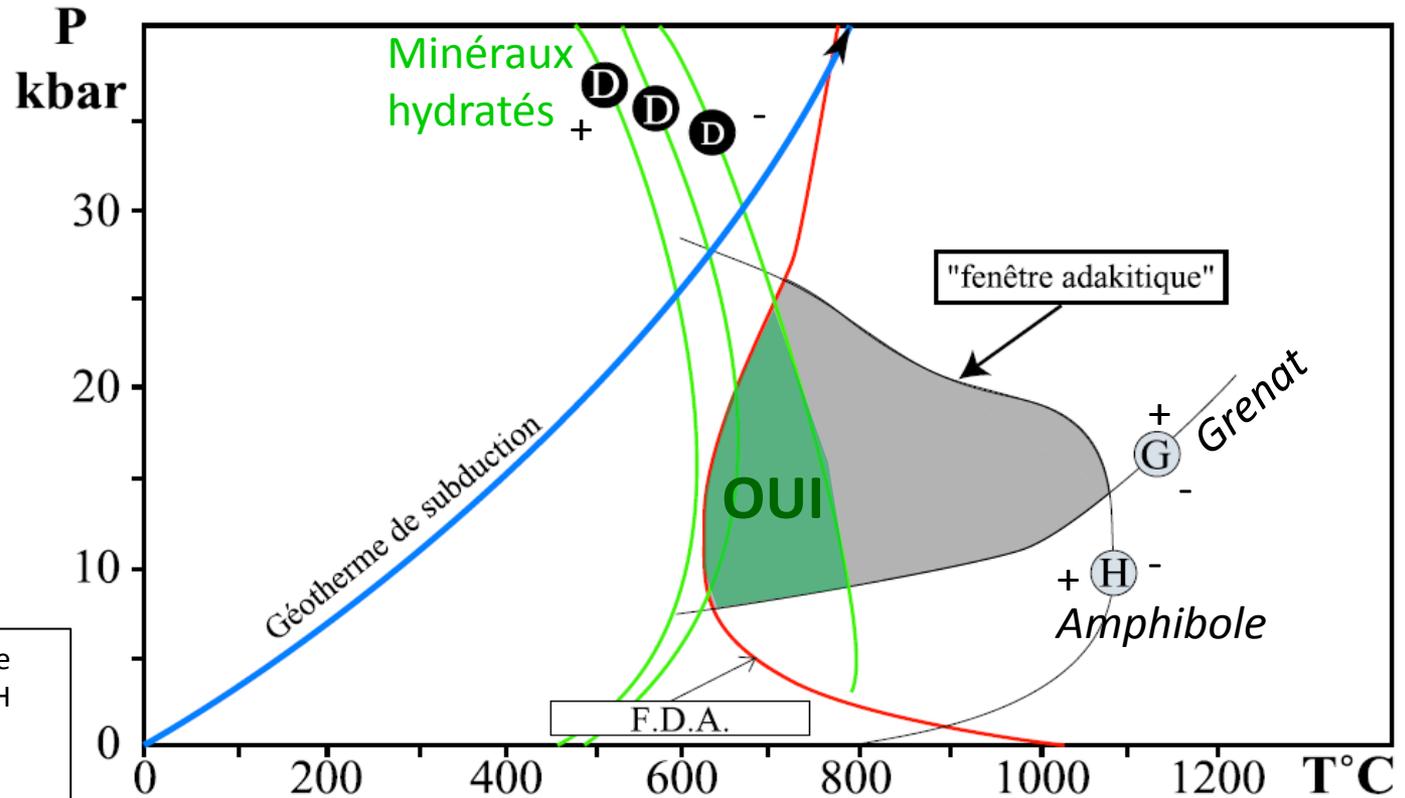
- Il faut qu'il y ait présence de minéraux hydratés (**Actinote, chlorite**, amphibolite). On doit être donc à **gauche** de la **courbe H**
- Il faut que le grenat soit stable (faute de quoi les liquides ne sont pas adakitiques), donc il faut être **au dessus** de la **courbe G** ;
- Il faut que la fusion de l'amphibolite hydratée puisse se dérouler, donc il faut être à **droite** de la **courbe FDA**.



La courbe G correspond à la limite inférieure de stabilité du grenat, H correspond à la disparition de l'amphibole (hornblende).

**Pour faire fondre une amphibolite à grenat**, il faut se trouver dans une zone assez étroite de l'espace P-T :

- Il faut qu'il y ait présence de minéraux hydratés (**Actinote, chlorite**, amphibolite). On doit être donc à **gauche** de la **courbe H**
- Il faut que le grenat soit stable (faute de quoi les liquides ne sont pas adakitiques), donc il faut être **au dessus** de la **courbe G** ;
- Il faut que la fusion de l'amphibolite hydratée puisse se dérouler, donc il faut être **à droite** de la **courbe FDA**.



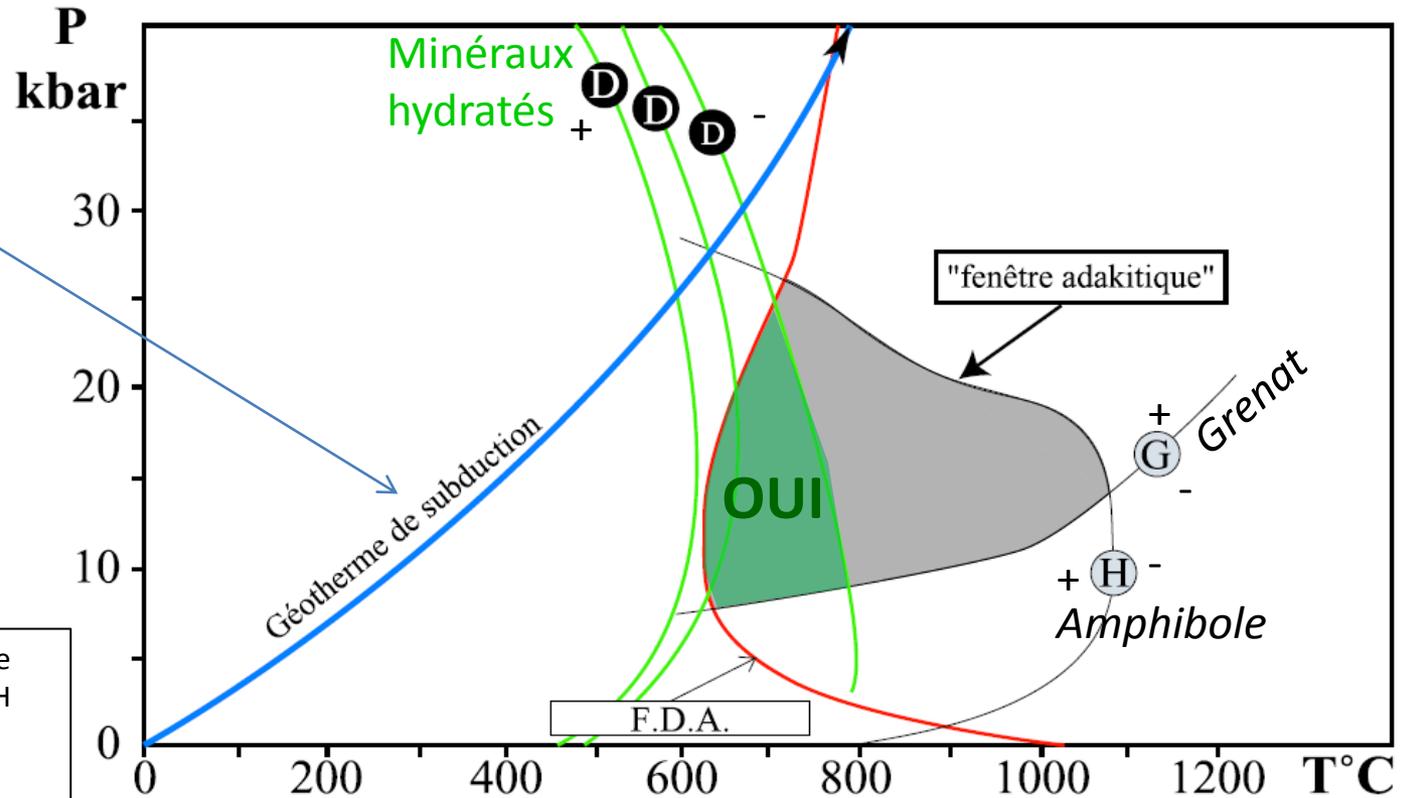
La courbe G correspond à la limite inférieure de stabilité du grenat, H correspond à la disparition de l'amphibole (hornblende).

**Pour faire fondre une amphibolite à grenat**, il faut se trouver dans une zone assez étroite de l'espace P-T :

- Il faut qu'il y ait présence de minéraux hydratés (**Actinote, chlorite**, amphibolite). On doit être donc à **gauche** de la **courbe H**
- Il faut que le grenat soit stable (faute de quoi les liquides ne sont pas adakitiques), donc il faut être **au dessus** de la **courbe G** ;
- Il faut que la fusion de l'amphibolite hydratée puisse se dérouler, donc il faut être à **droite** de la **courbe FDA**.

On voit que dans le cas d'une **subduction** « classique », le **géotherme** (courbe **bleue**) est tel que l'amphibolite se déshydrate en premier, **ce qu'il l'empêche de fondre**

La courbe G correspond à la limite inférieure de stabilité du grenat, H correspond à la disparition de l'amphibole (hornblende).



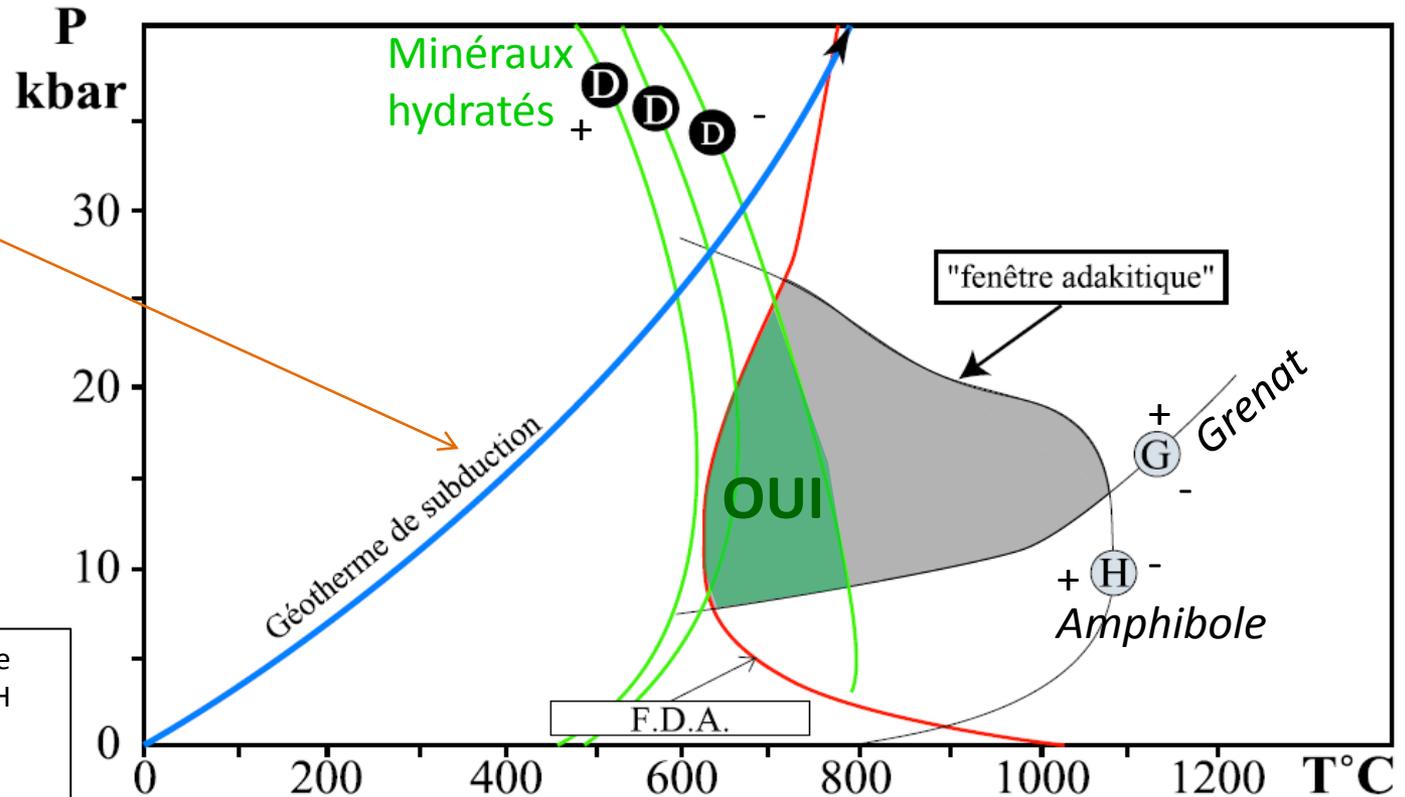
**Pour faire fondre une amphibolite à grenat**, il faut se trouver dans une zone assez étroite de l'espace P-T :

- Il faut qu'il y ait présence de minéraux hydratés (**Actinote, chlorite**, amphibolite). On doit être donc à **gauche** de la **courbe H**
- Il faut que le grenat soit stable (faute de quoi les liquides ne sont pas adakitiques), donc il faut être **au dessus** de la **courbe G** ;
- Il faut que la fusion de l'amphibolite hydratée puisse se dérouler, donc il faut être **à droite** de la **courbe FDA**.

→ Cela ne peut marcher que si on **augmente le gradient géothermique de subduction !!!**

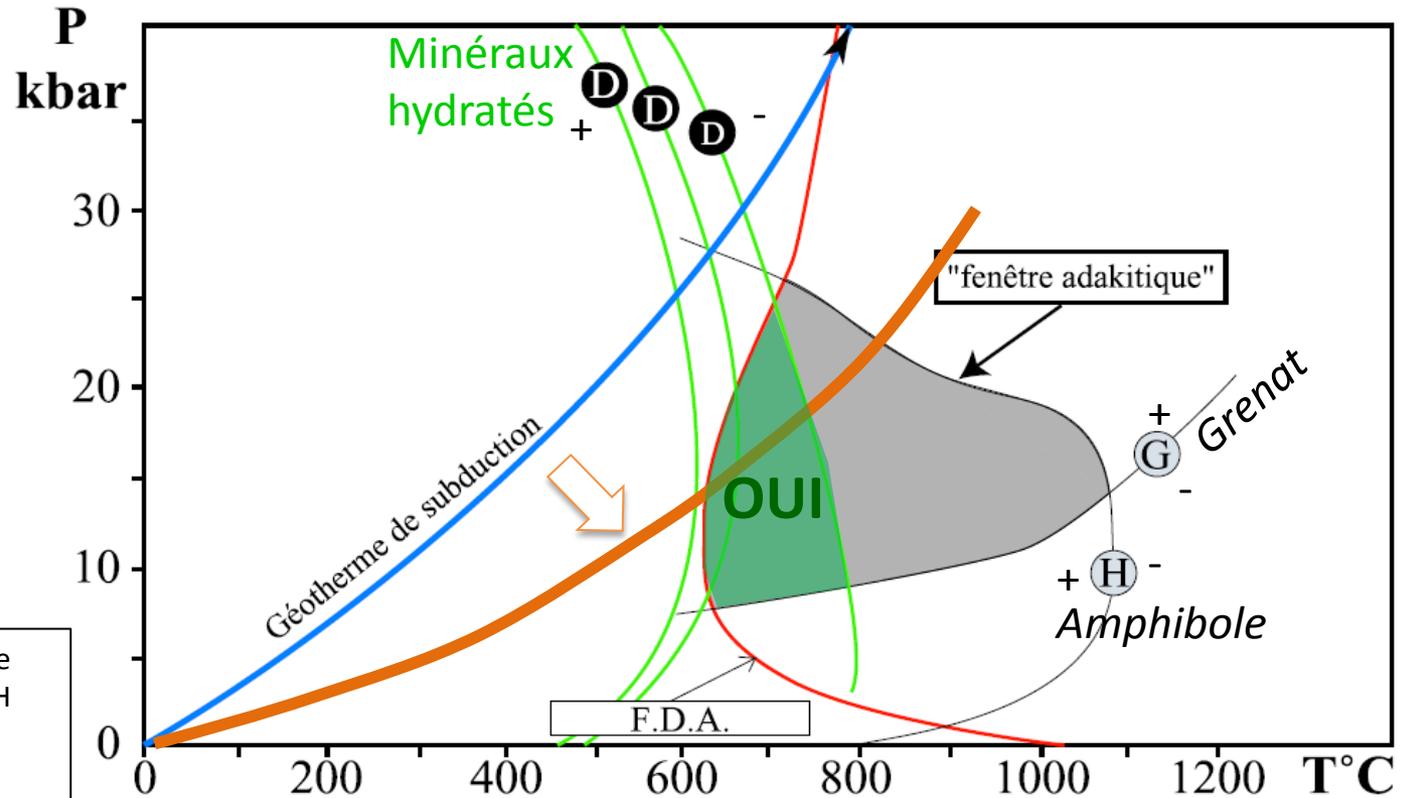


La courbe G correspond à la limite inférieure de stabilité du grenat, H correspond à la disparition de l'amphibole (hornblende).



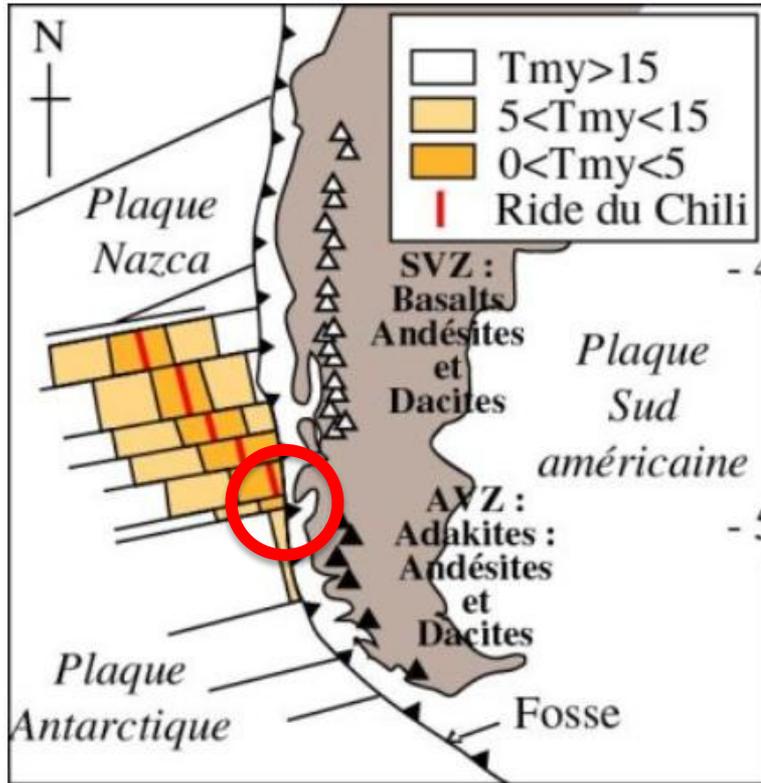
**Pour faire fondre une amphibolite à grenat**, il faut se trouver dans une zone assez étroite de l'espace P-T :

- Il faut qu'il y ait présence de minéraux hydratés (**Actinote, chlorite**, amphibolite). On doit être donc à **gauche** de la **courbe H**
- Il faut que le grenat soit stable (faute de quoi les liquides ne sont pas adakitiques), donc il faut être **au dessus** de la **courbe G** ;
- Il faut que la fusion de l'amphibolite hydratée puisse se dérouler, donc il faut être **à droite** de la **courbe FDA**.

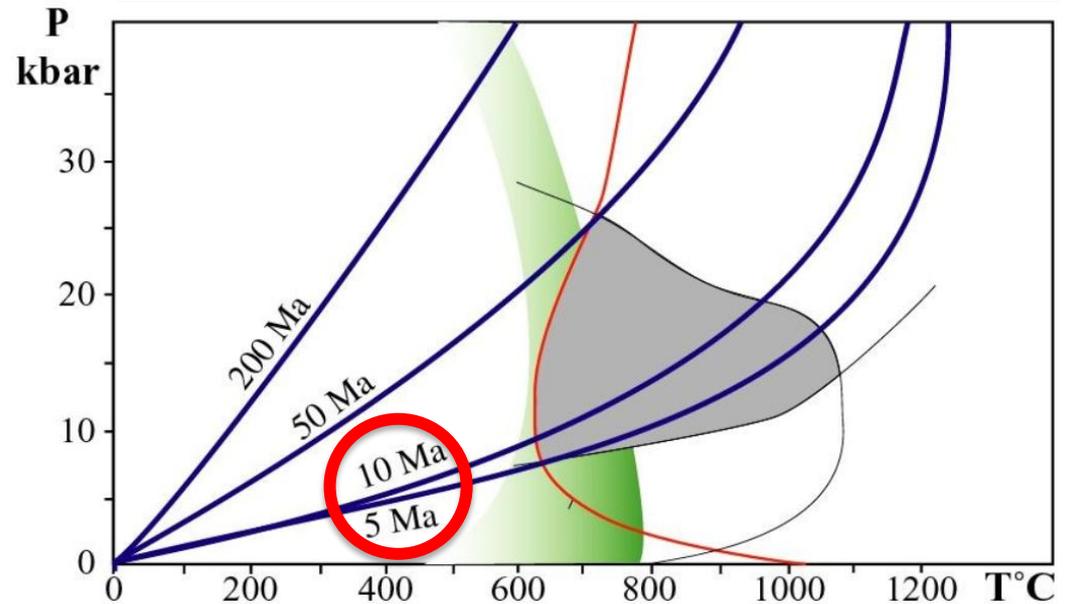


La courbe G correspond à la limite inférieure de stabilité du grenat, H correspond à la disparition de l'amphibole (hornblende).

→ Cela ne peut marcher que si on **augmente le gradient géothermique de subduction !!!**

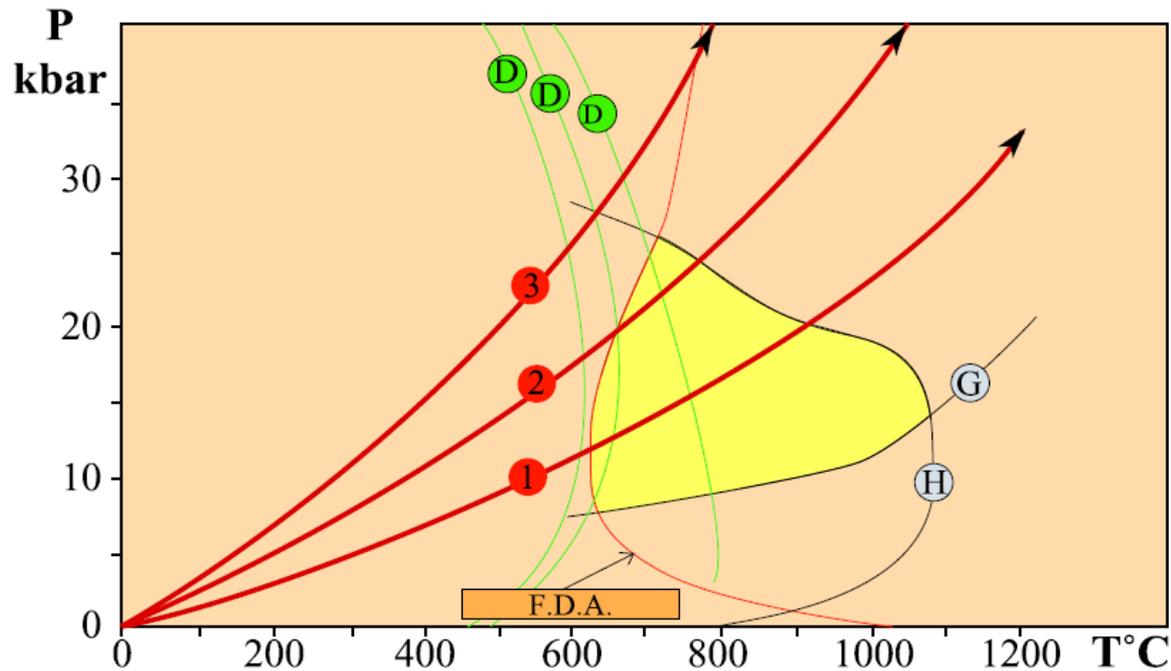


**Géothermes de subduction** en fonction de l'âge de la croûte océanique.

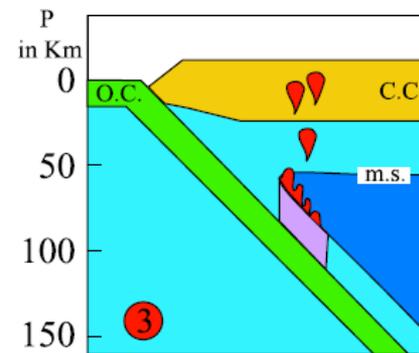
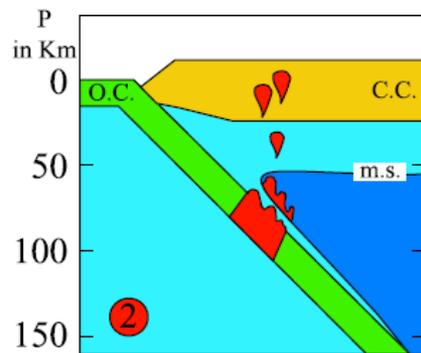
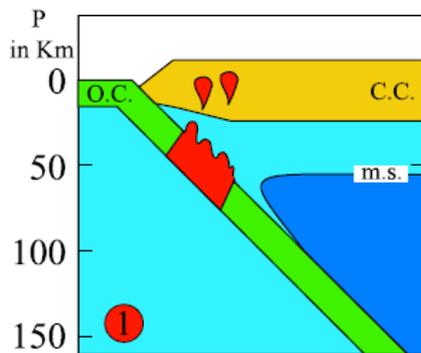


C'est bien ce qui se passe dans la zone étudiée: la croûte océanique, particulièrement jeune, est **anormalement chaude** → **Fusion possible** avant qu'elle se déshydrate complètement !!!

Le contexte de formation des **adakites** se rapproche donc de celui de la **croûte continentale archéenne** !



- ① **TTG ARCHEENNES**  
Fusion à faible profondeur  
Pas ou peu d'interactions  
du magma avec le manteau
- ② **ADAKITES MODERNES**  
Fusion à plus forte profondeur  
Fortes interactions magma-manteau
- ③ **MAGMAS BADR MODERNES**  
Deshydratation de la croûte  
(pas de fusion)  
Fusion du manteau hydraté

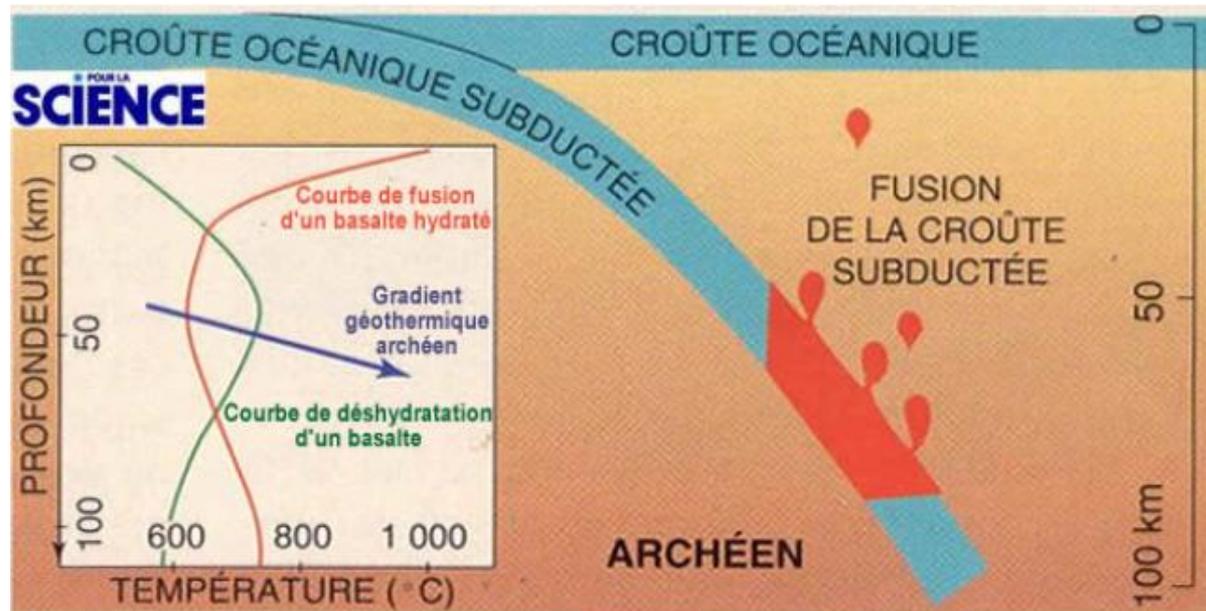


Les conditions de formation de la croûte continentale a donc **évolué au cours du temps**:

## Genèse de croûte continentale à l'Archéen (-4 à -2,5 Ga)

**Fusion du basalte** possible car il atteint sa **température de fusion** avant de se **déshydrater** (gradient géothermique plus élevé qu'actuellement)

→ Granitoïdes de type TTG, enrichis en sodium (croûte continentale primitive)



Archéen : période où le magmatisme était intense. On suppose que les  $\frac{3}{4}$  de la croûte continentale actuelle a été extraite du manteau à cette époque.

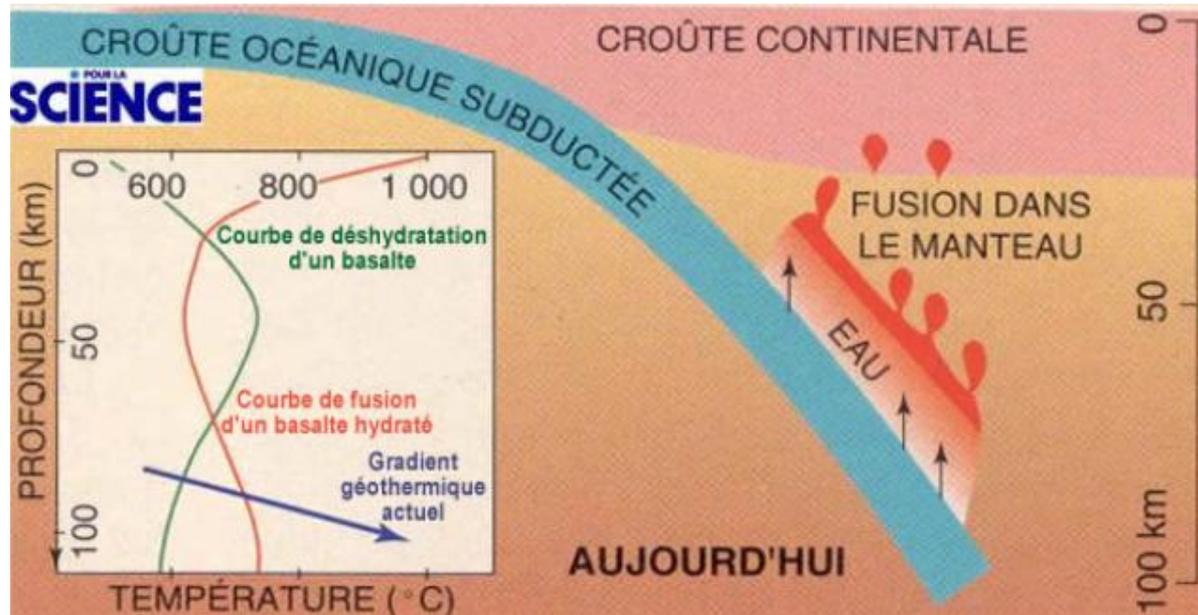
Les conditions de formation de la croûte continentale a donc évolué au cours du temps:

## Genèse de croûte continentale depuis 2,5 Ga

Gradient géothermique **plus faible** →

Le basalte se **déshydrate** avant d'atteindre son point de fusion, ce qui **empêche sa fusion**. L'eau favorise la fusion du manteau.

→ Magmatisme calco-alkalin donnant des granitoïdes enrichis en potassium (croûte « moderne »)

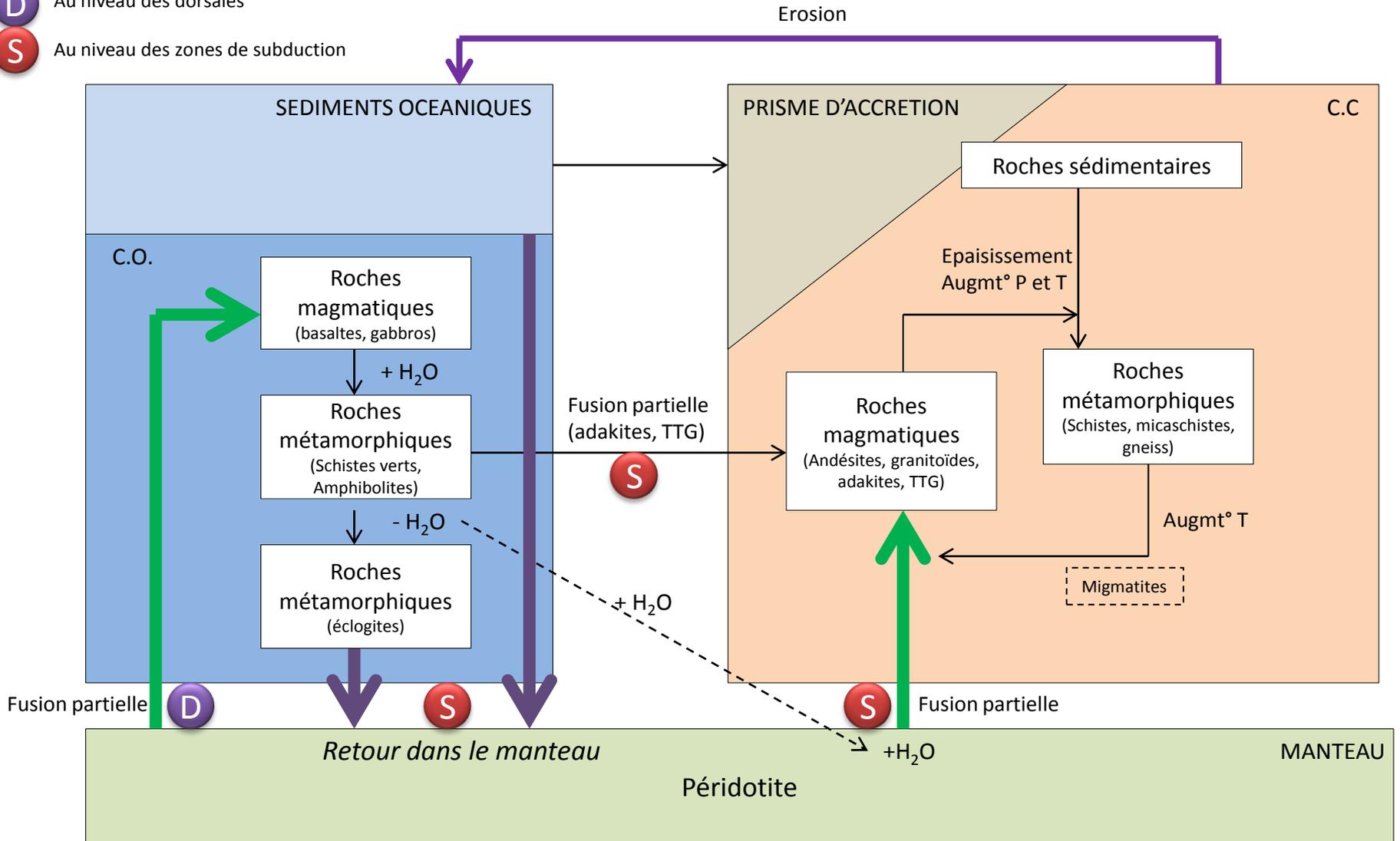


# Bilan actuel du mécanisme de recyclage des croûtes océaniques et continentales



D Au niveau des dorsales

S Au niveau des zones de subduction



FIN