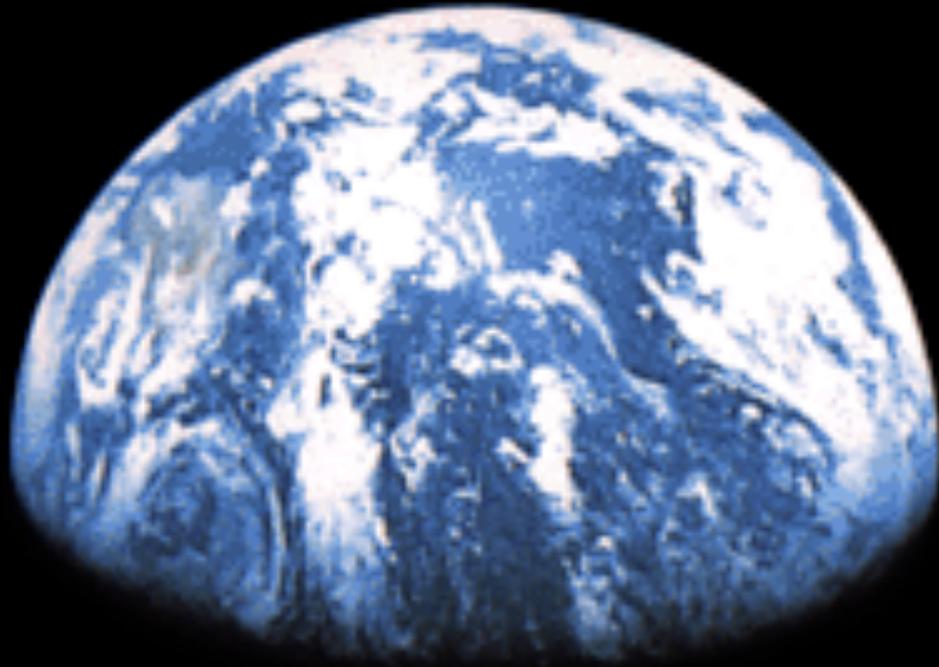


OBSERVER ET MESURER LA TERRE

Splendeurs et misères des Sciences de la Terre





Questions fondamentales

Comment en est-on arrivé là ?

Croissance des continents.

Pour combien de temps encore

Quelques caractéristiques fondamentales de la Terre en tant qu'objet d'études scientifiques. I.

Les roches sont

1. difficilement pénétrables,
2. lentes à se déformer.

Il n'y a qu'une seule Terre:

on ne peut reconstituer sa séquence évolutive par l'observation.

Les phénomènes géologiques se produisent à très grande échelle, MAIS près de nous.

La Terre est hétérogène. Par exemple, les mouvements de surface sont le fait de quelques plaques rigides se déplaçant les unes par rapport aux autres. Pour les 7 plaques principales, la vitesse varie d'un facteur 10. Définir une vitesse caractéristique est difficile.



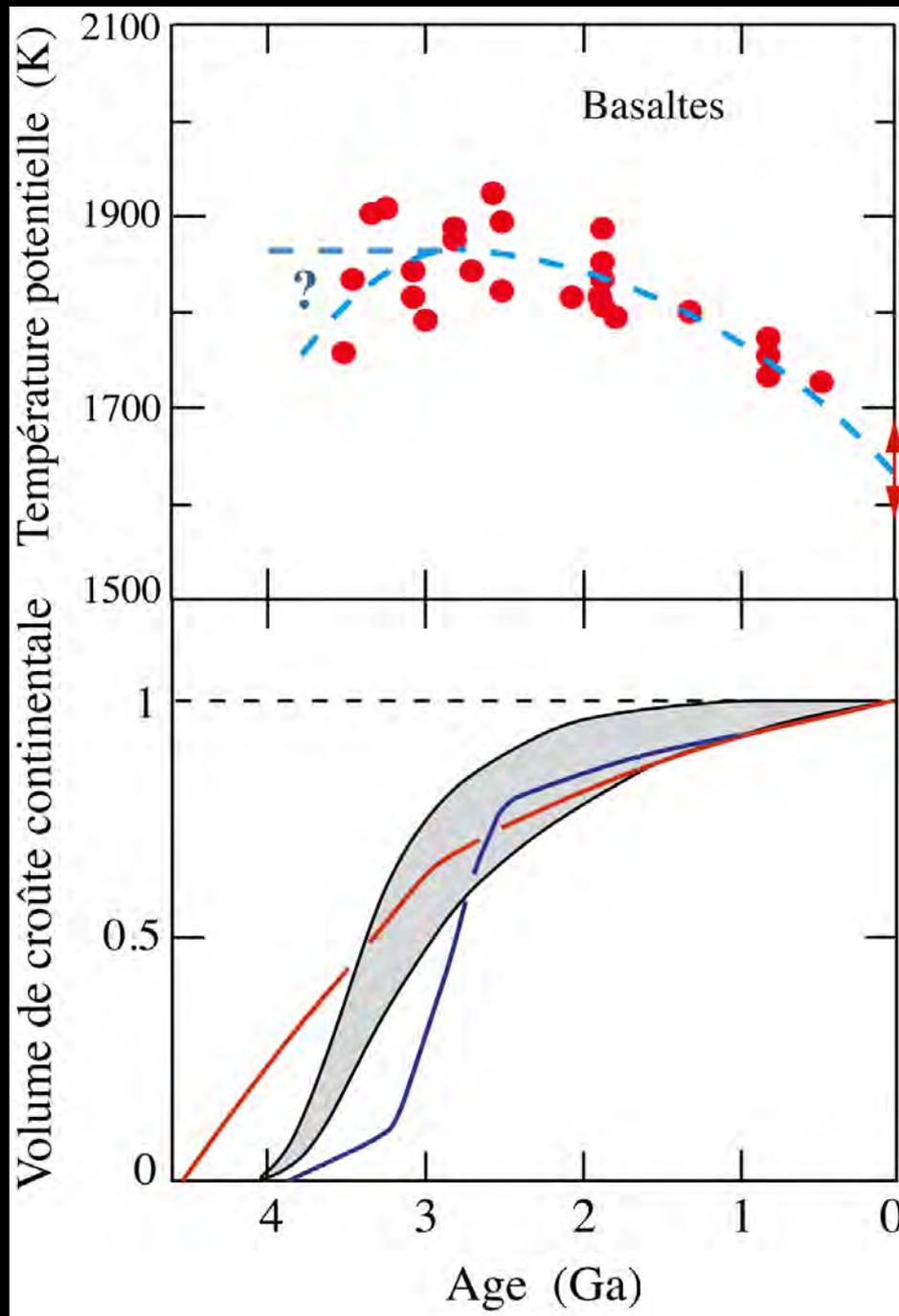
Quelques caractéristiques fondamentales de la Terre en tant qu'objet d'études scientifiques. II.

Les roches

1. ont la vie dure : leur mémoire est importante.
2. peuvent être manipulées, mesurées etc...

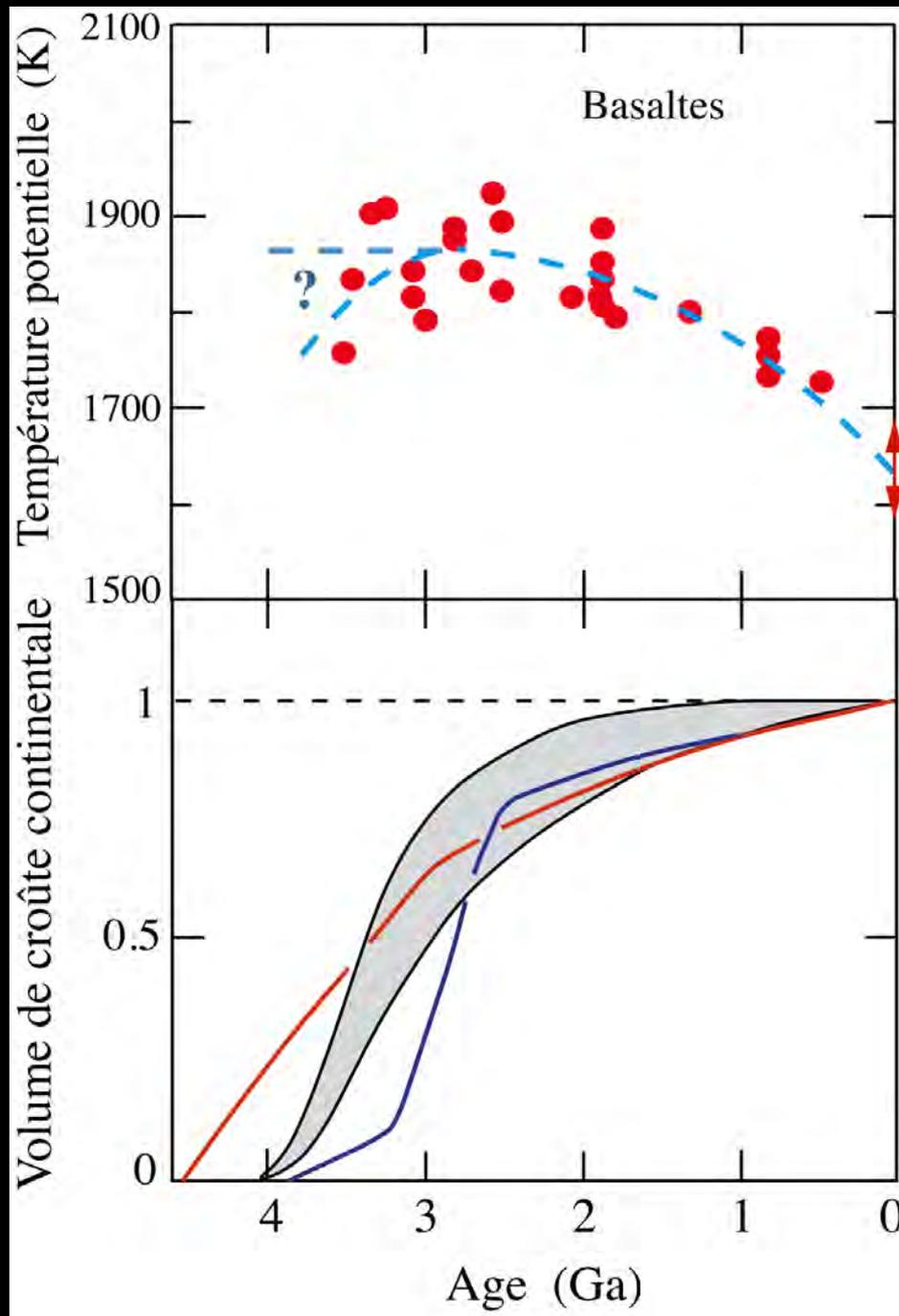
EVOLUTION "SECU LAIRE"

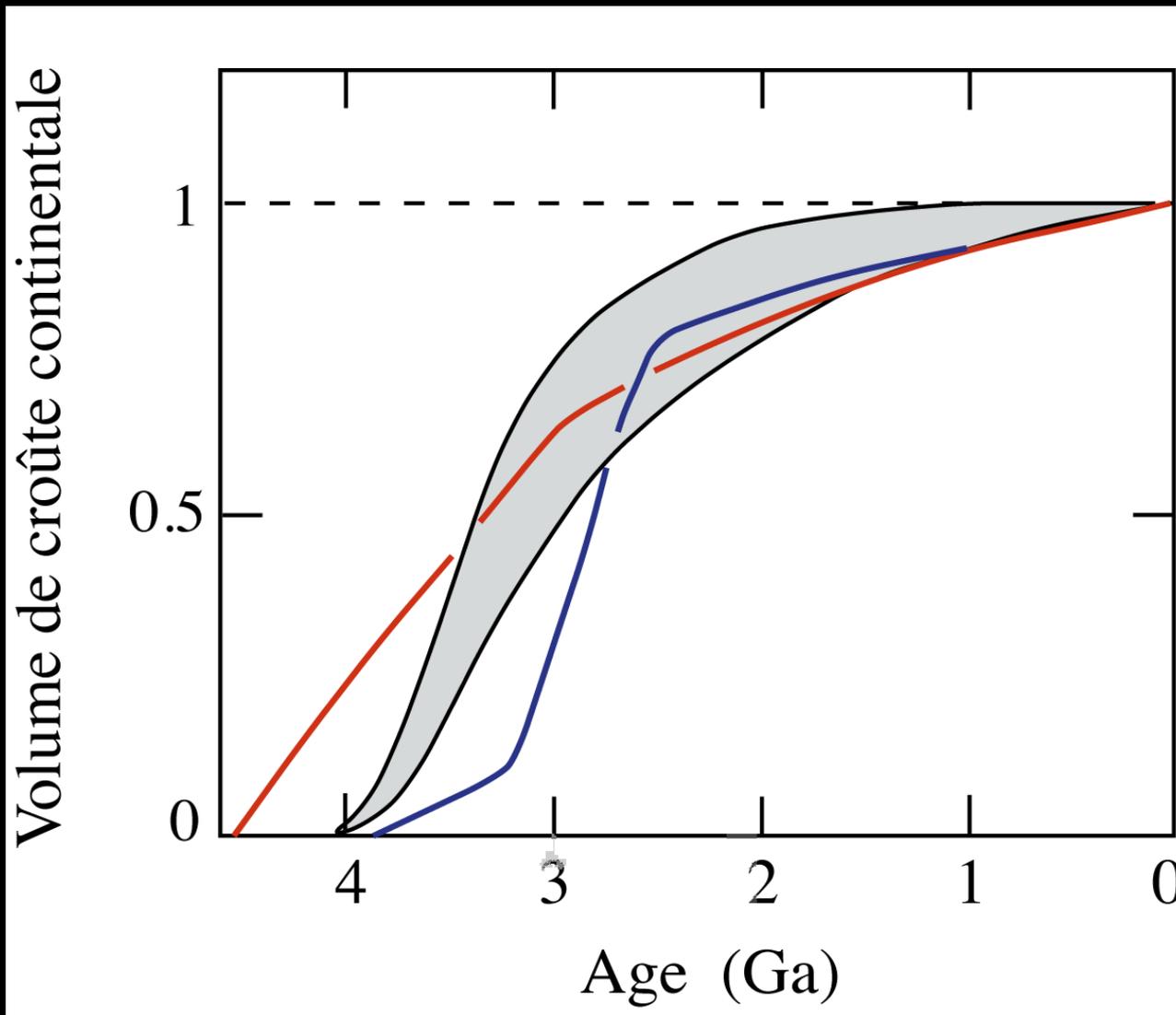
Déperdition d'énergie
Refroidissement
Croissance des continents
Changement de régime ?



EVOLUTION "SECLAIRE"

Déperdition d'énergie
Refroidissement
Croissance des continents
Changement de régime ?

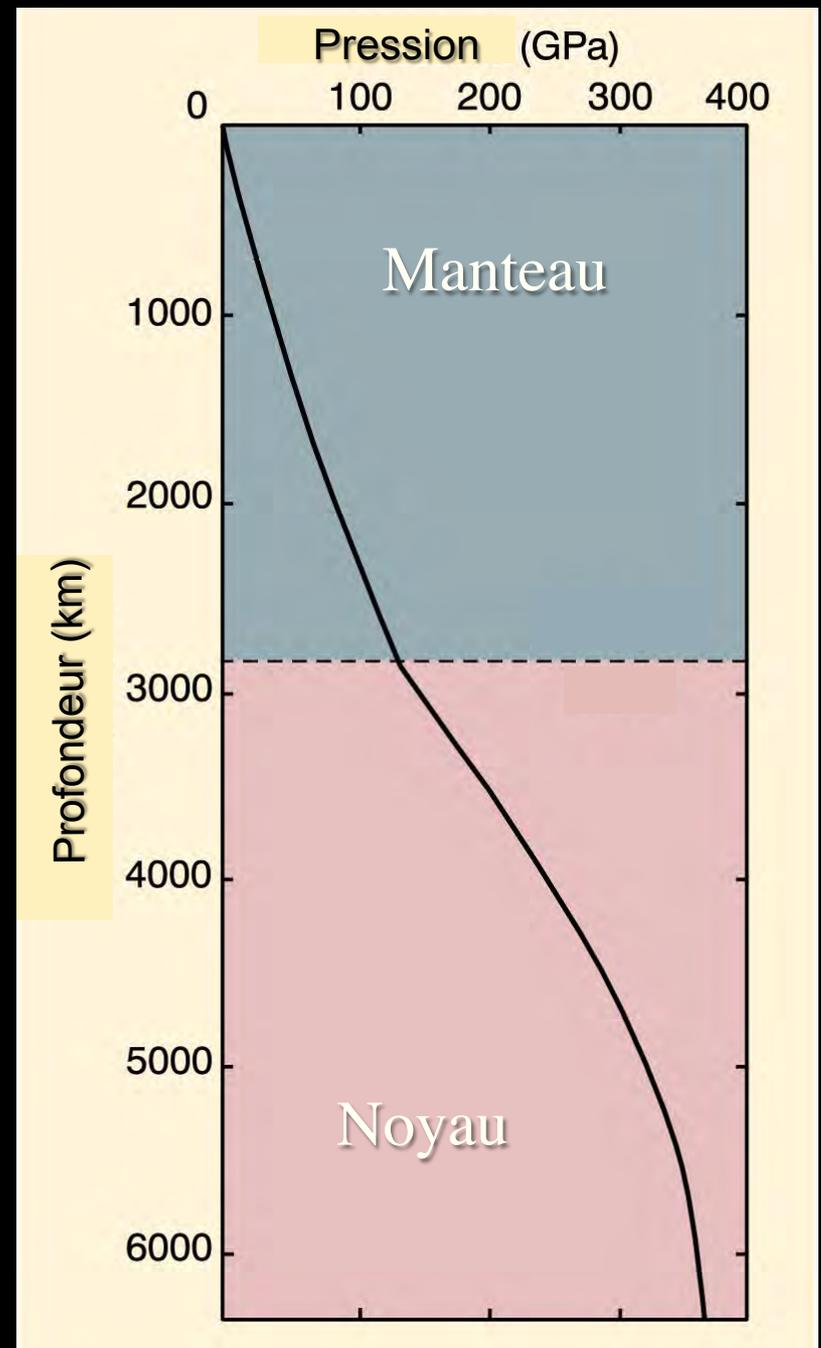


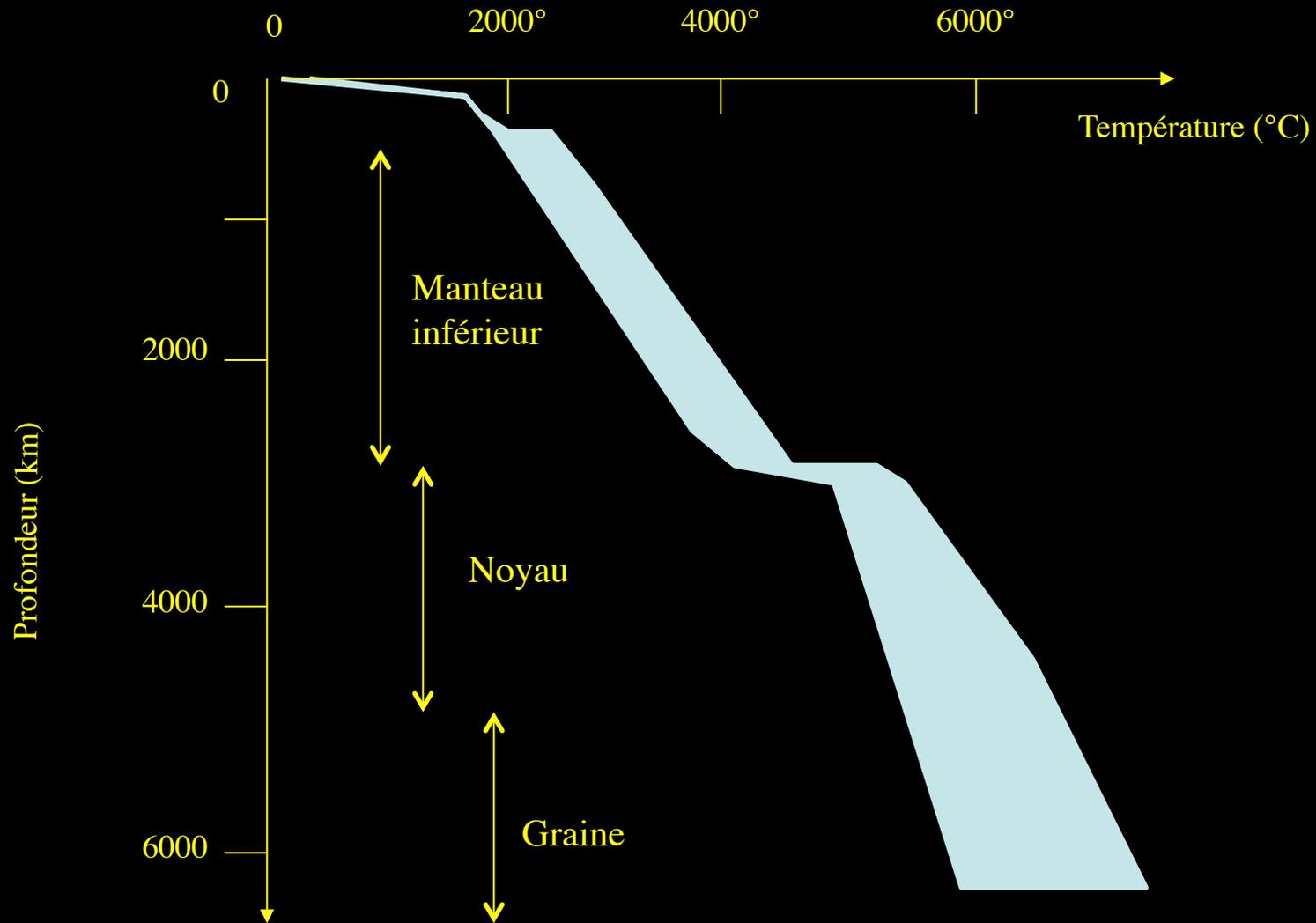


Croissance “nette”
résultante de création et destruction

La pression dans la Terre

- 1 GPa à la base de la croûte
($10^9 \text{ Pa} = 10^4 \times P_{\text{atm}}$)
- Manteau
P augmente $\sim 30 \text{ MPa/km}$





La température potentielle de la Terre

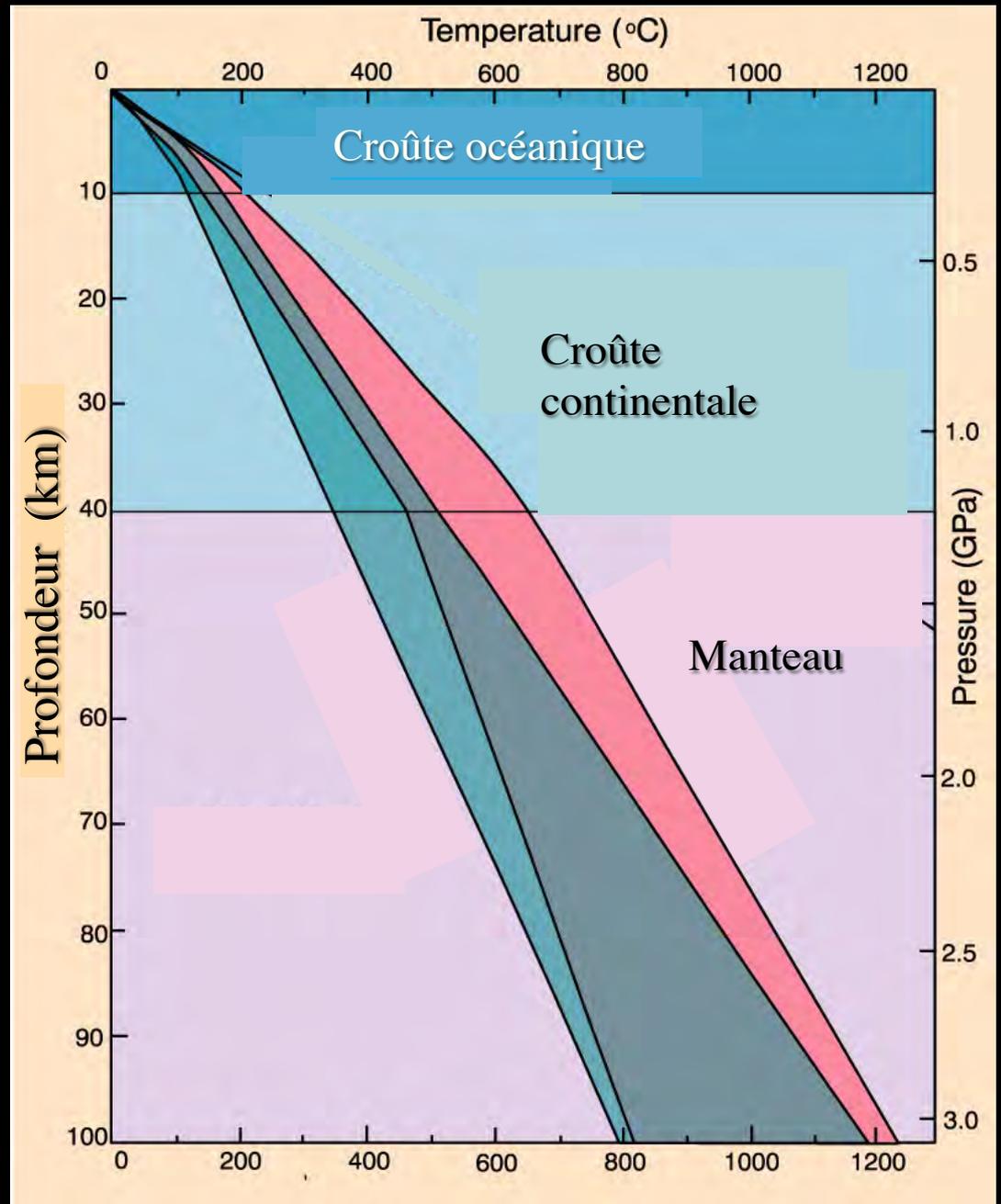
T(K)	Méthode
1590	Flux de chaleur et profondeur des fonds marins
1590 – 1750	Composition(s) des laves de dorsales océaniques
1550 – 1650	Isentrope passant par le changement de phase Ol-Wa

DEFORMATION

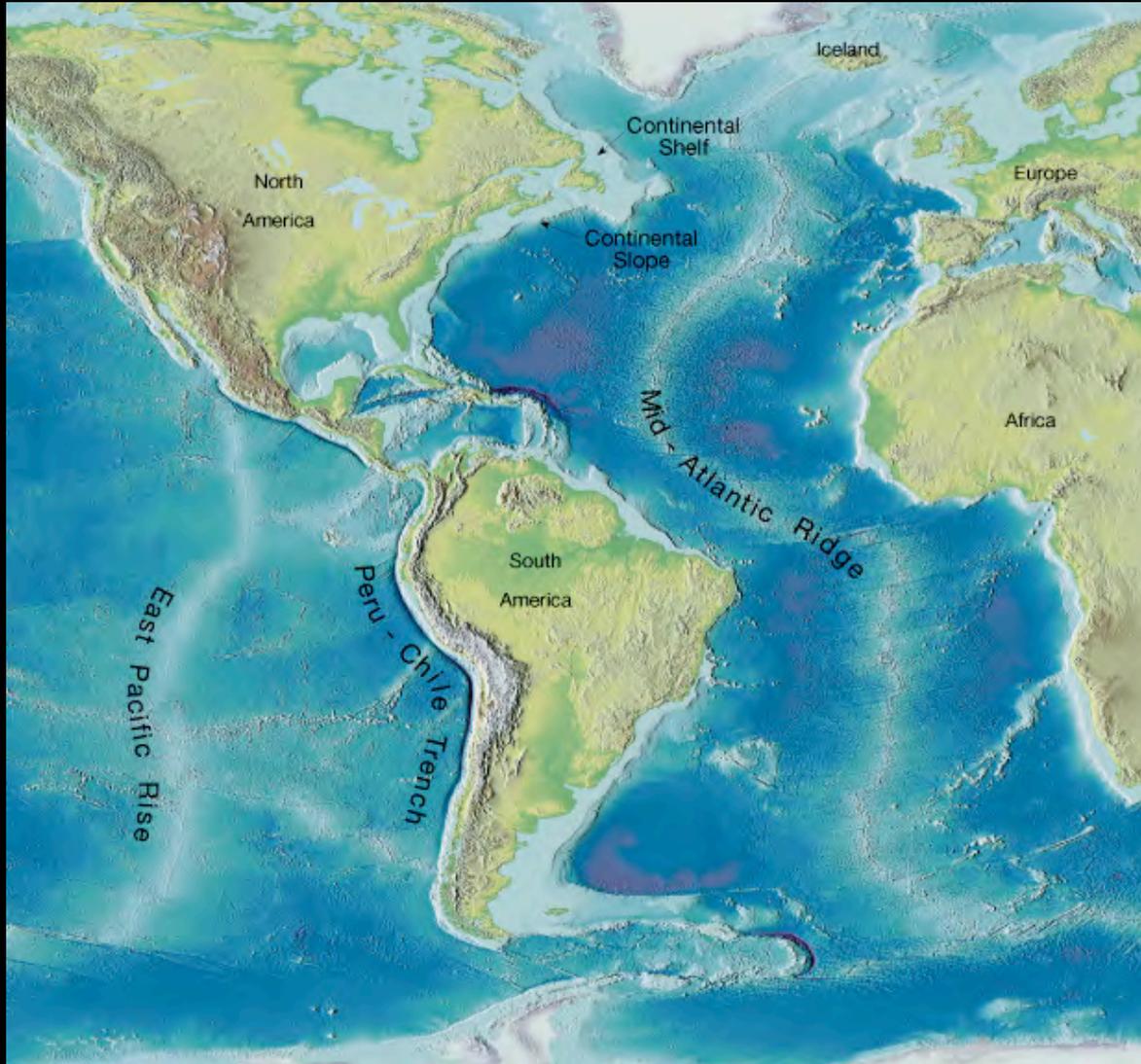
Elastique-cassant

Plastique-ductile

Fluage



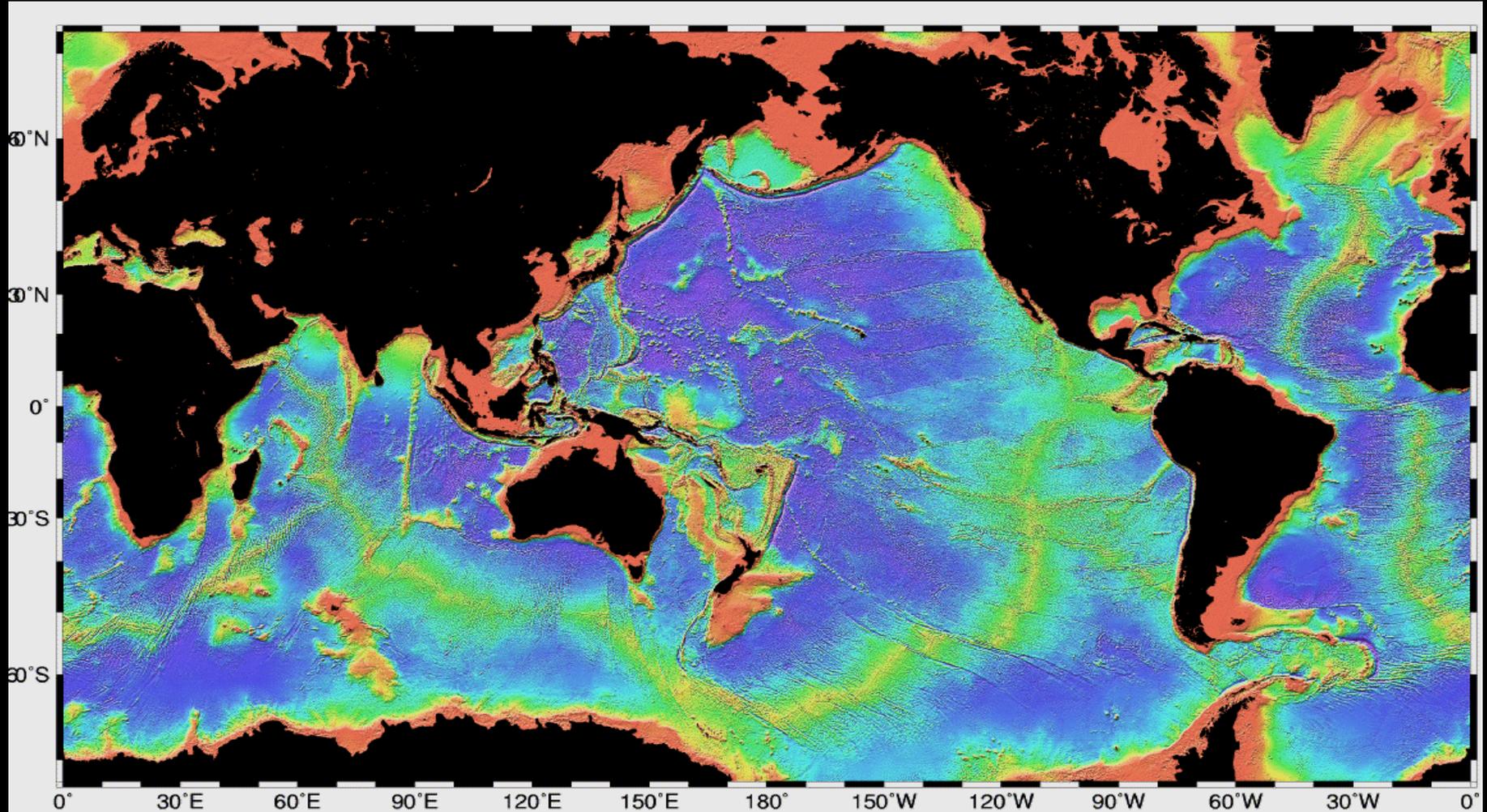
Relief terrestre



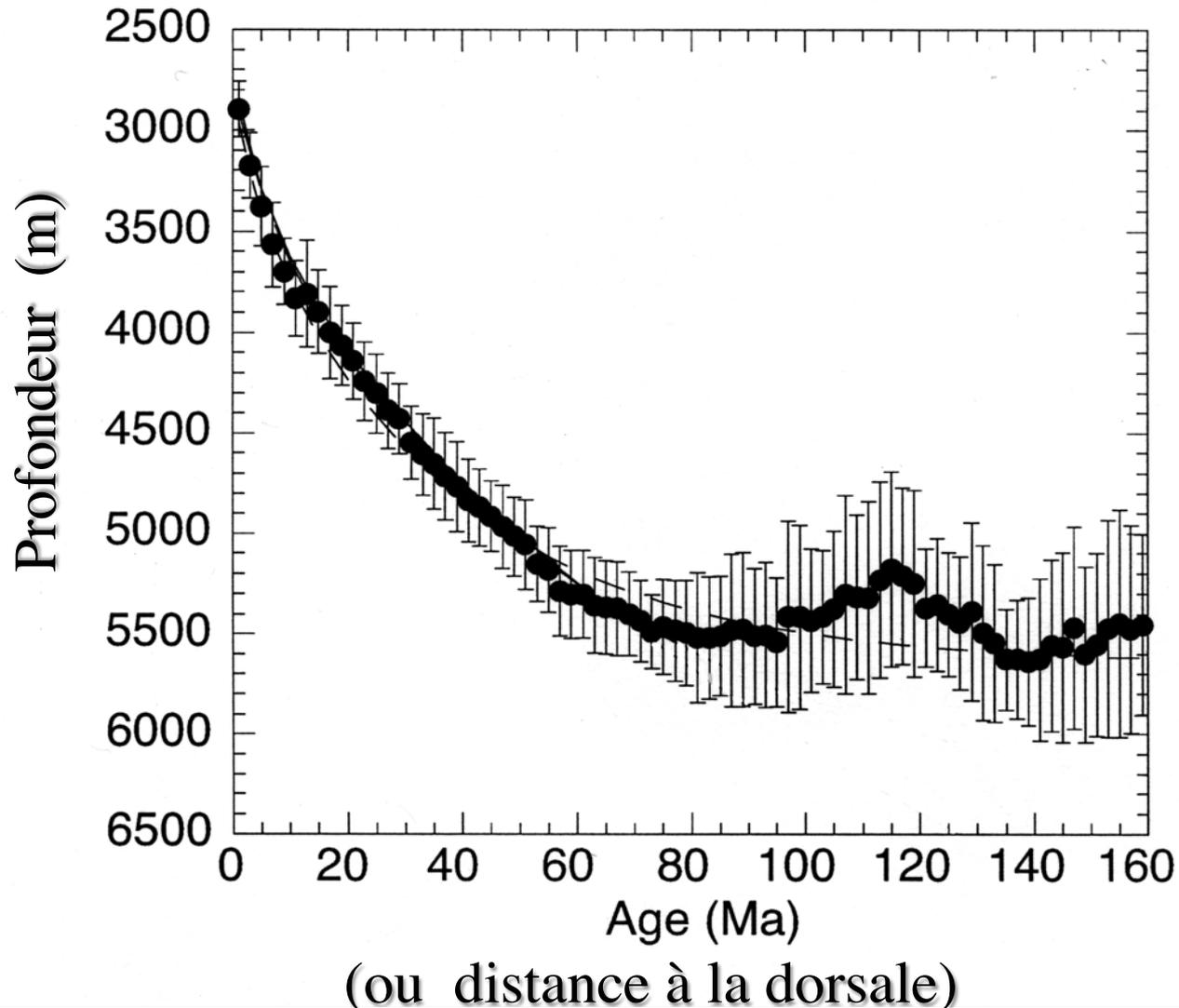
Subdivision 1
Continents
Bassins océaniques

Subdivision 2
Continents:
Chaînes de Montagne
Fossés (Rhin)
Océans:
Dorsales
Fosses (Antilles, Japon)

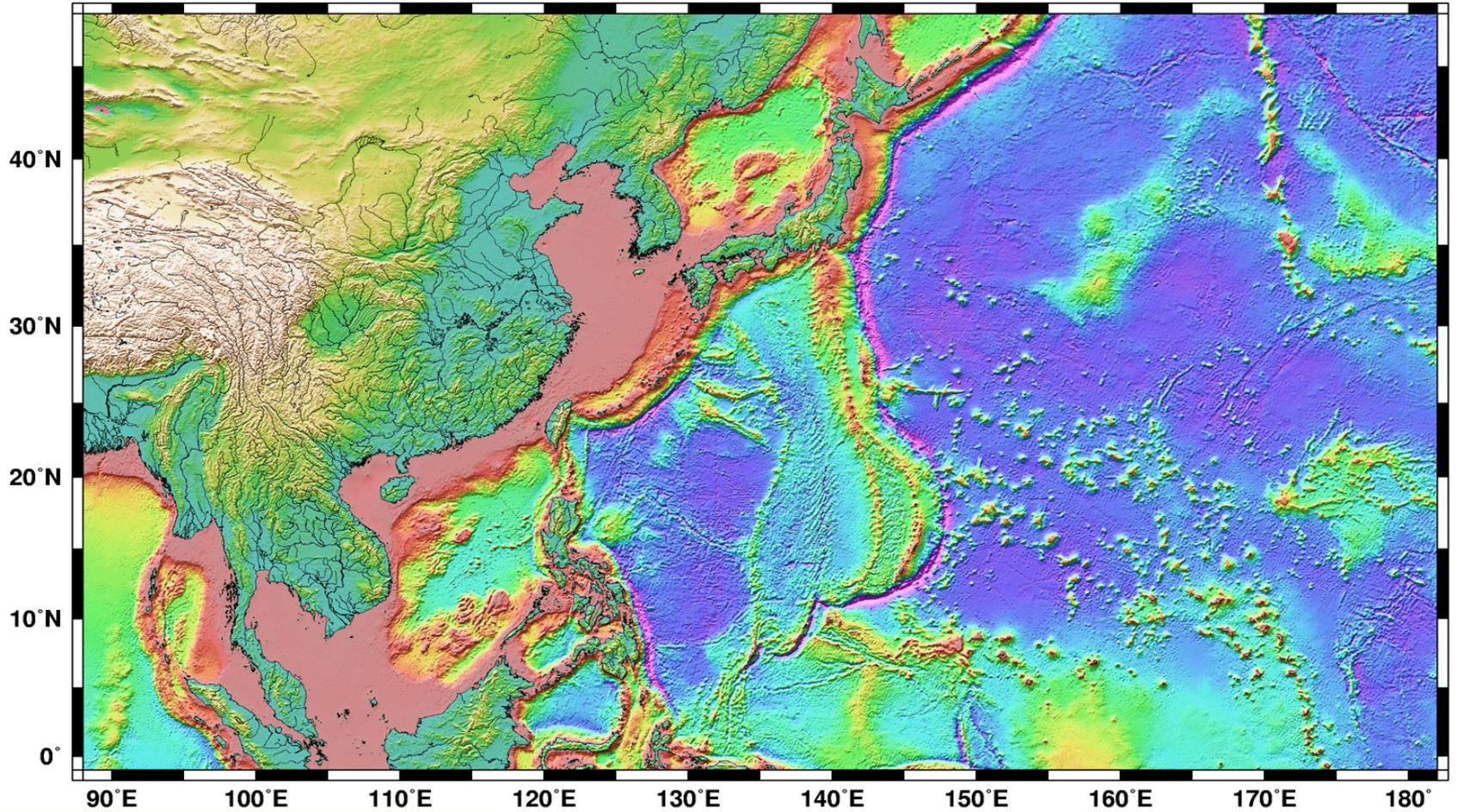
Les fonds marins



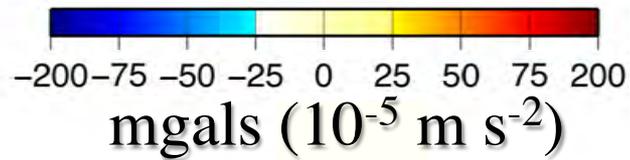
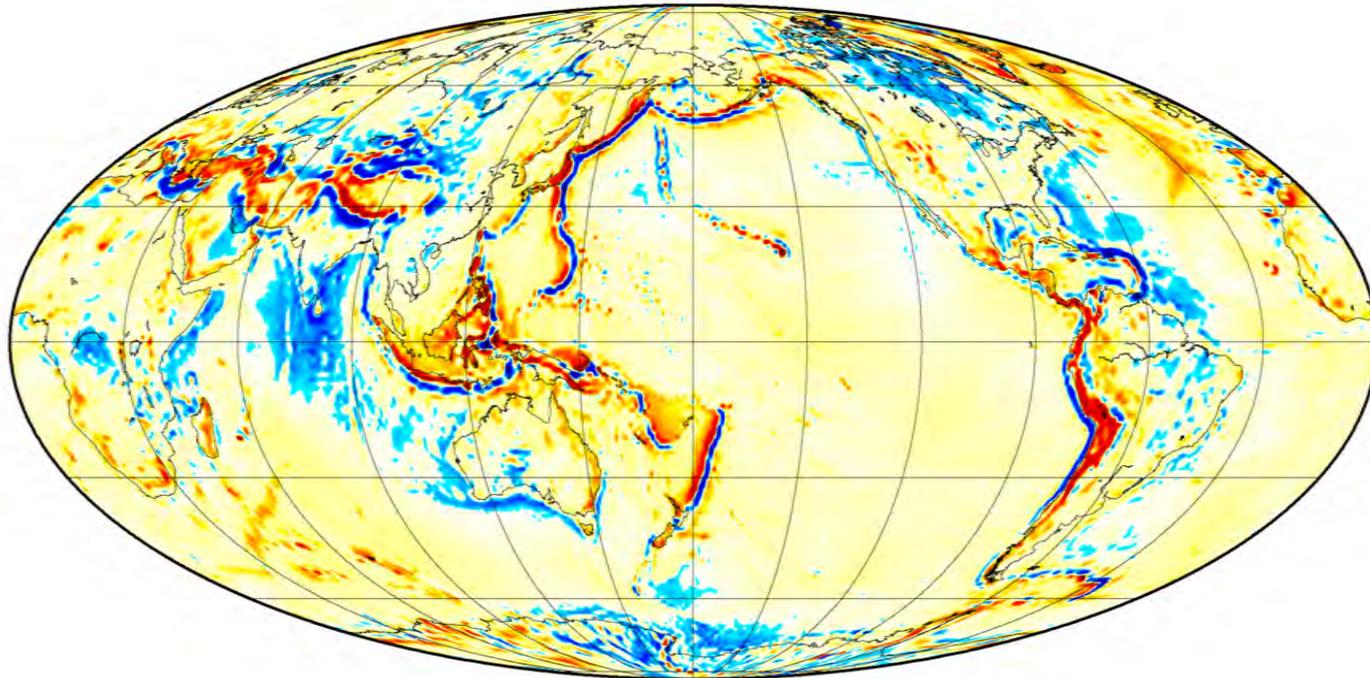
Topographie des fonds marins



Le Pacifique Ouest

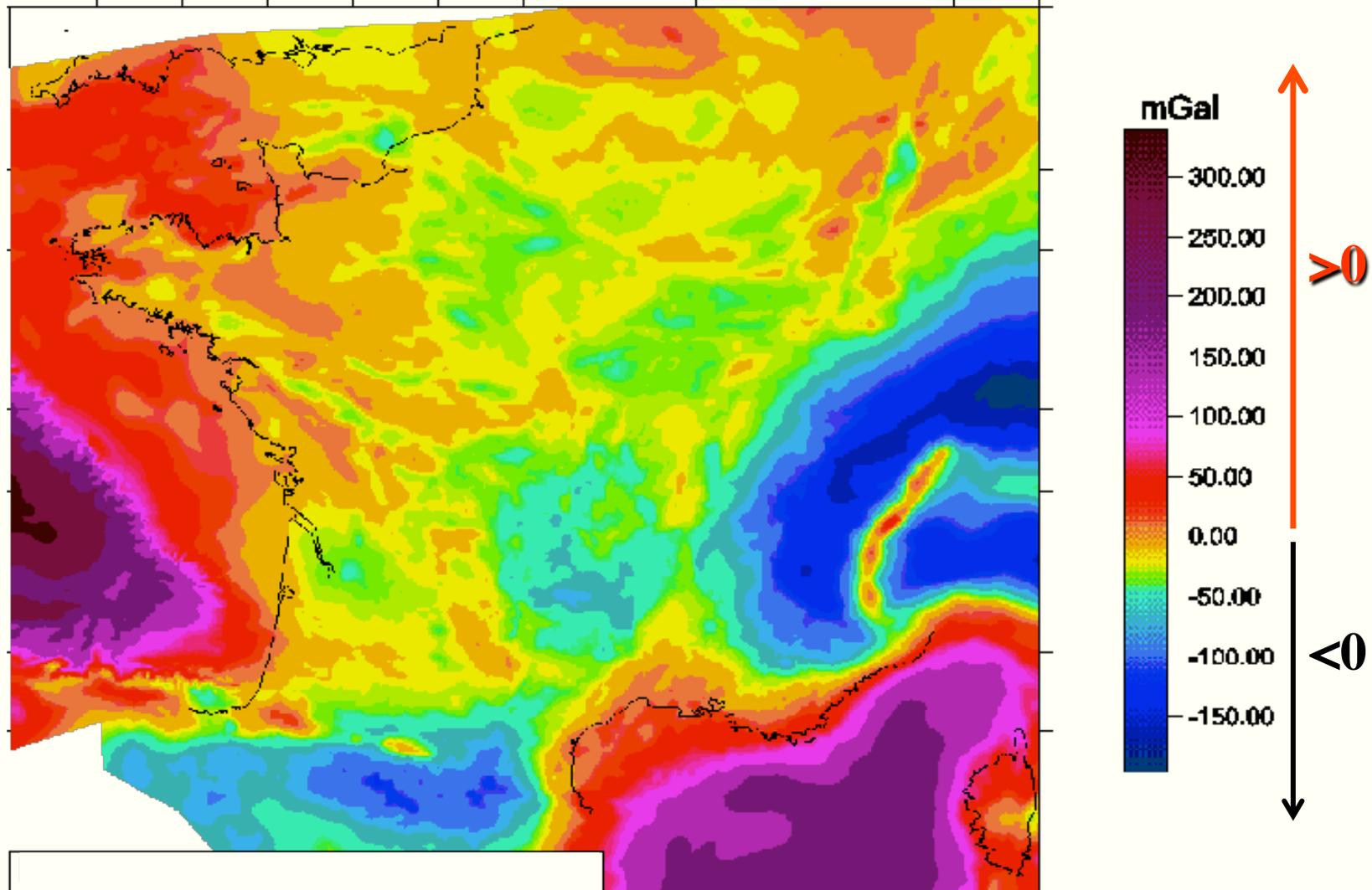


Free Air gravity

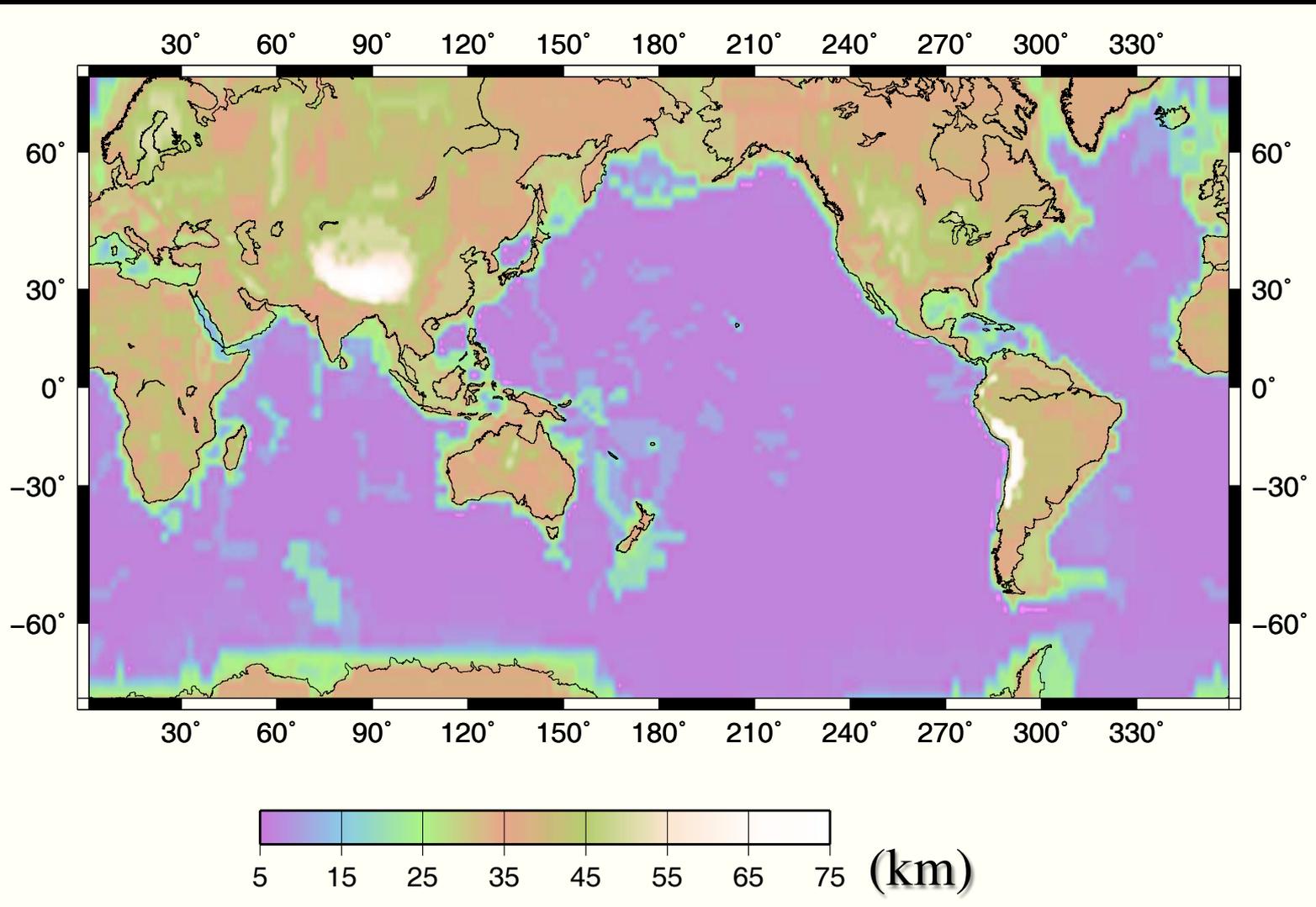


1 gal = 1 cm s^{-2}

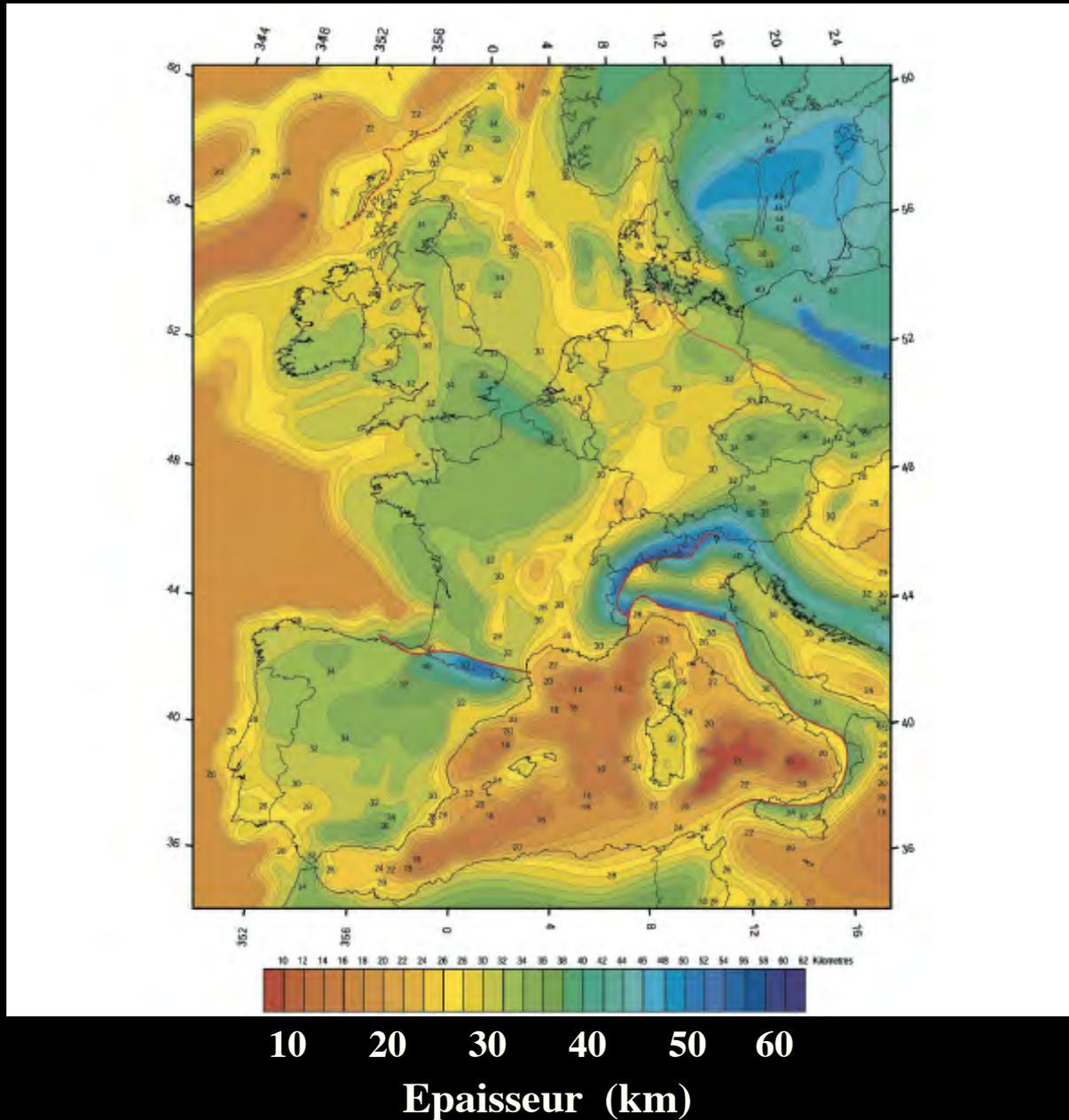
Anomalie de Bouguer (anomalie à l'air libre – relief)



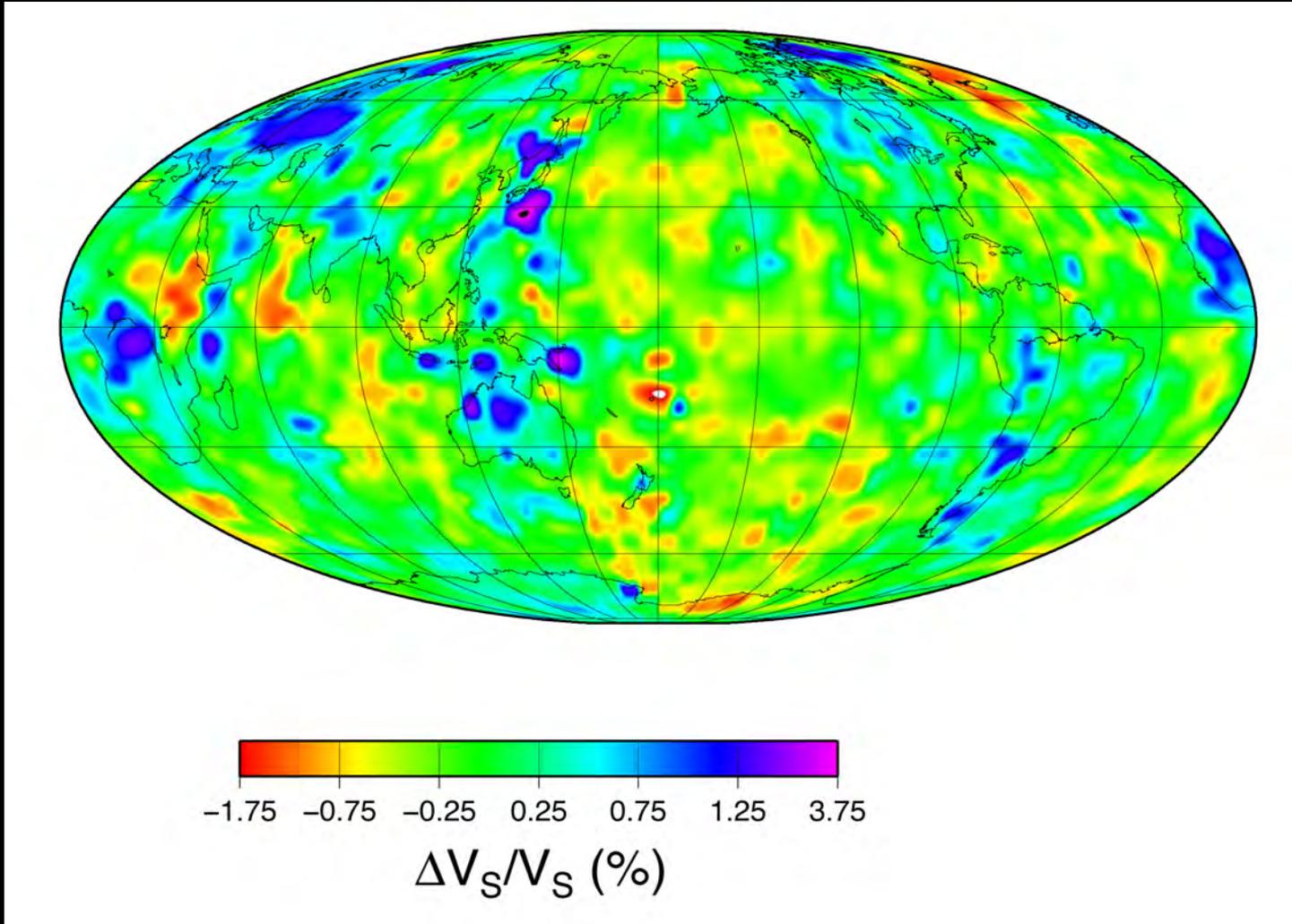
Epaisseur de la croûte terrestre



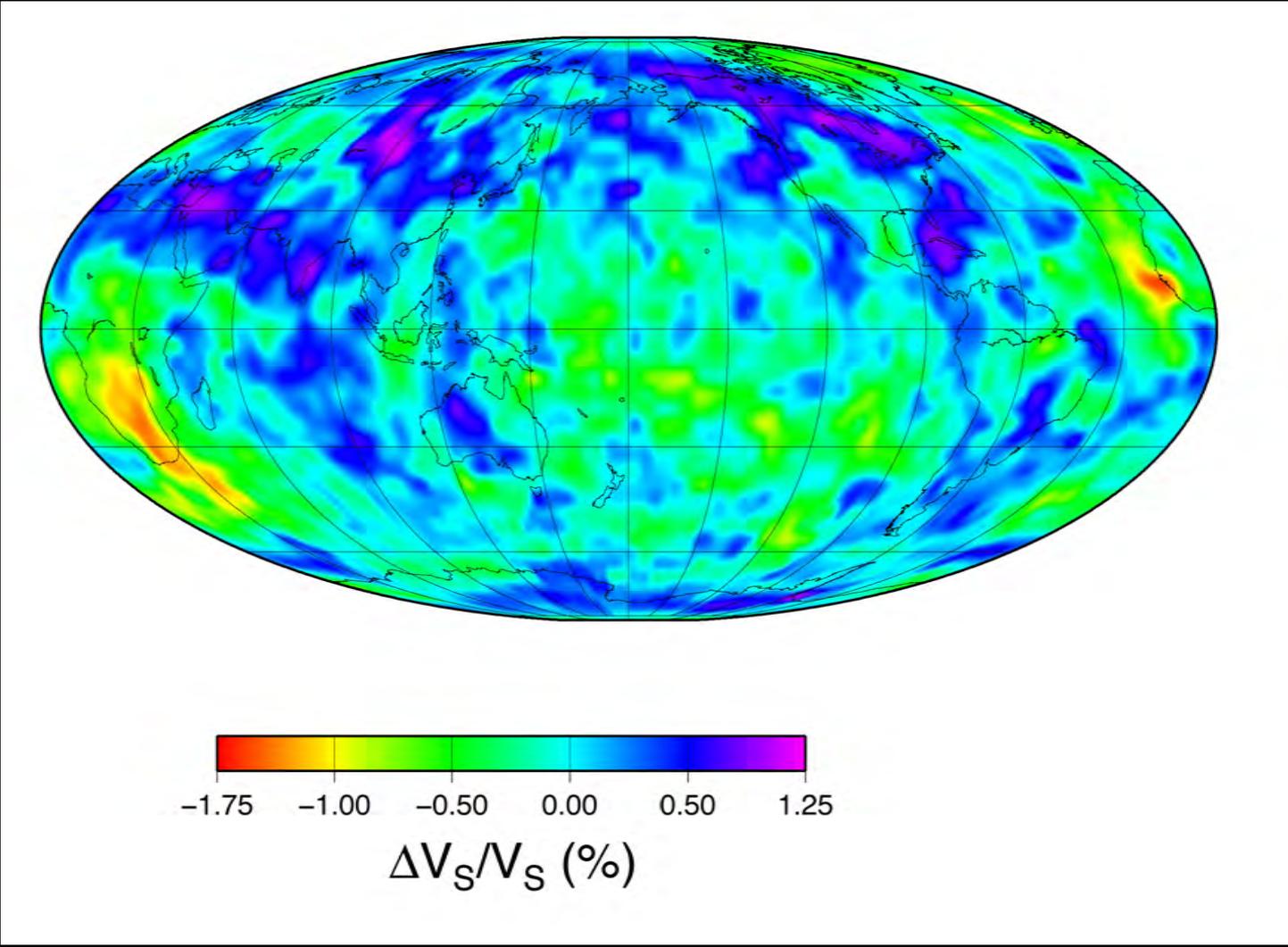
La croûte Européenne



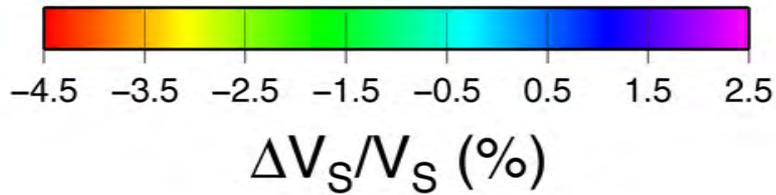
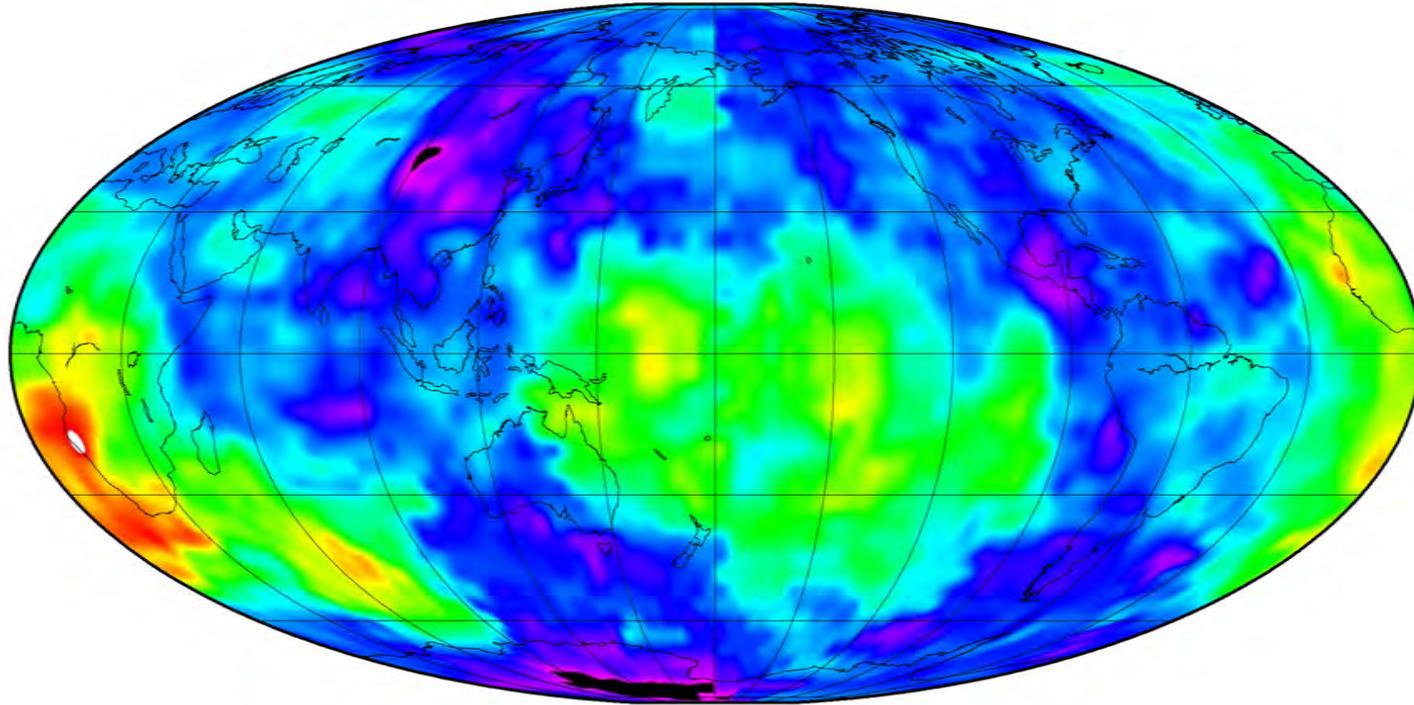
Anomalies de vitesses sismiques à 350 km de profondeur



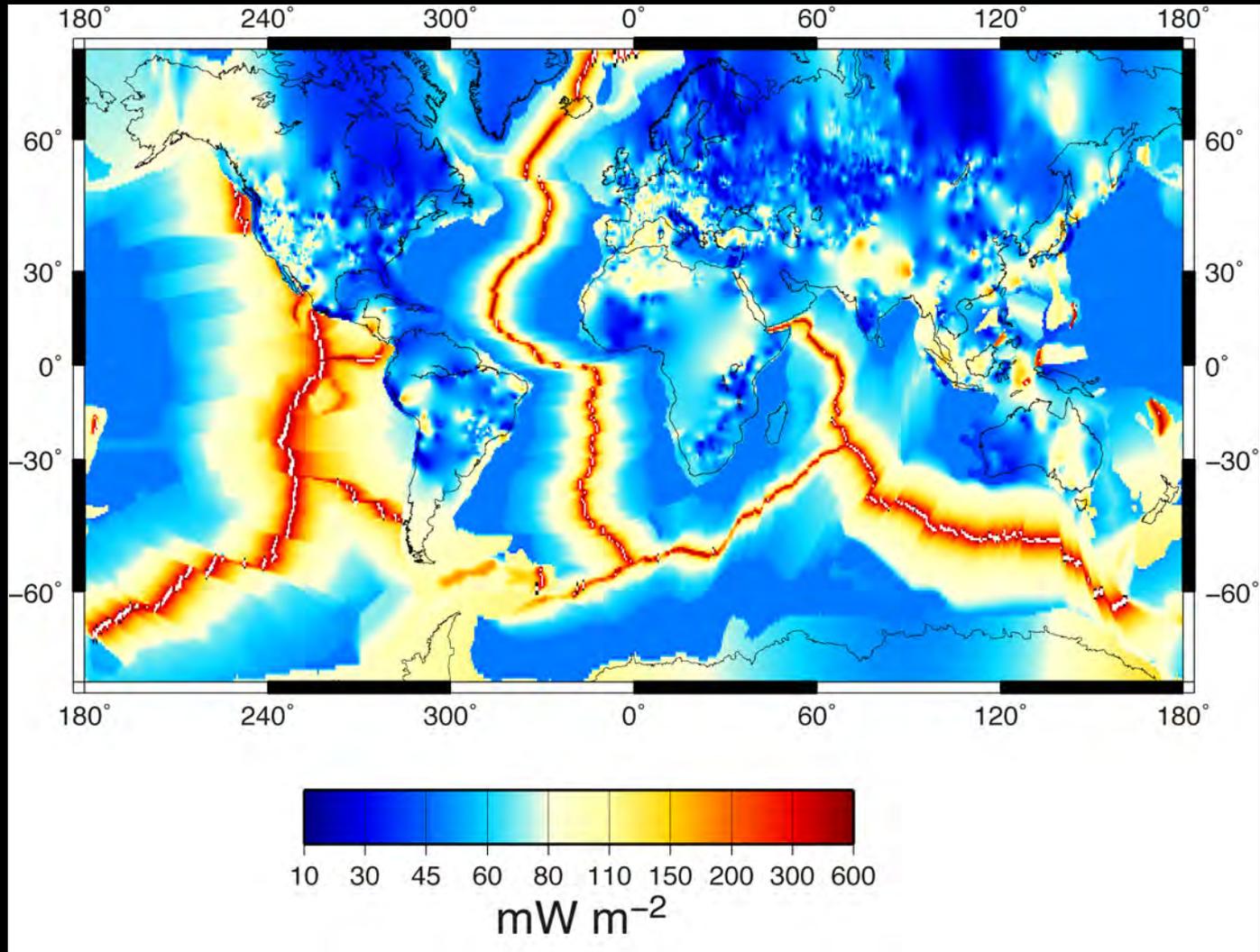
Anomalies de vitesses sismiques à 1810 km de profondeur



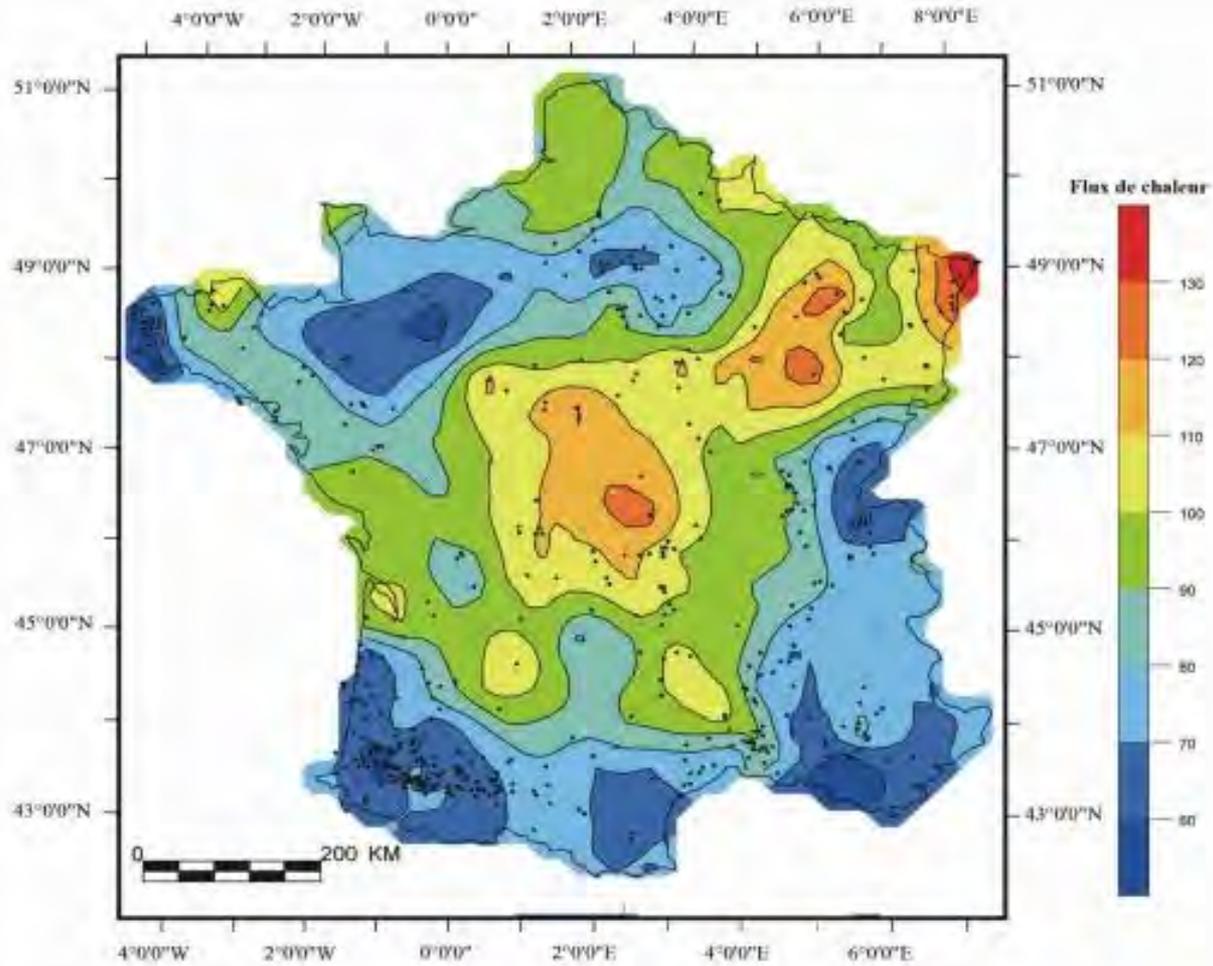
Anomalies de vitesses sismiques à 2800 km de profondeur



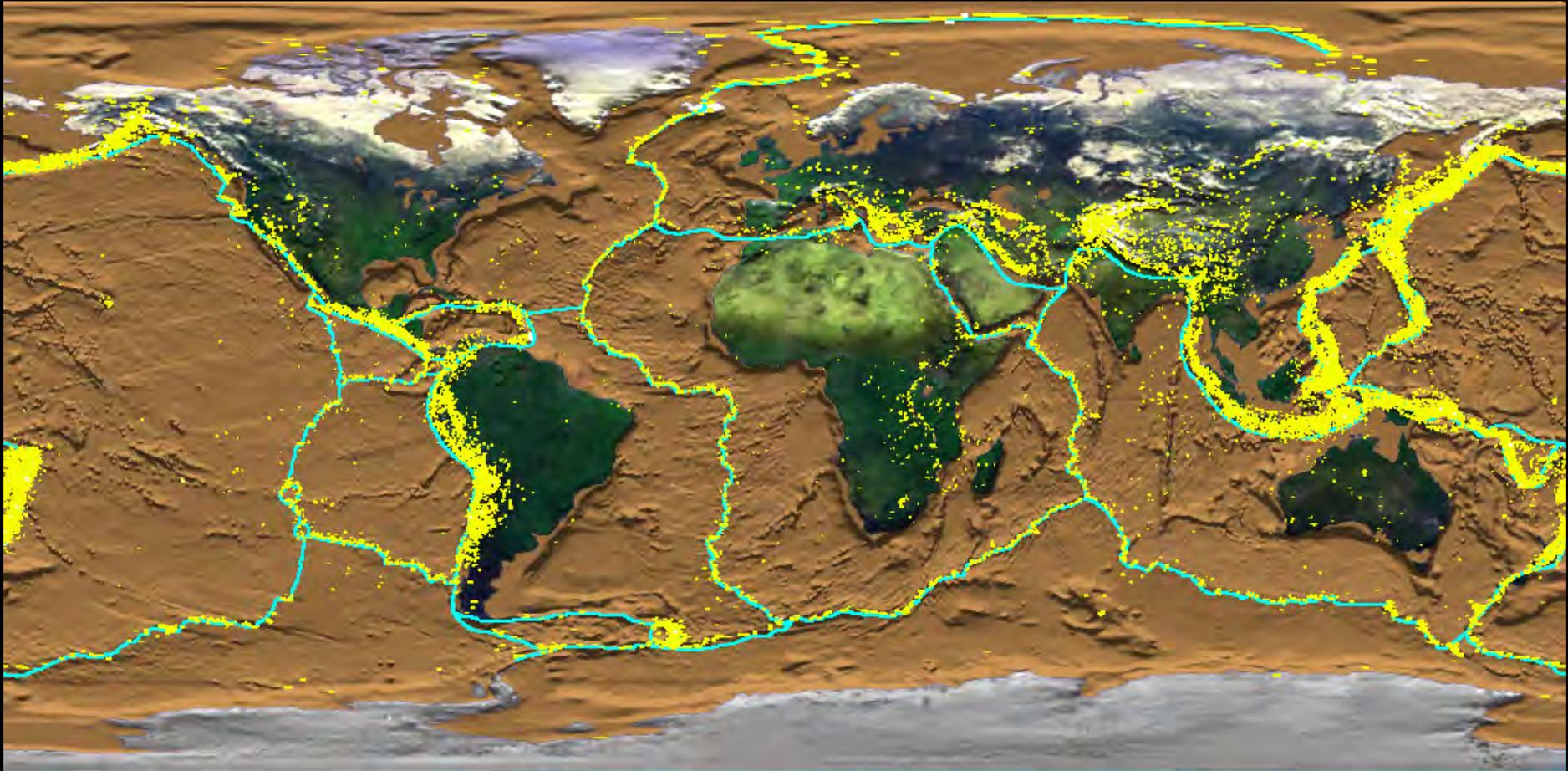
Flux de chaleur de surface

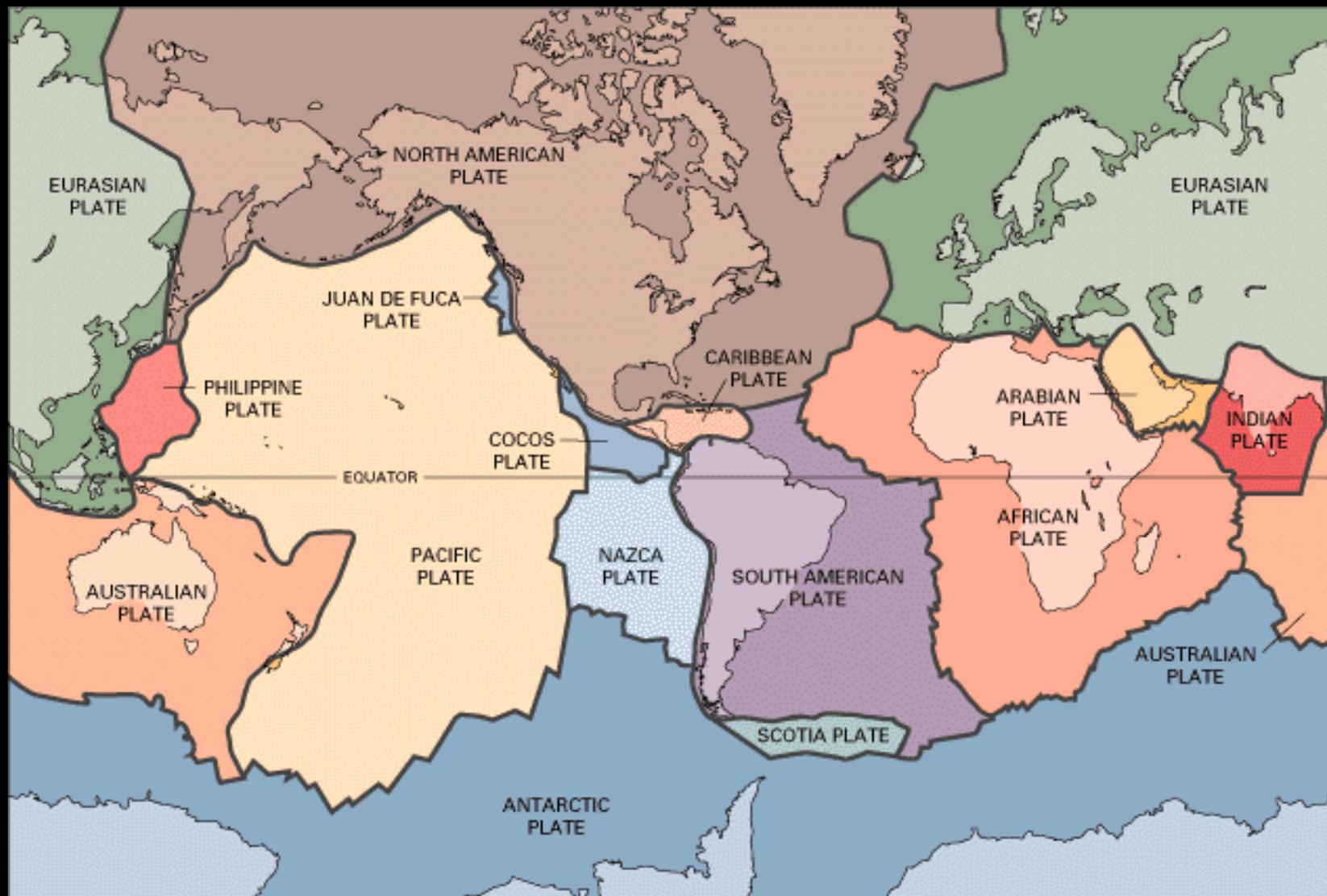


Flux de Chaleur (corrigé)

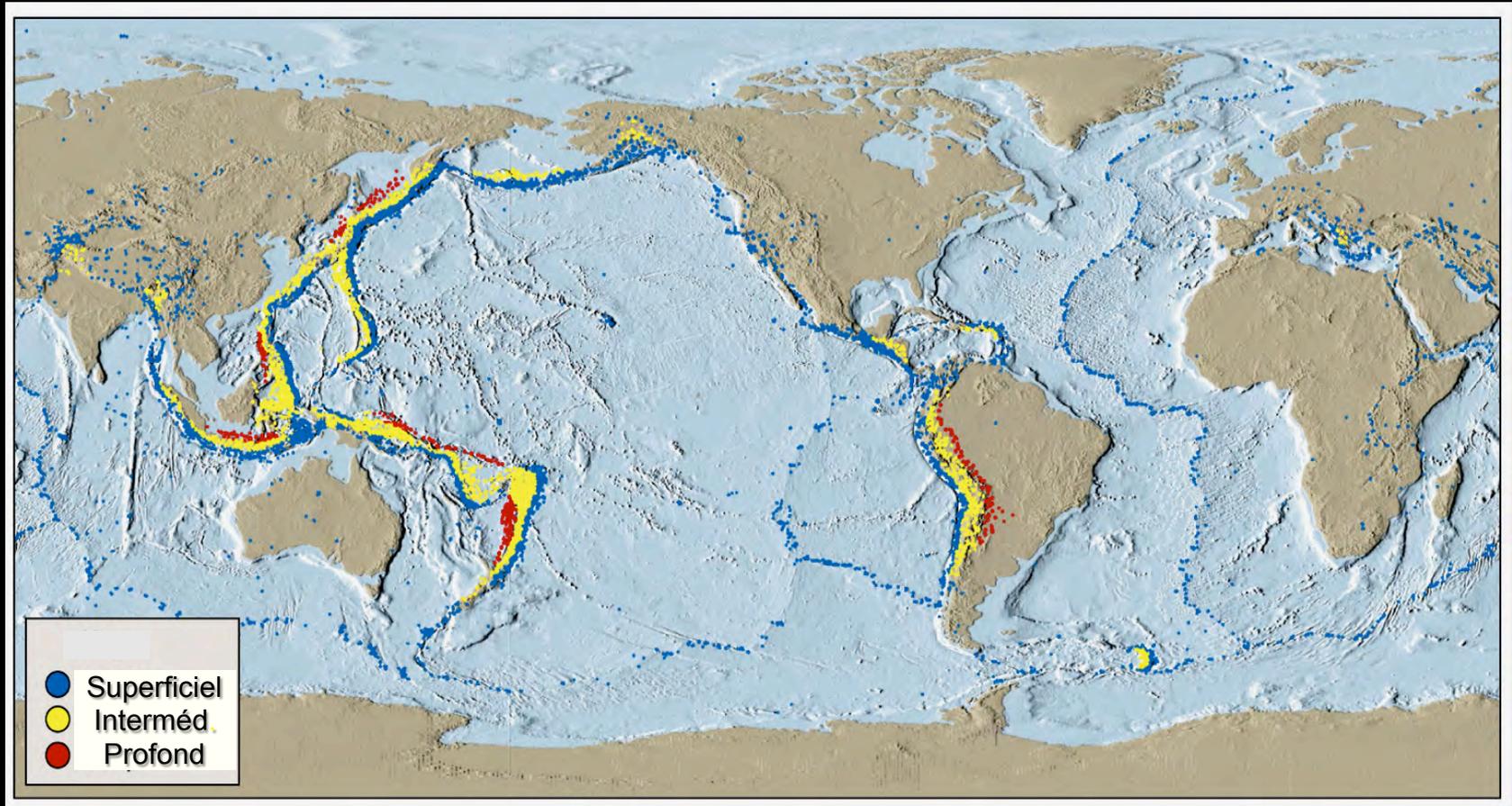


Tremblements de terre

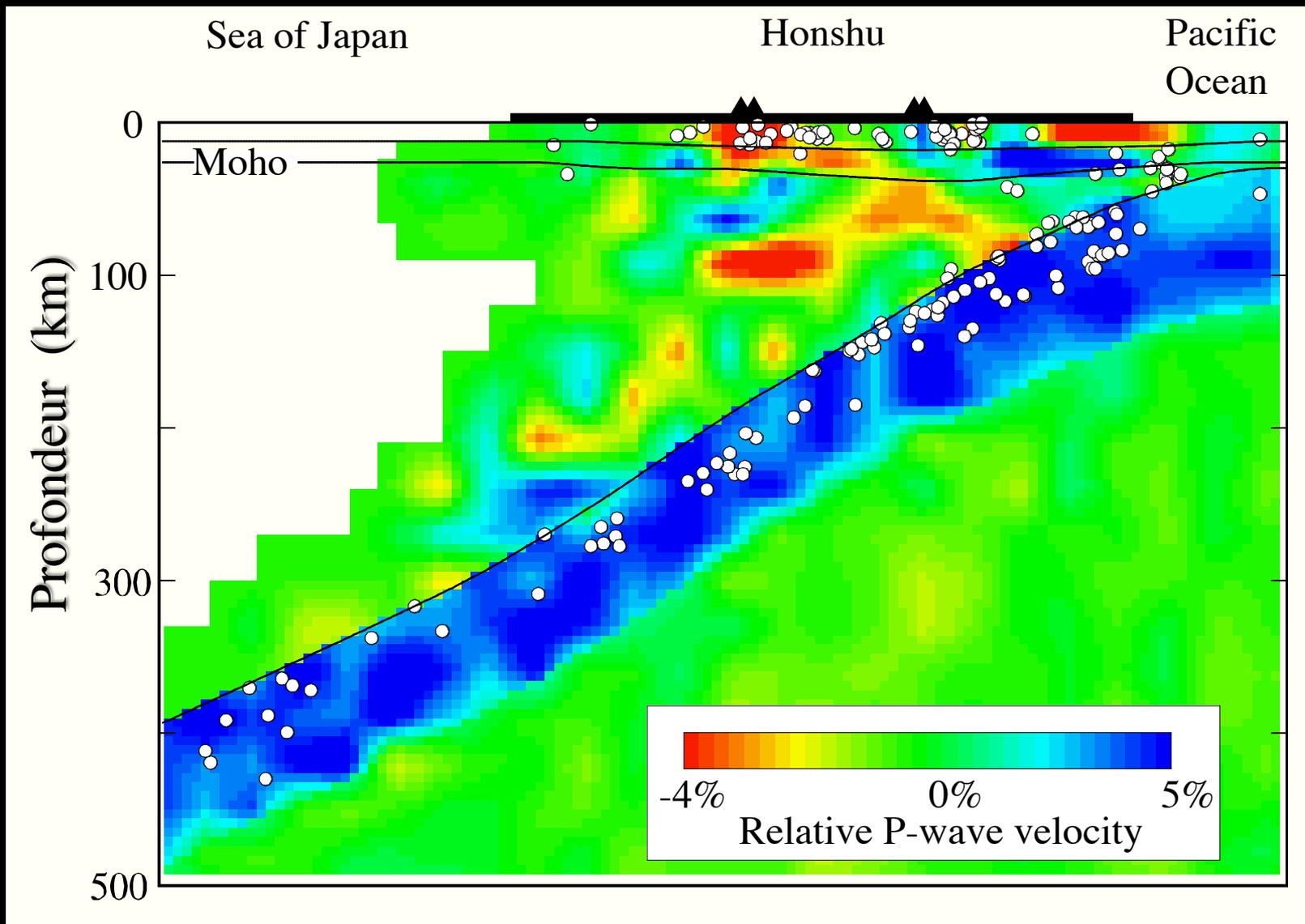




Profondeur des tremblements de Terre

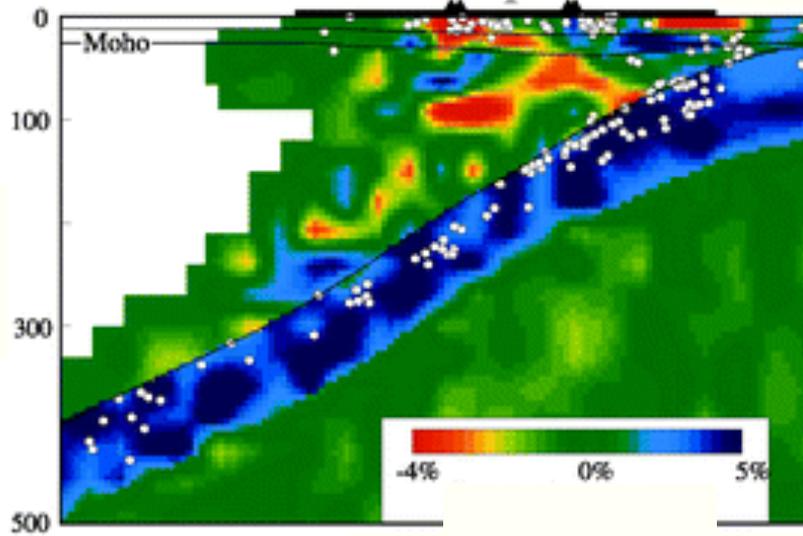


Subduction sous le Japon

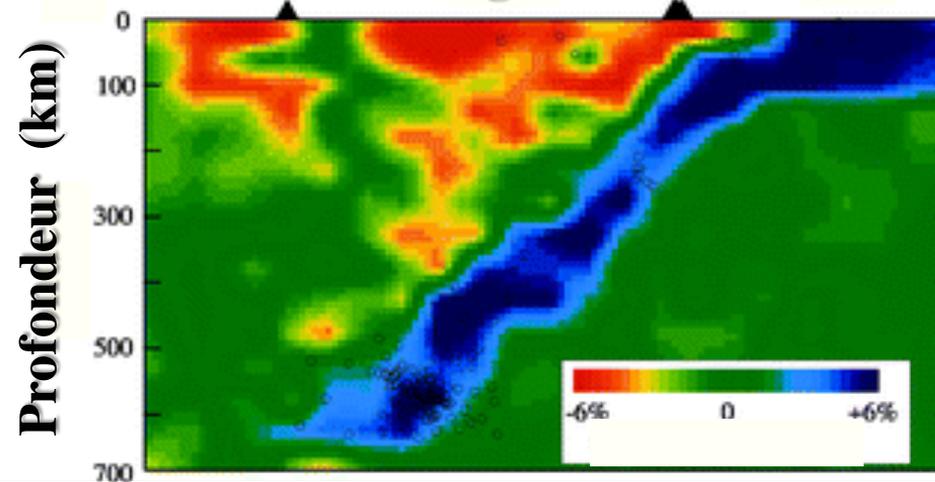


Création de croûte continentale

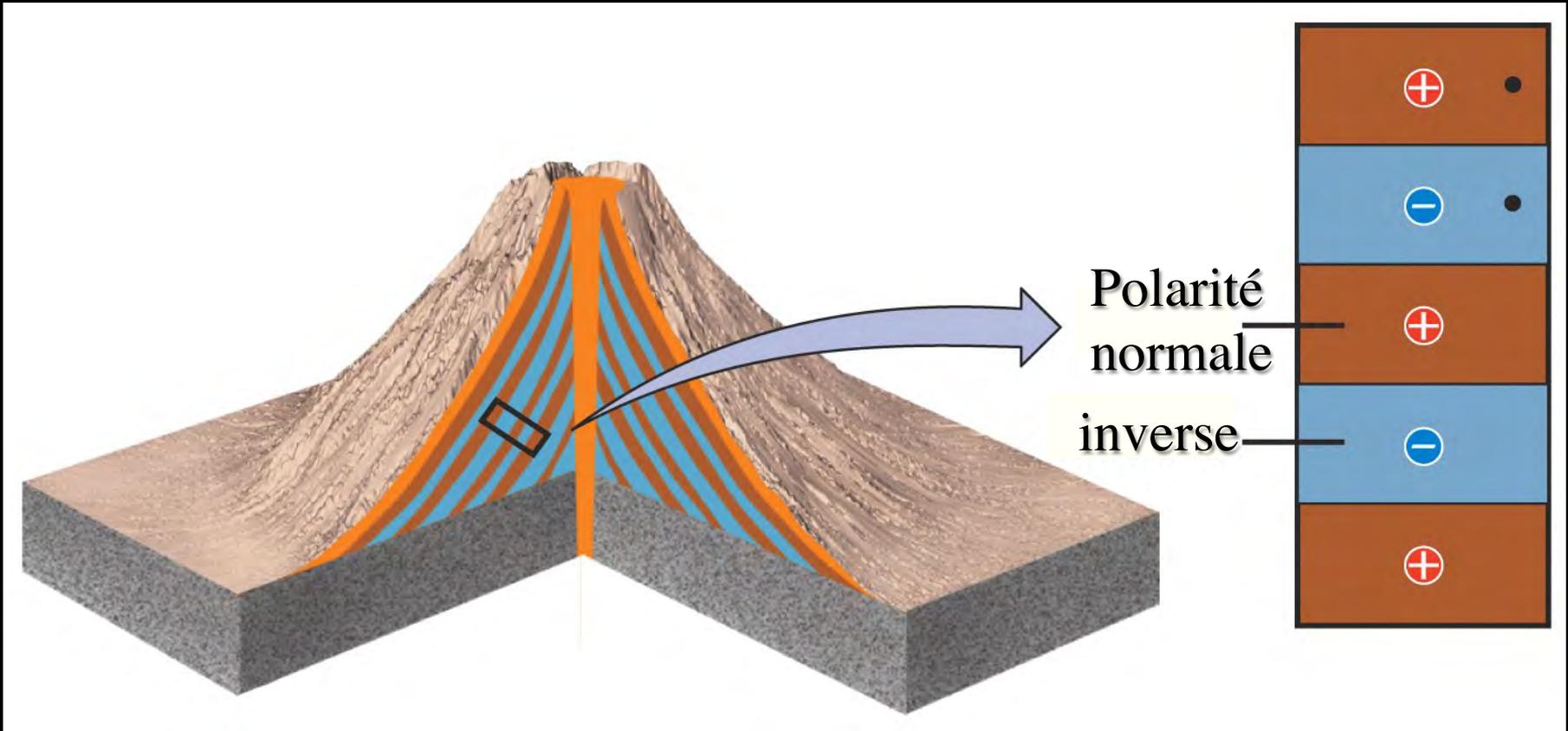
Japon



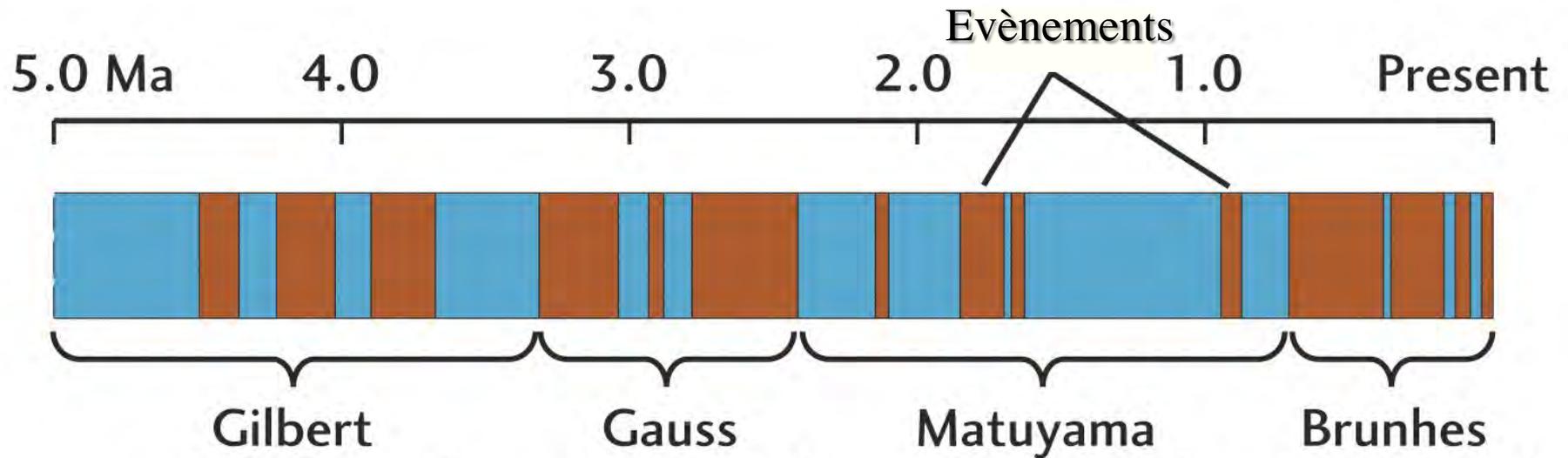
Iles Tonga (Pac. Ouest)



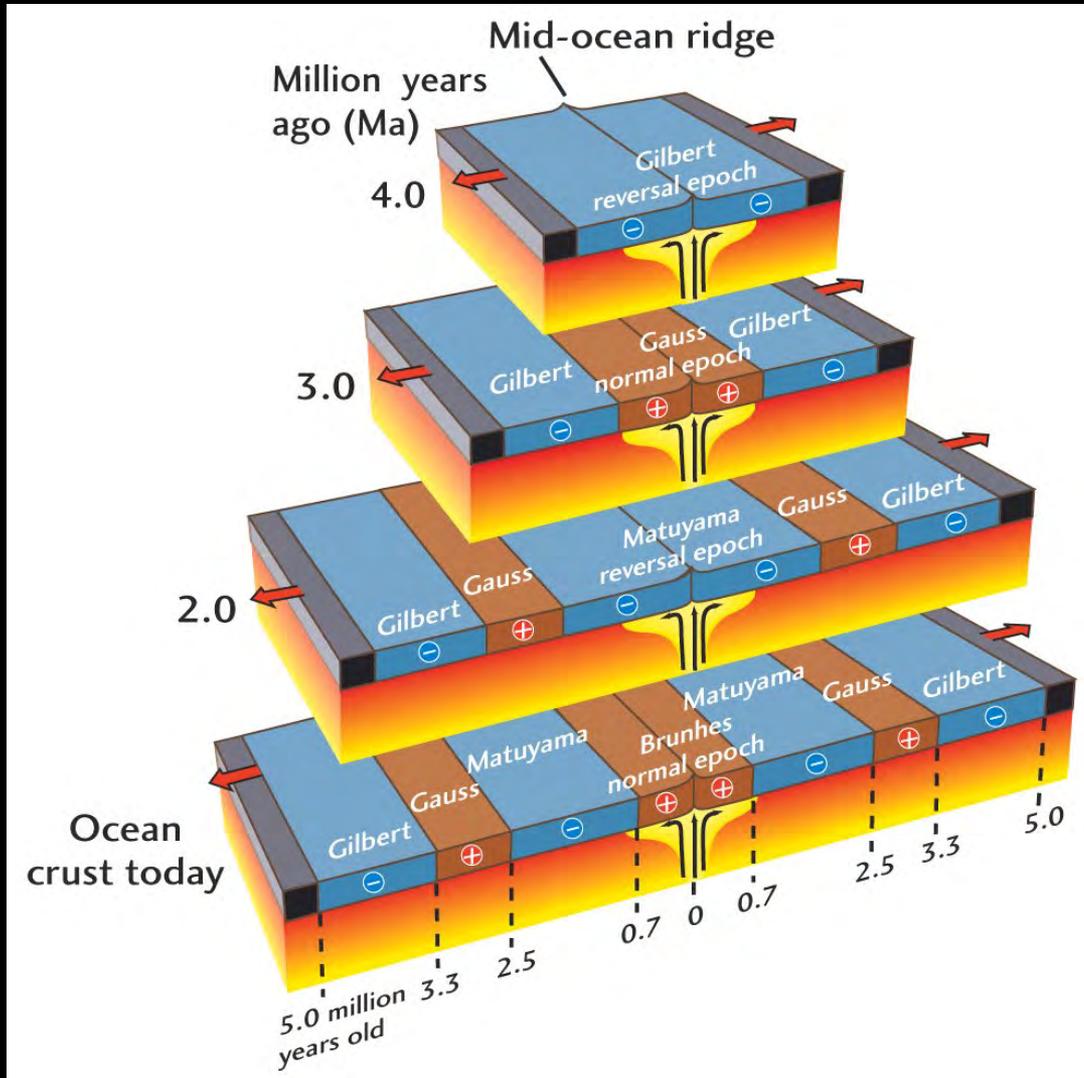
Les inversions du champ magnétique



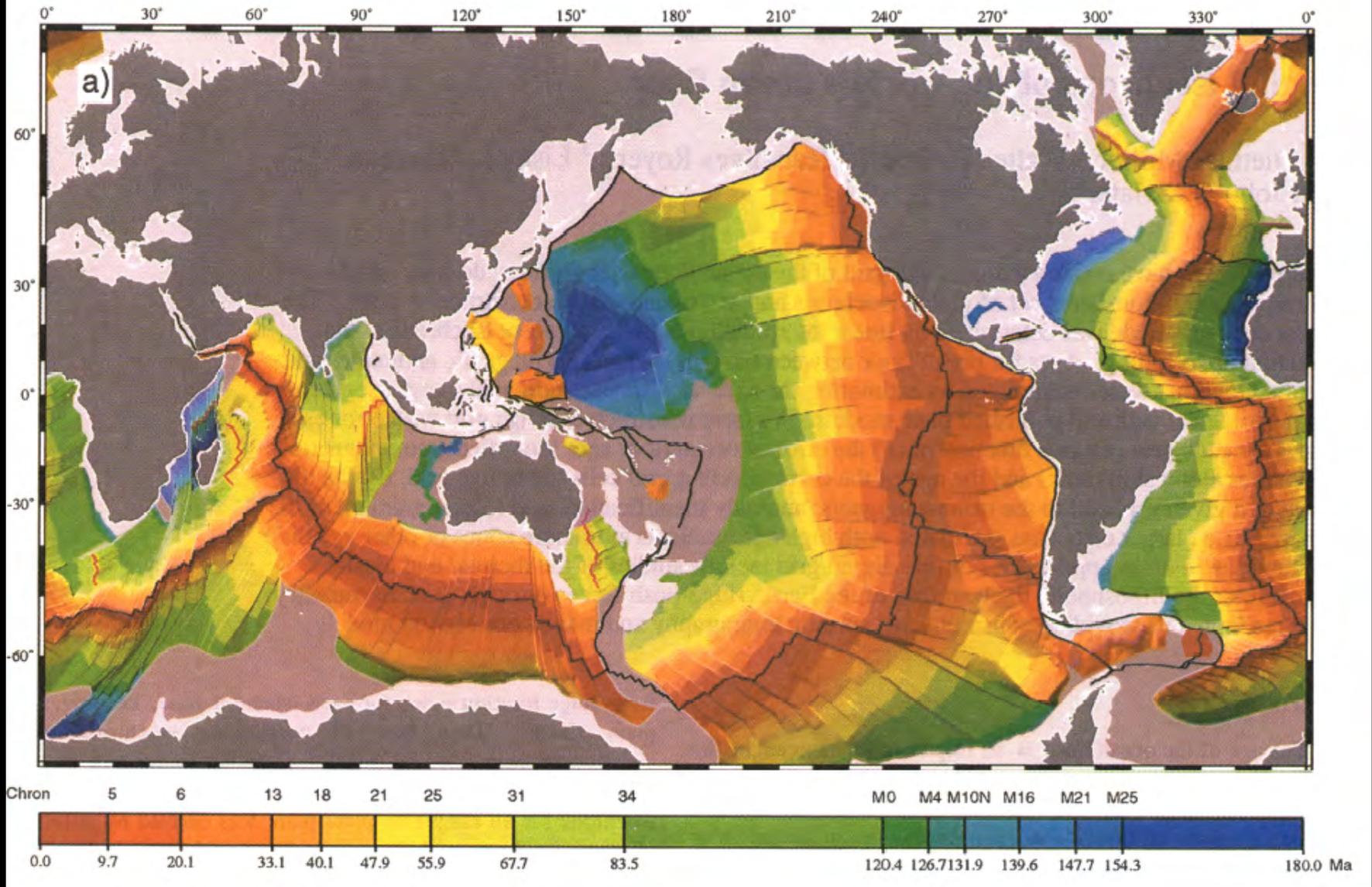
L'échelle des inversions



Les inversions du champ magnétique dans les fonds marins

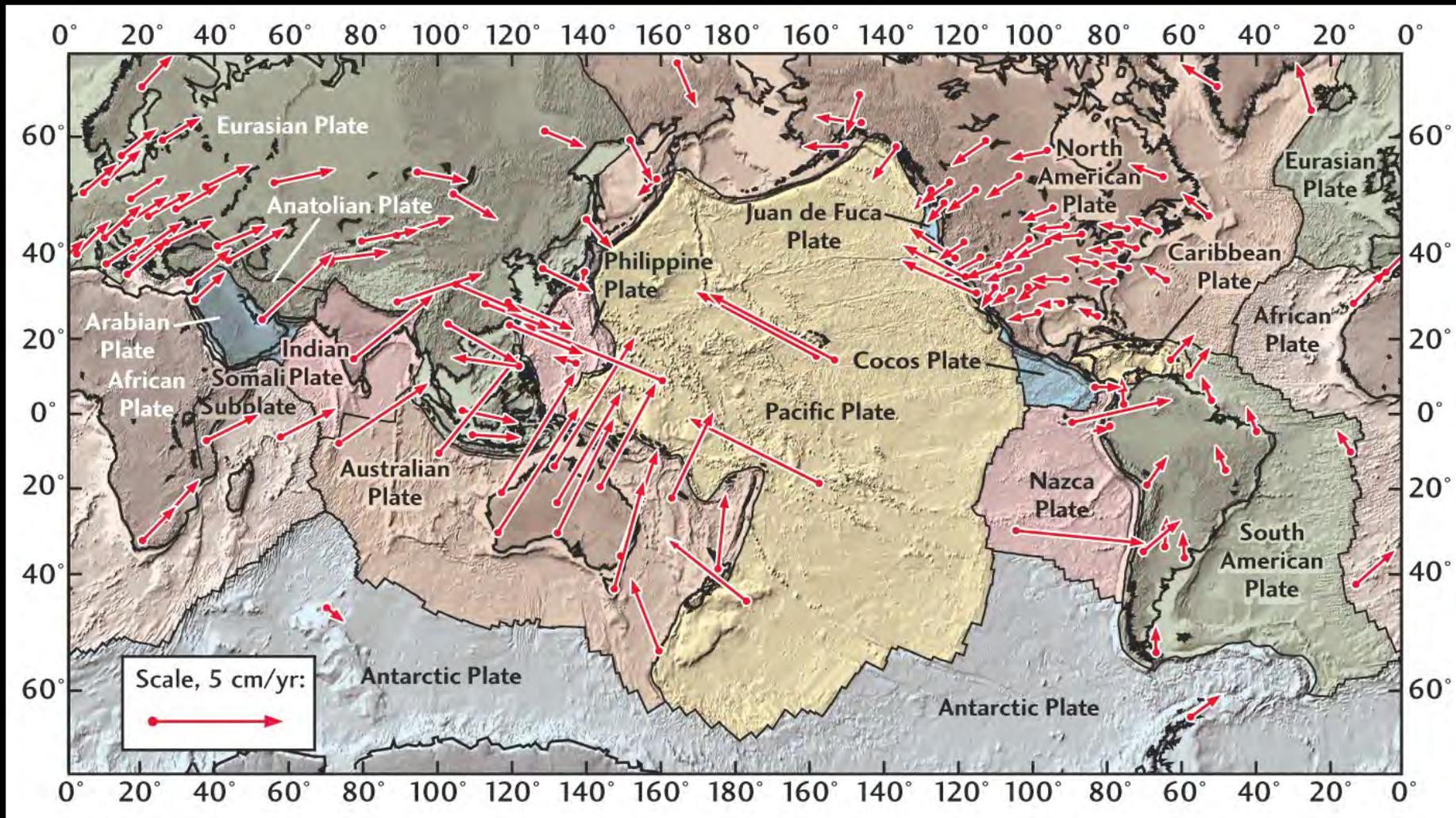


OCEANIC HEAT LOSS

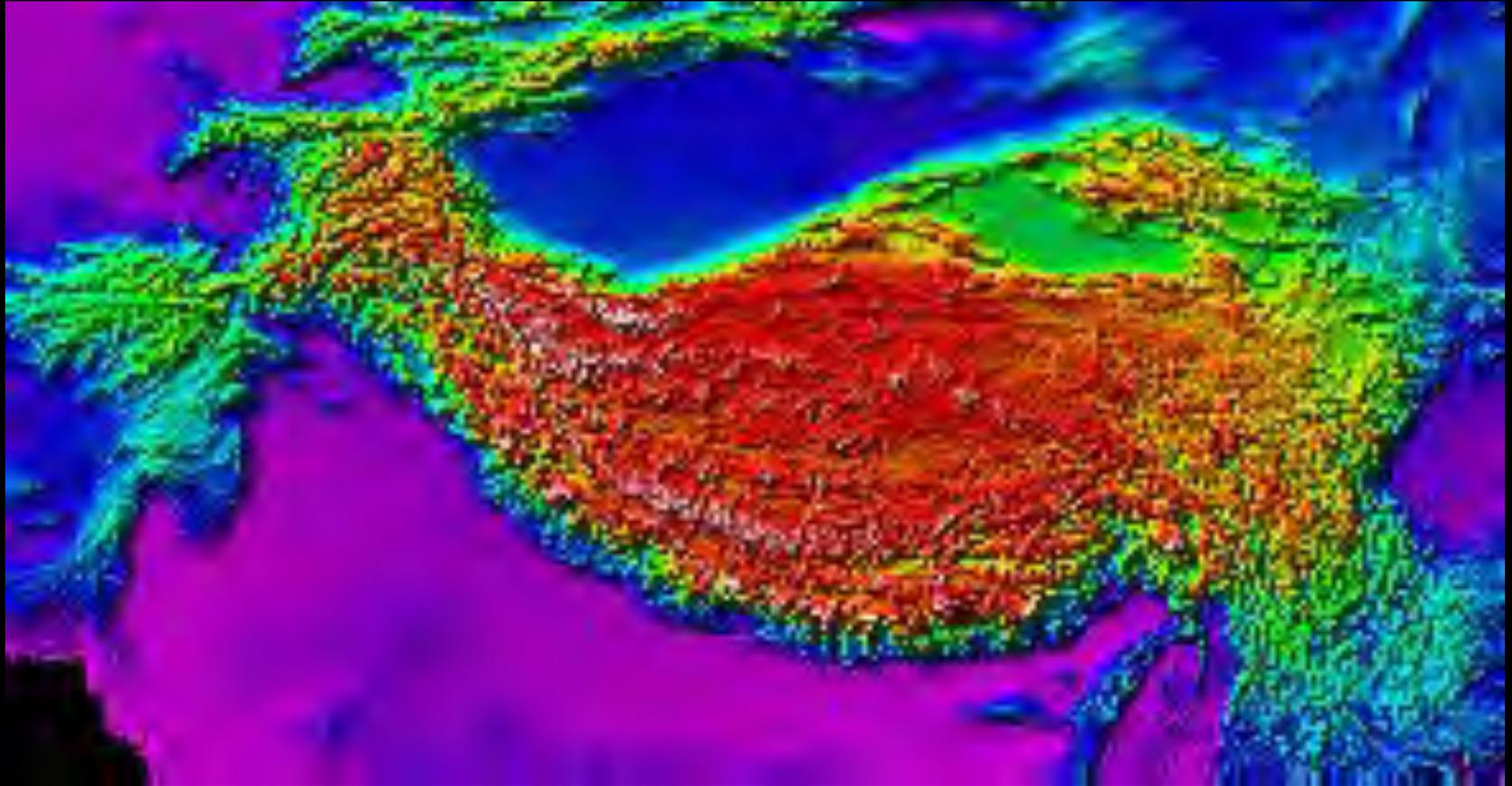


Age of the sea floor

Vitesse de plaques par GPS



LES CHAÎNES DE MONTAGNE (LE PLATEAU TIBETAIN)

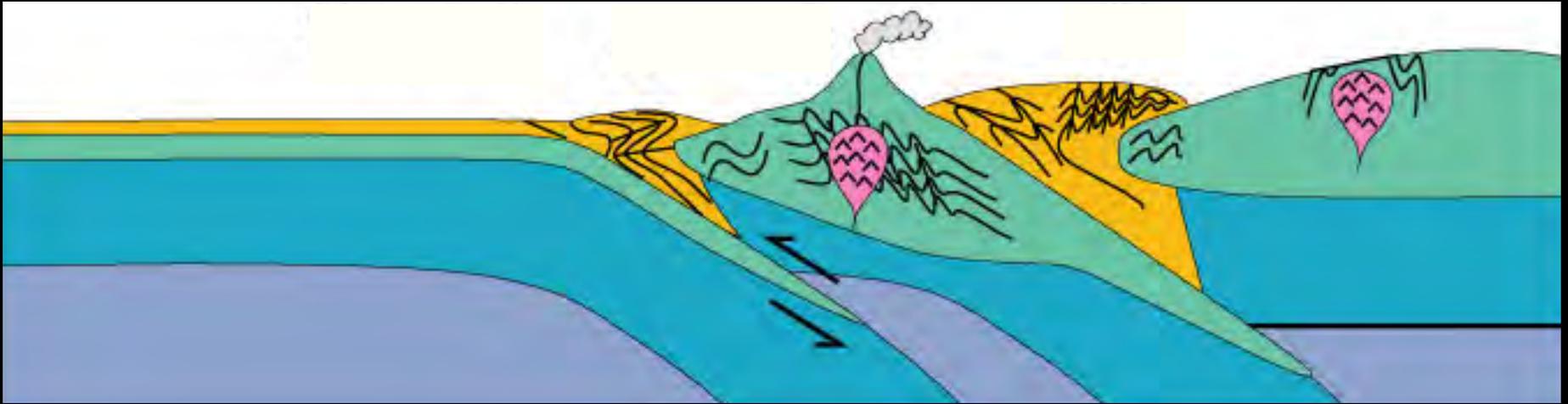


Destruction de croûte continentale:
en surface (racourcissement/épaississement)
et en volume (érosion + subduction)

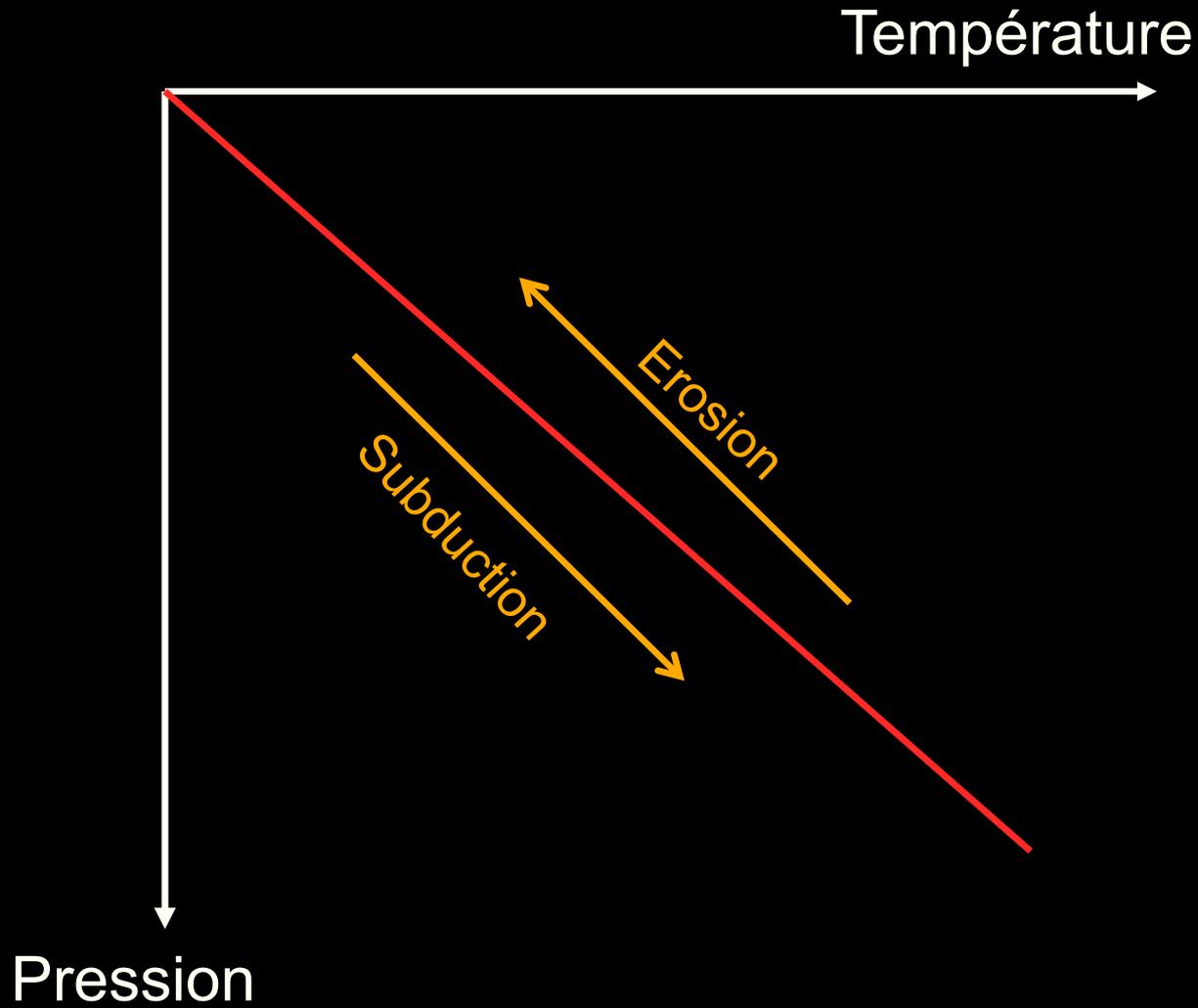




Déformation, enfouissement et érosion : métamorphoses des roches et des minéraux



Chemin (P,T)



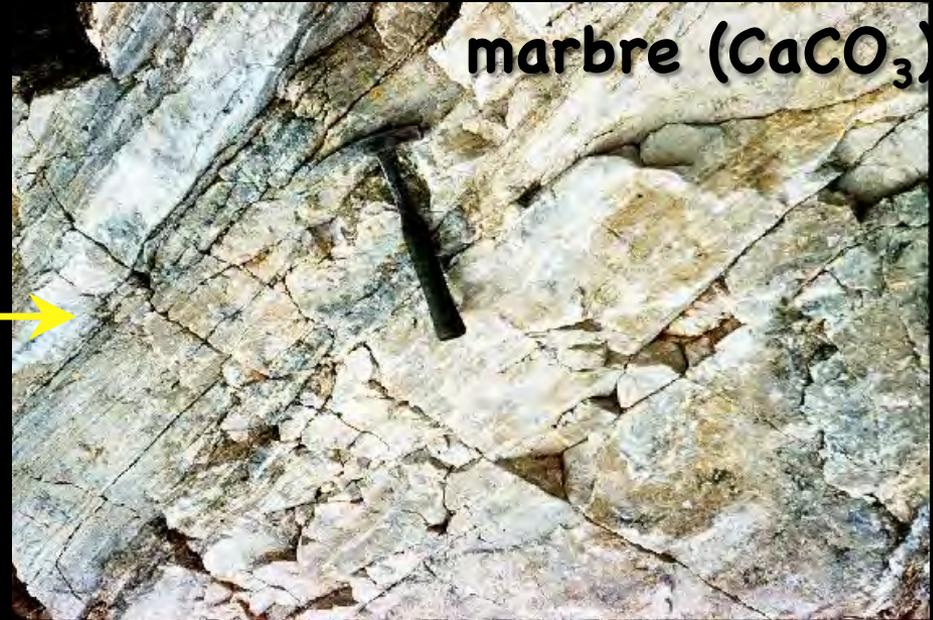


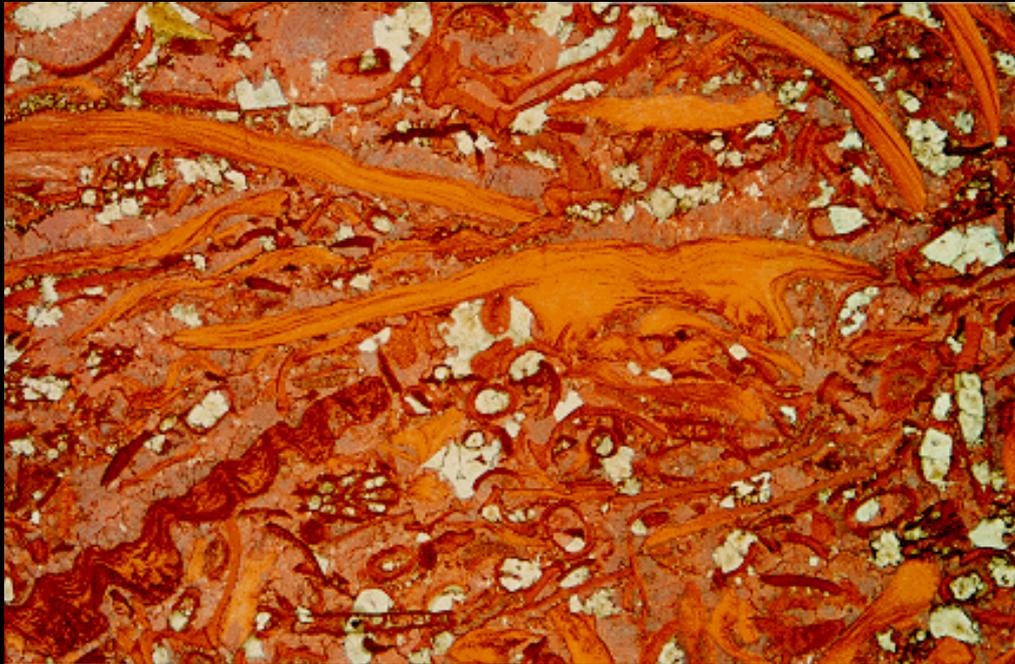
Non métamorphisé



Métamorphisé

Métamorphisme :
changements de minéraux et de texture
sans changement de composition chimique (\approx)

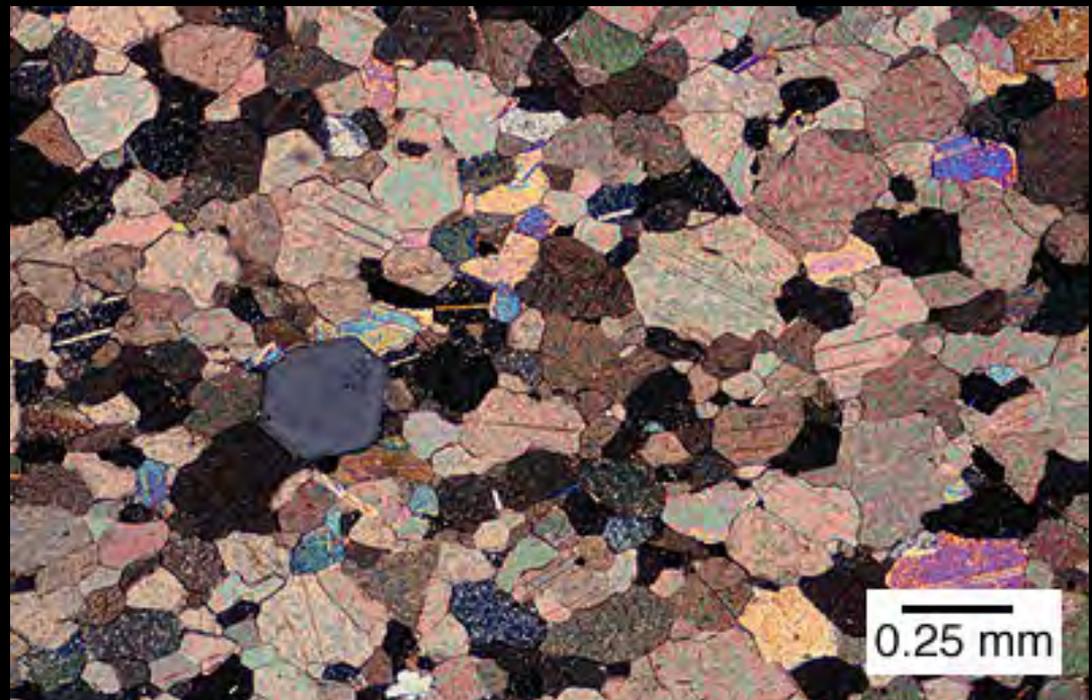




calcaire

La texture change

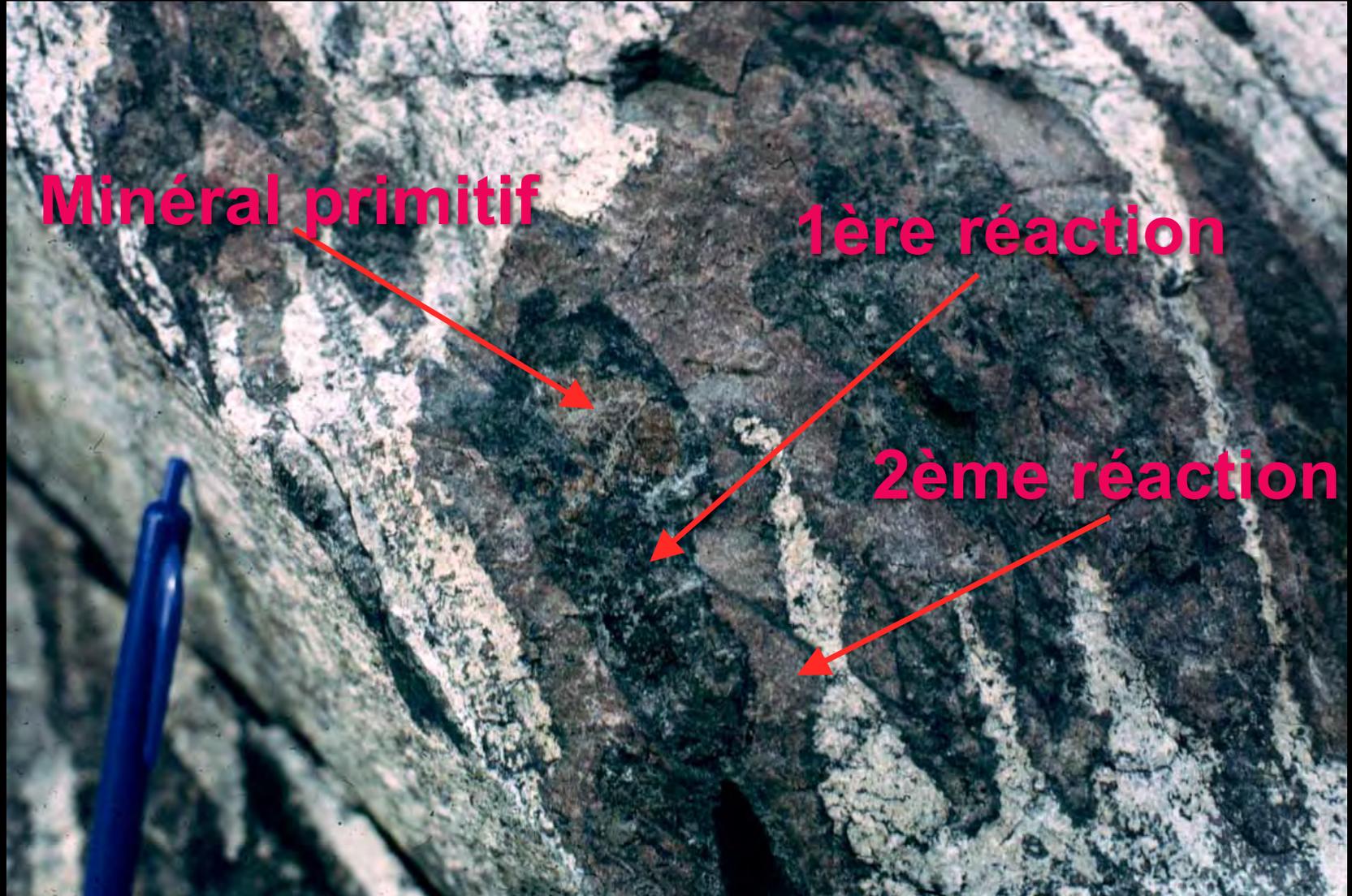
marbre



Couronnes de réactions



Couronnes de réactions



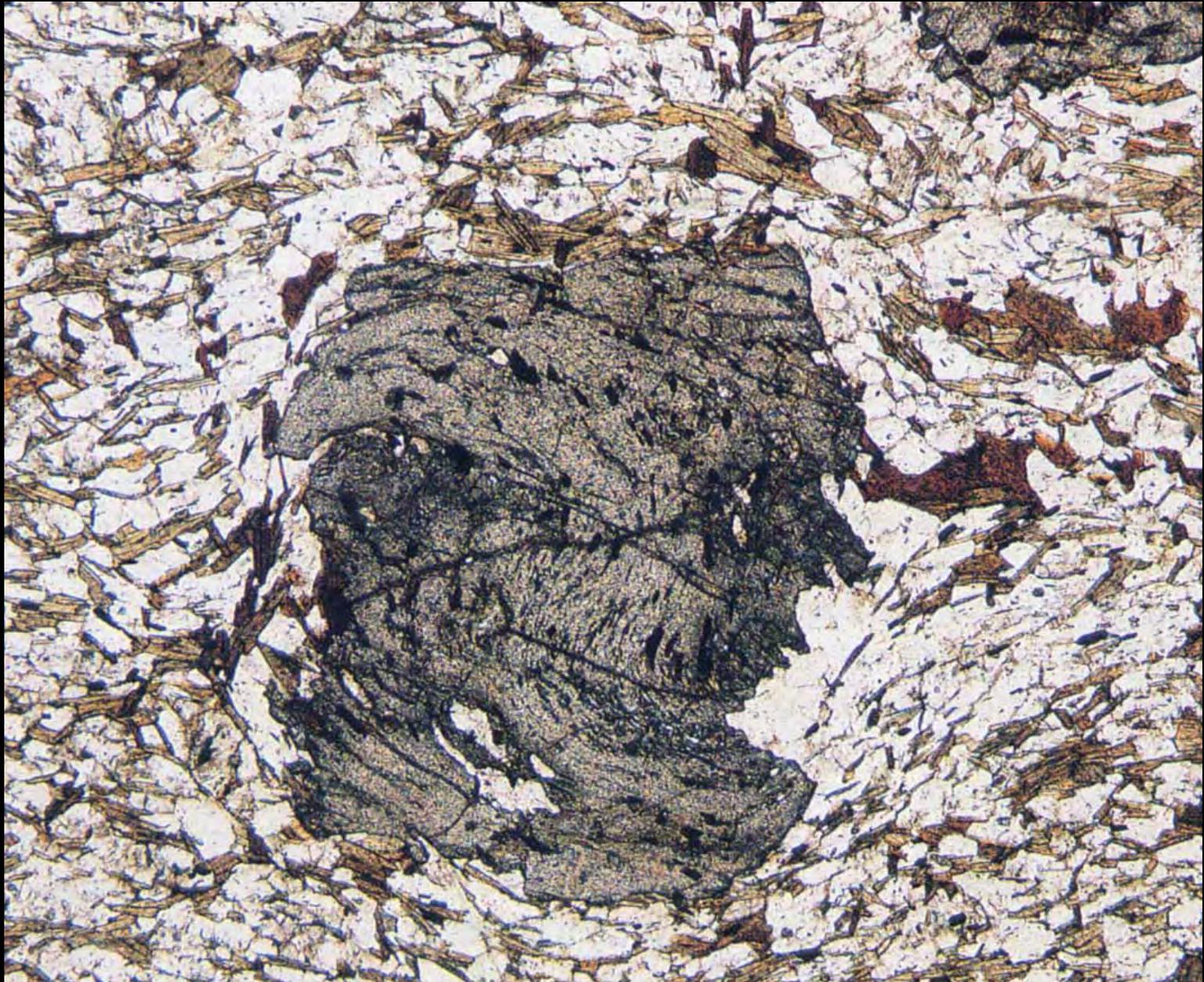
Couronnes de réaction : “pompage” d’éléments par un minéral



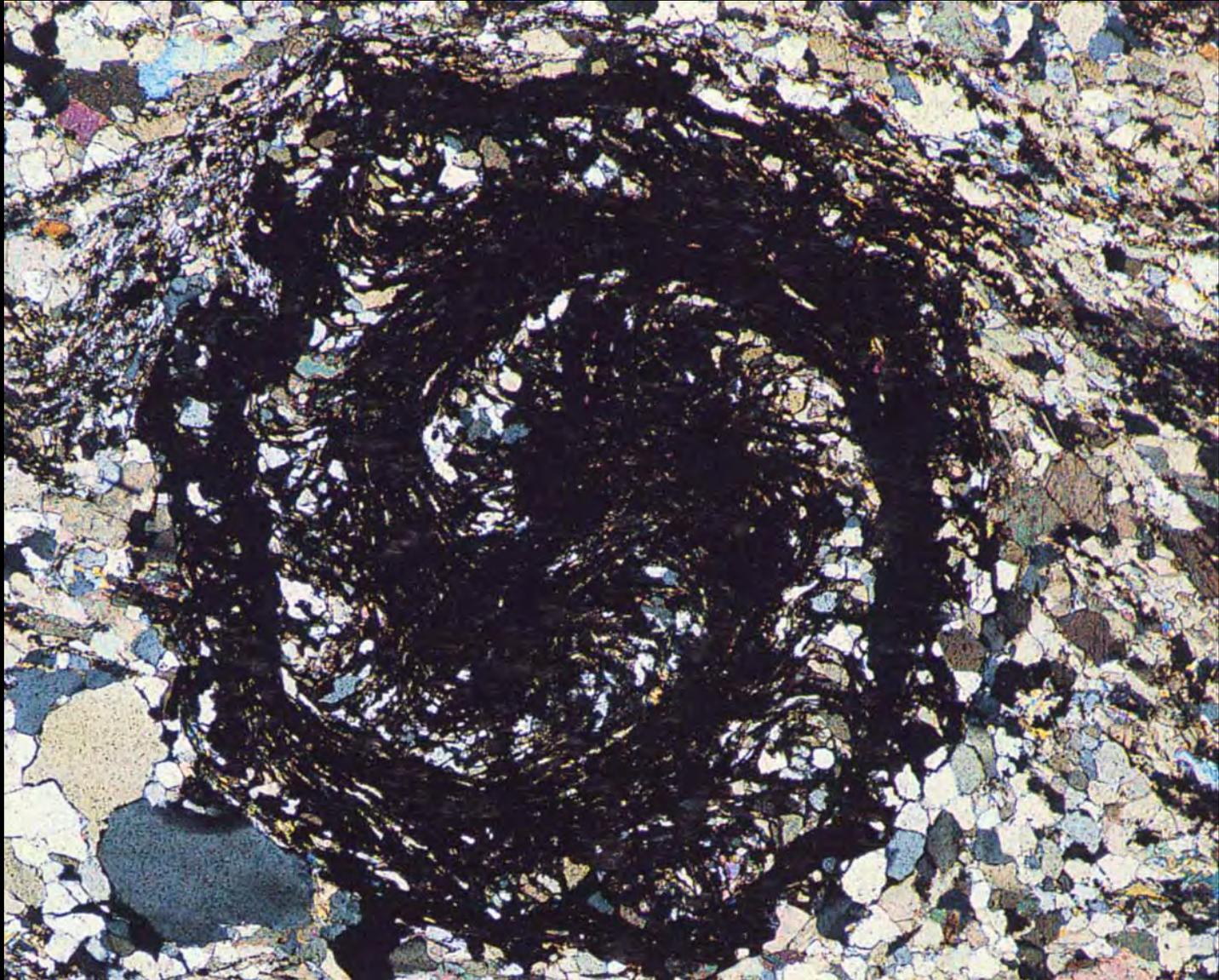
Minéral formé avant la déformation

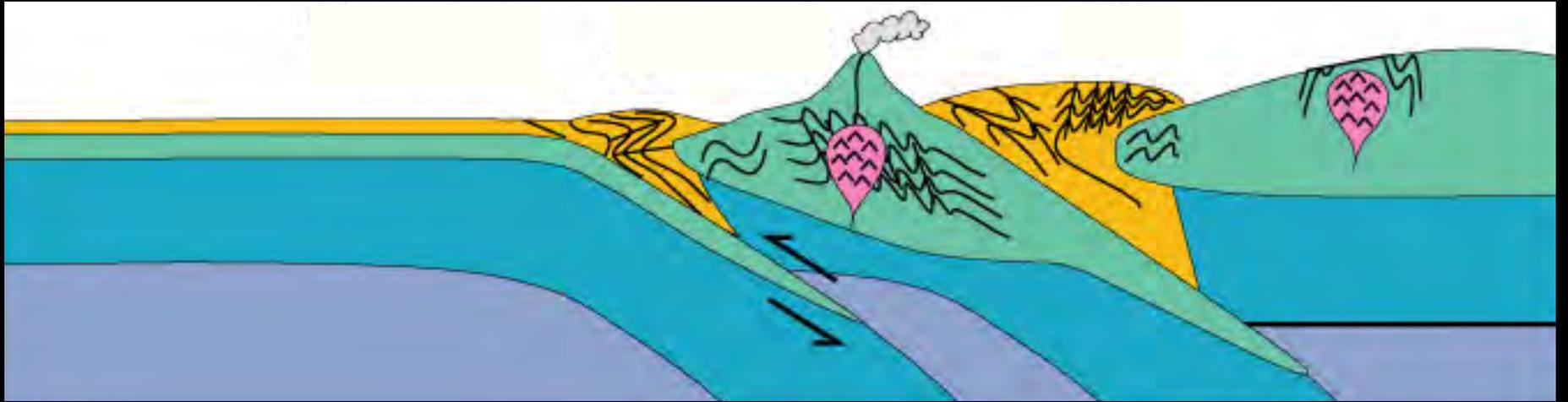


Minéral formé pendant la déformation



Minéral se formant pendant la déformation

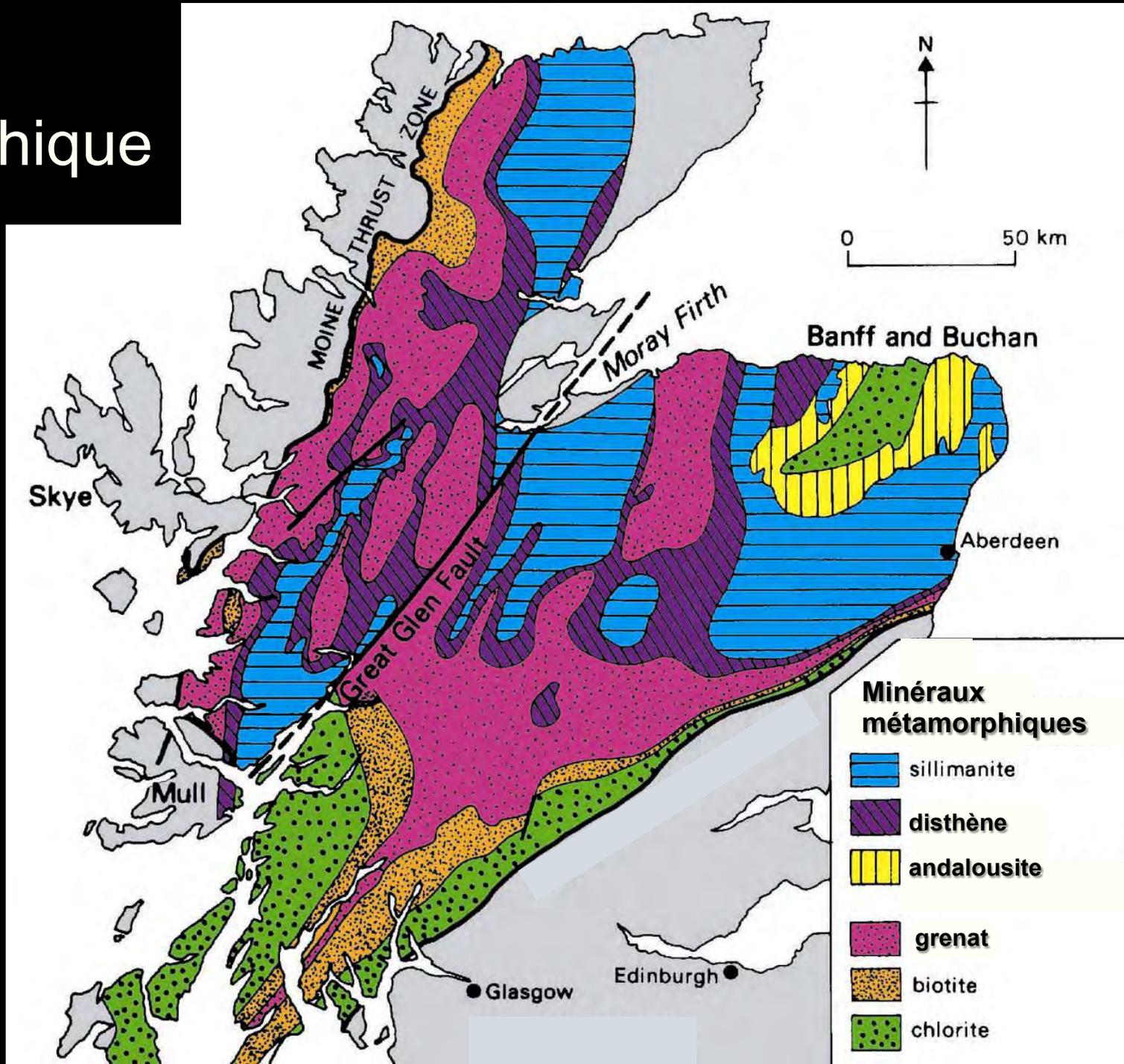


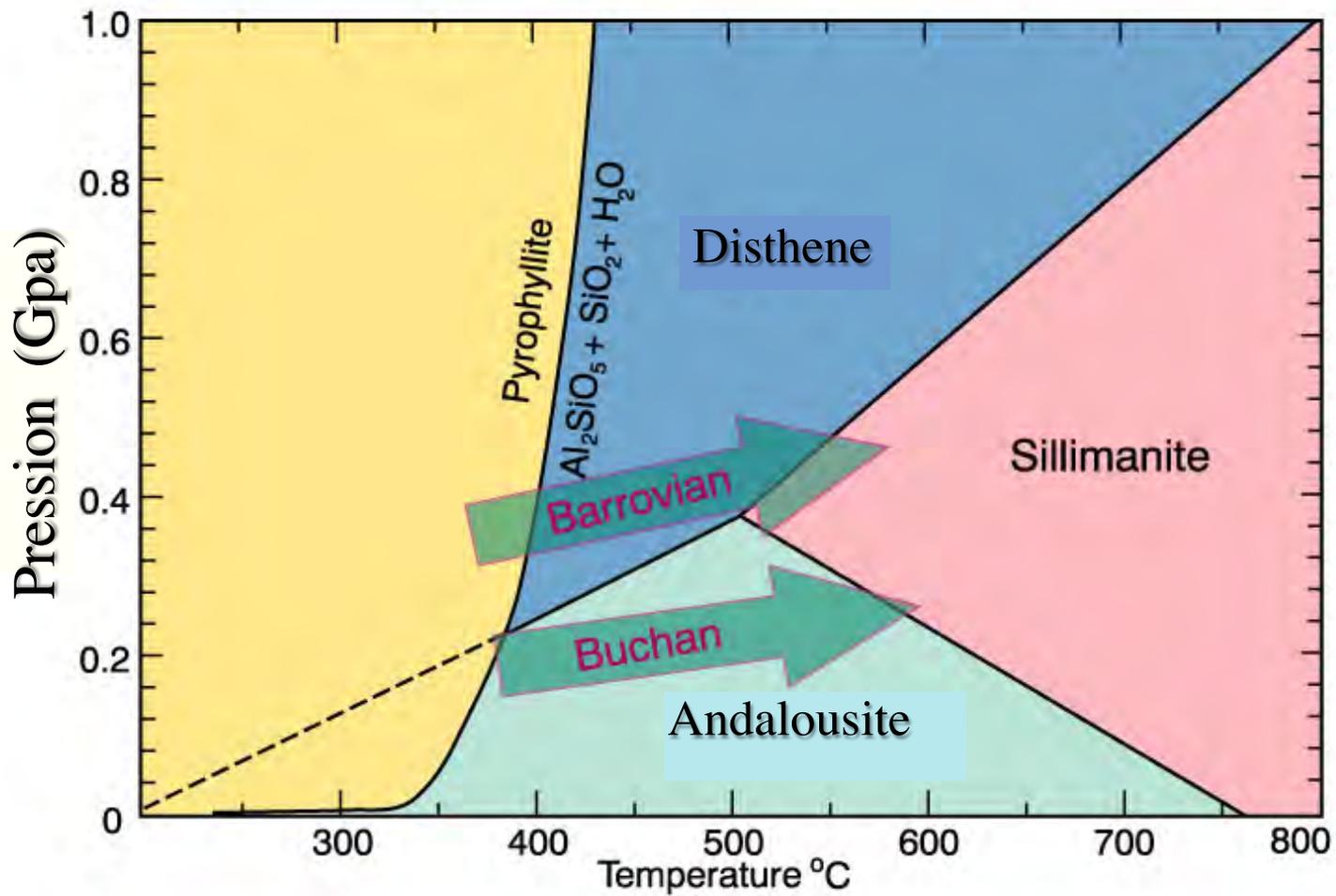


Après érosion



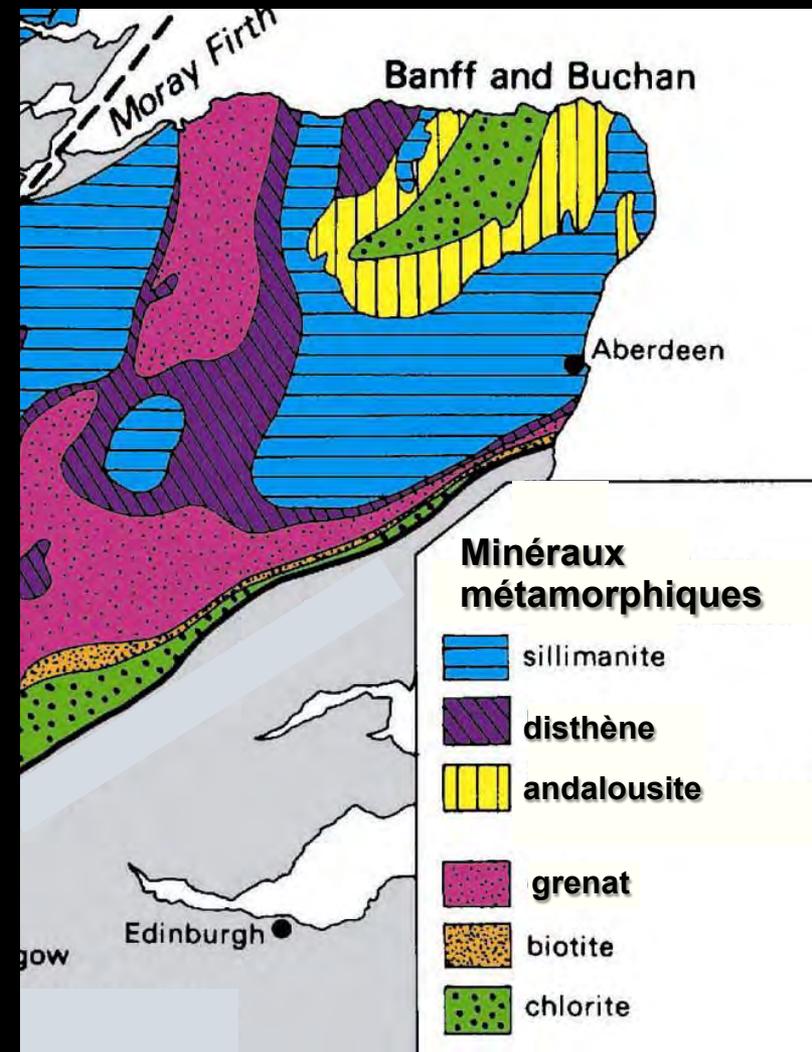
Zonation métamorphique

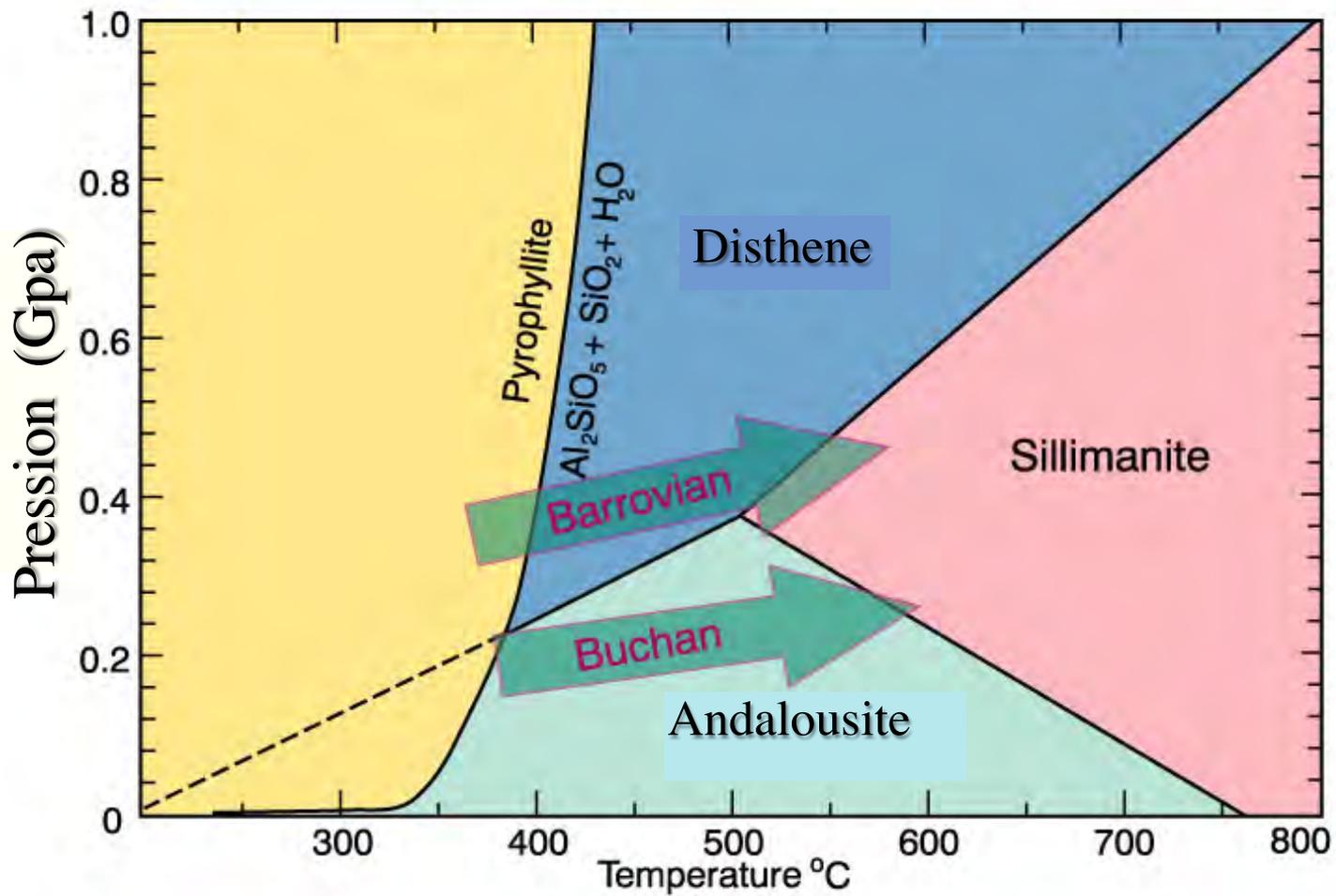




La composition des roches est la même mais les minéraux sont différents

- disthène
- andalousite
- sillimanite





La datation des roches

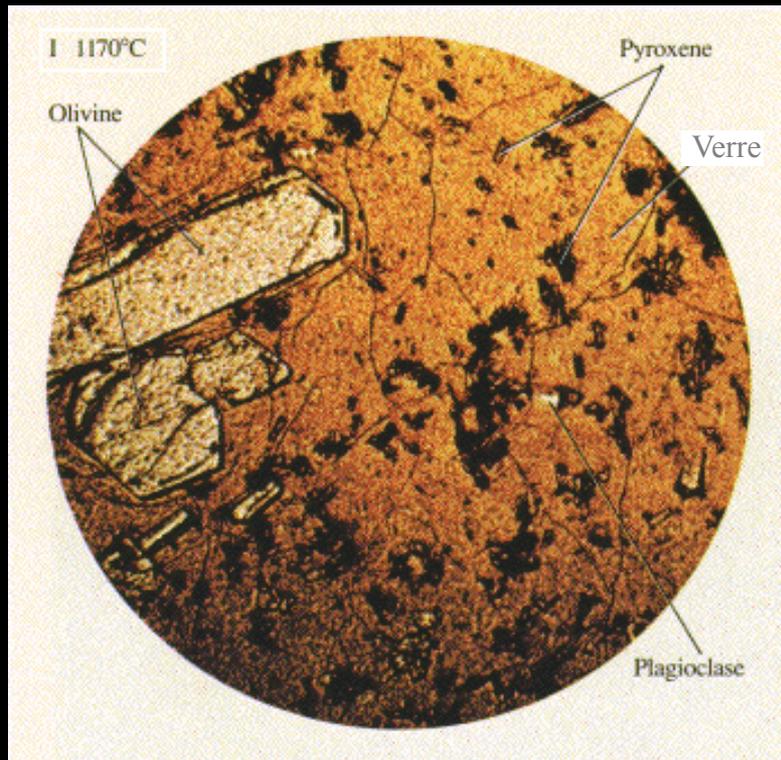
Méthode Rubidium-Strontium: $^{87}\text{Rb} \longrightarrow ^{87}\text{Sr}$

$$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 + (^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})(e^{\lambda t} - 1)$$

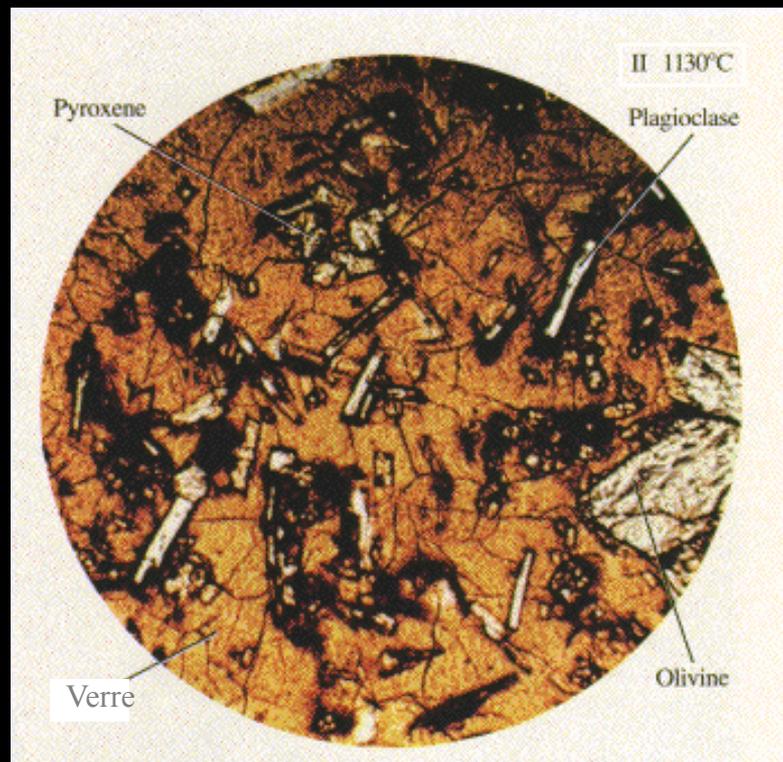
$$\lambda = 1.4 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$$

Solution : prendre différents minéraux

Lac de lave de Makaopuhi (Hawaii)



Verre = magma figé



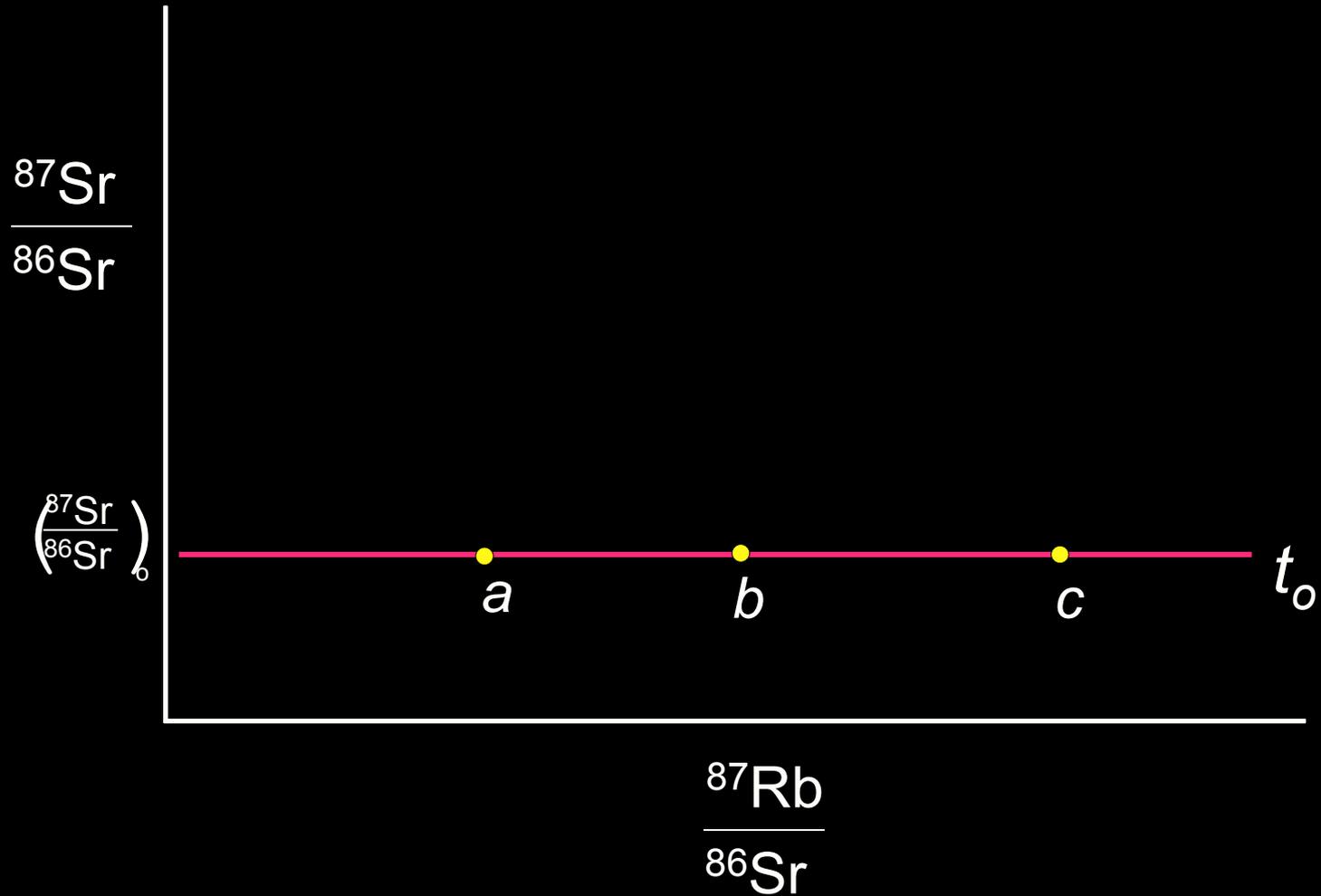
Le bain a une composition donnée en Rb et Sr (et leurs isotopes).

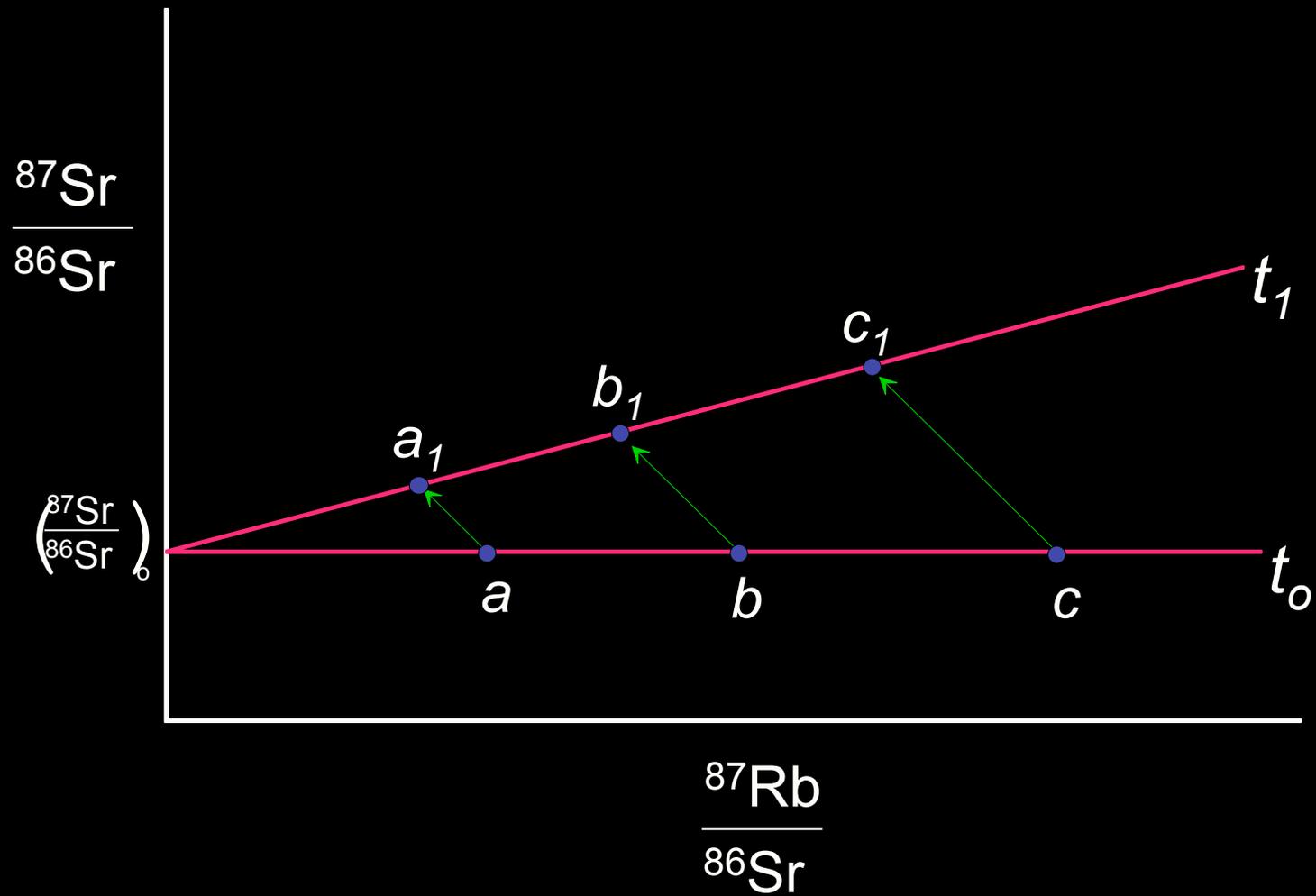
Un minéral adopte une composition différente (partage des éléments entre solide et liquide).

Les rapports isotopiques sont conservés (même comportement chimique).

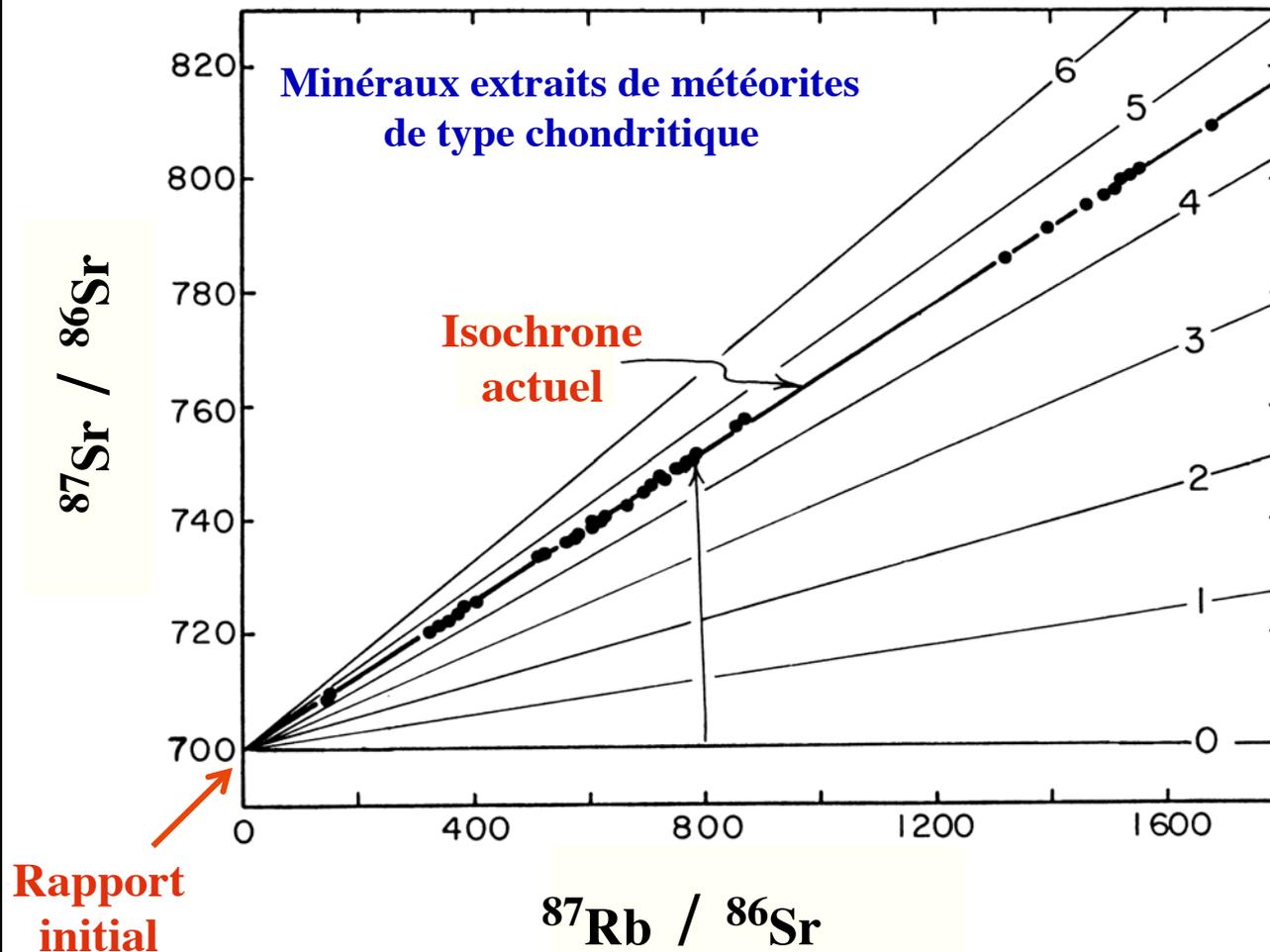
Conséquence : chaque minéral a le **même** rapport $\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right)$ que le bain
 et un rapport $\left(\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} \right)$ **différent**.

Trois minéraux **a**, **b**, **c** au temps $t = t_0$





L'âge du système solaire

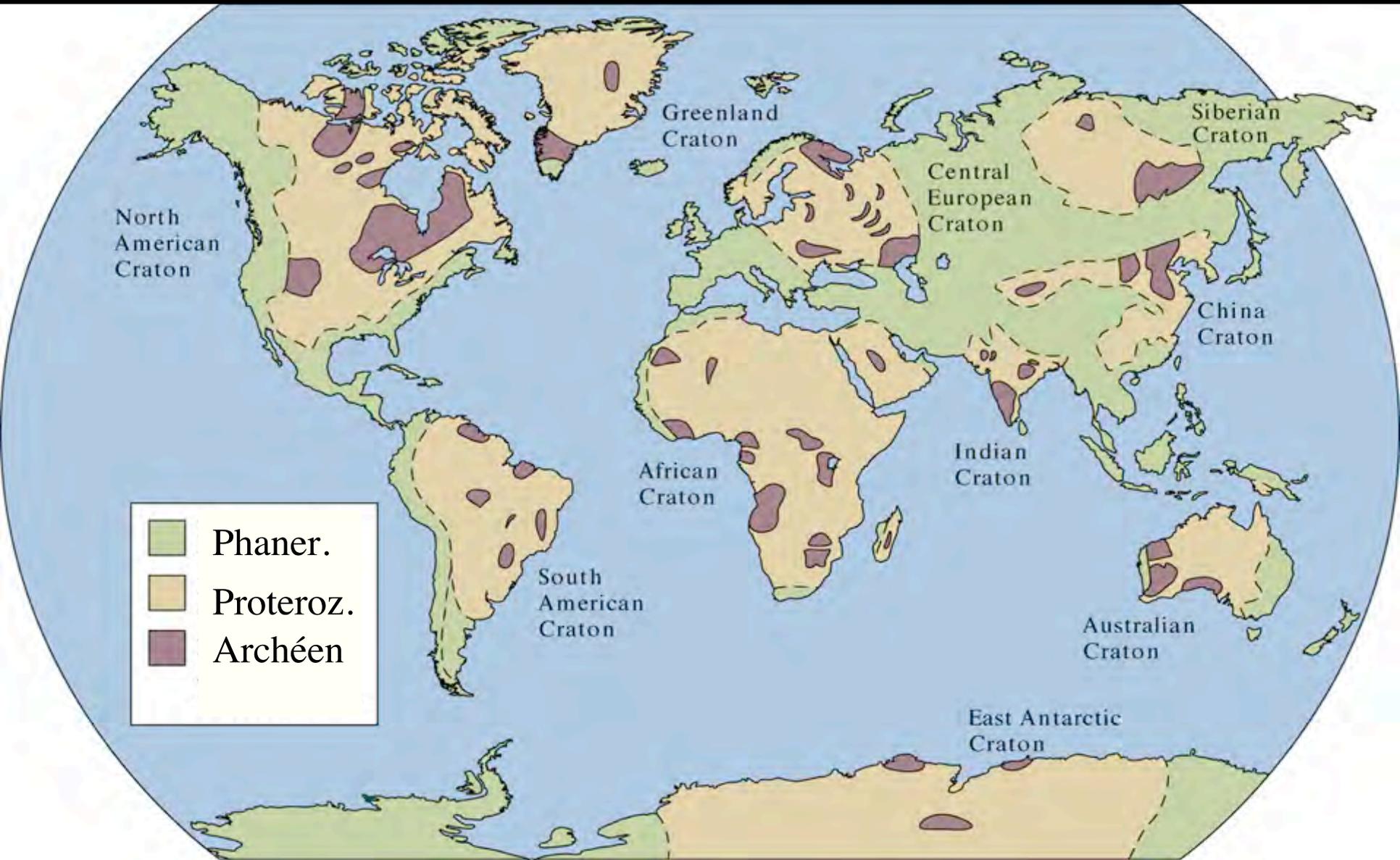


Isochrones
pour
0, 1, 3 ...
Ga

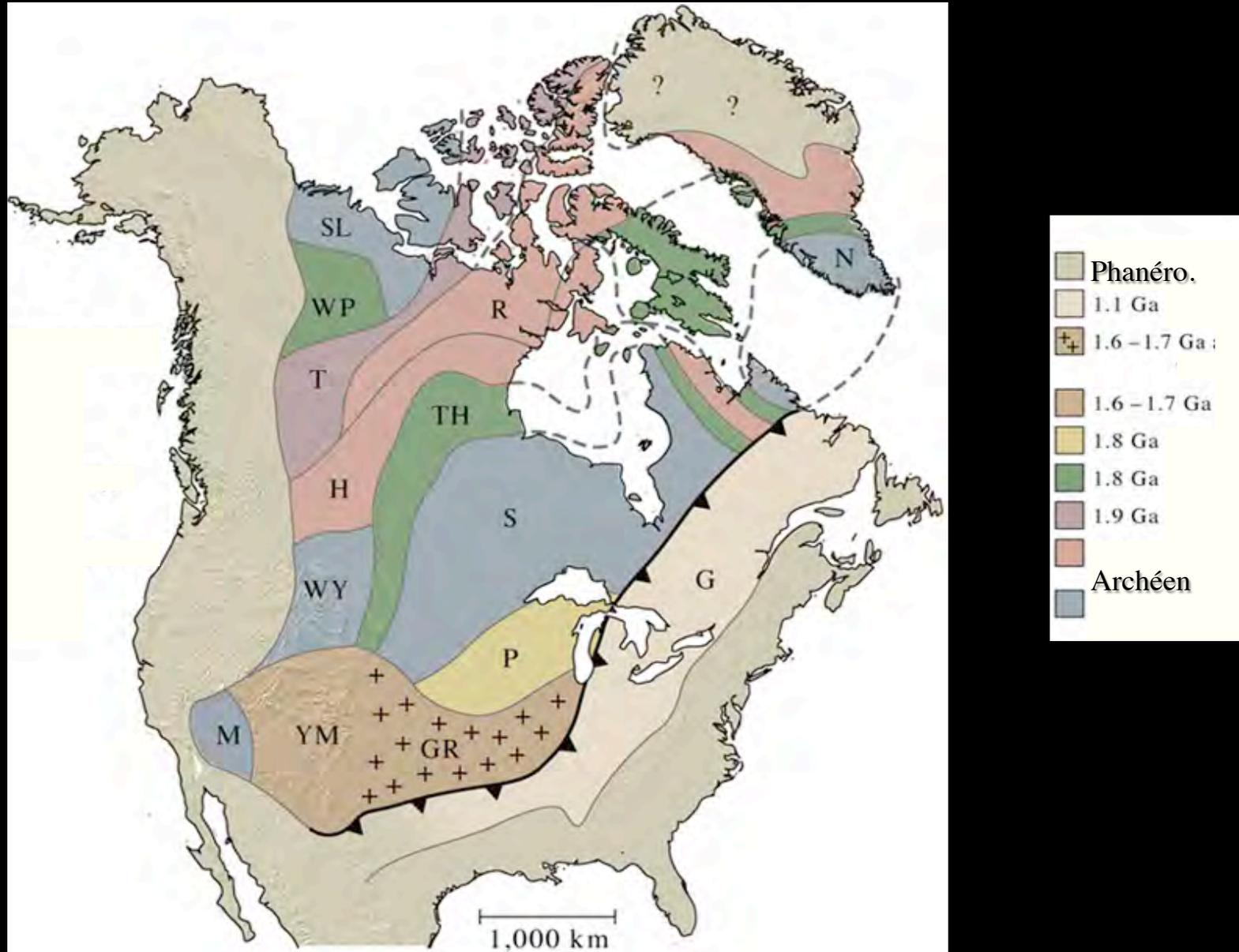
Age = 4.56 Ga

$$\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right)_0 = 0.698$$

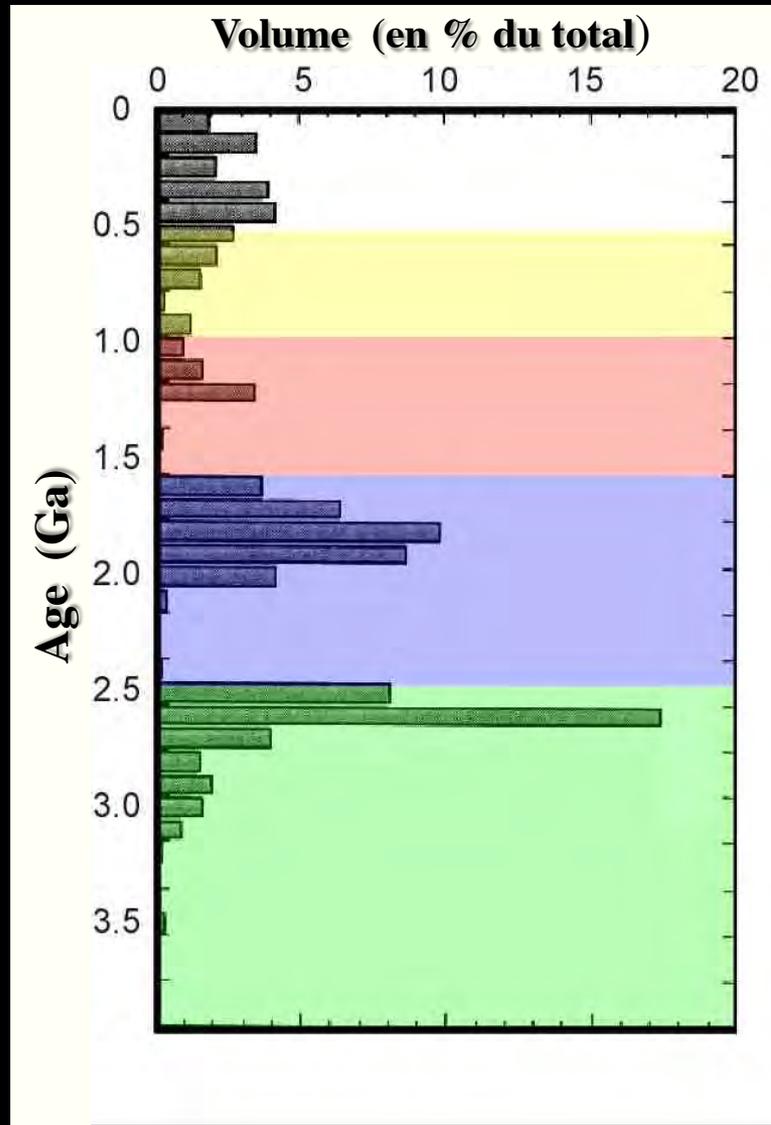
Croissance continentale



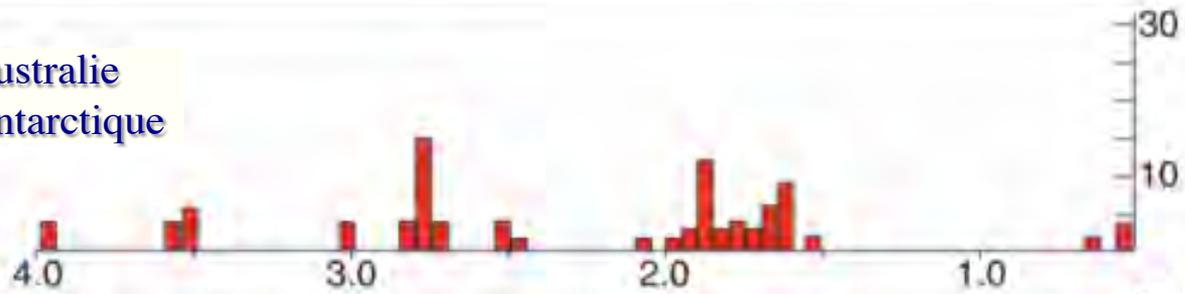
Croissance à la périphérie



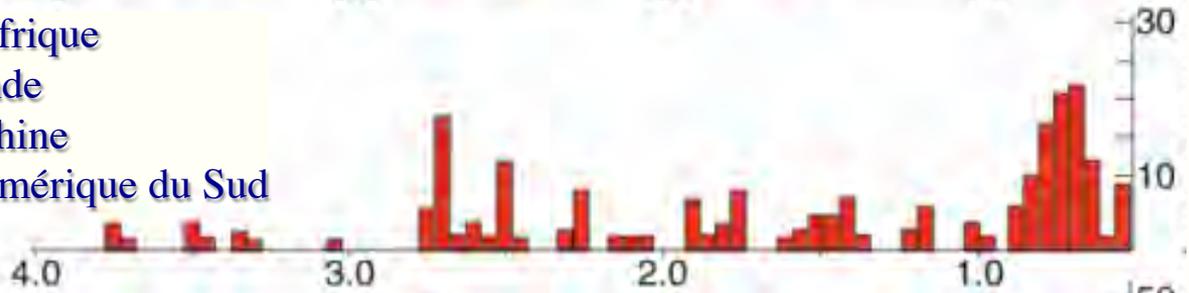
Ages des continents



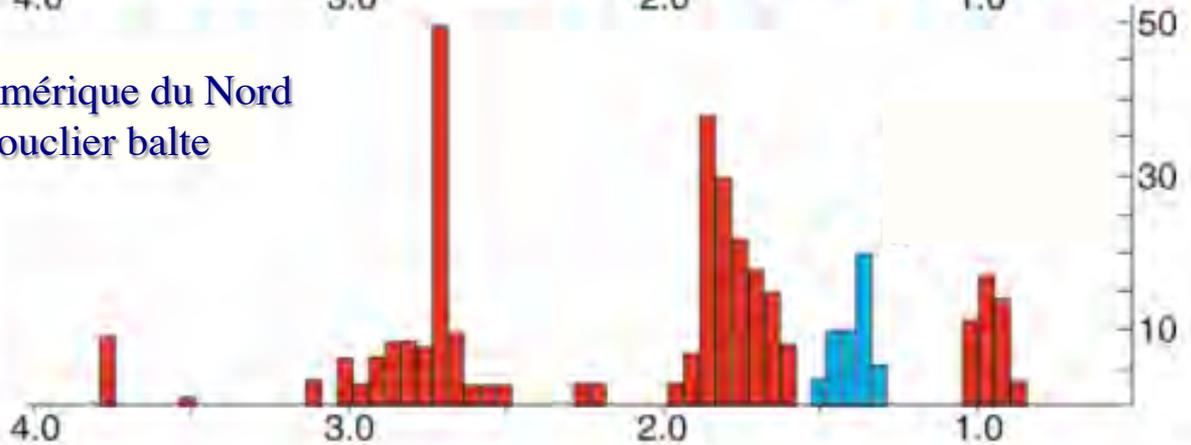
Australie
Antarctique



Afrique
Inde
Chine
Amérique du Sud

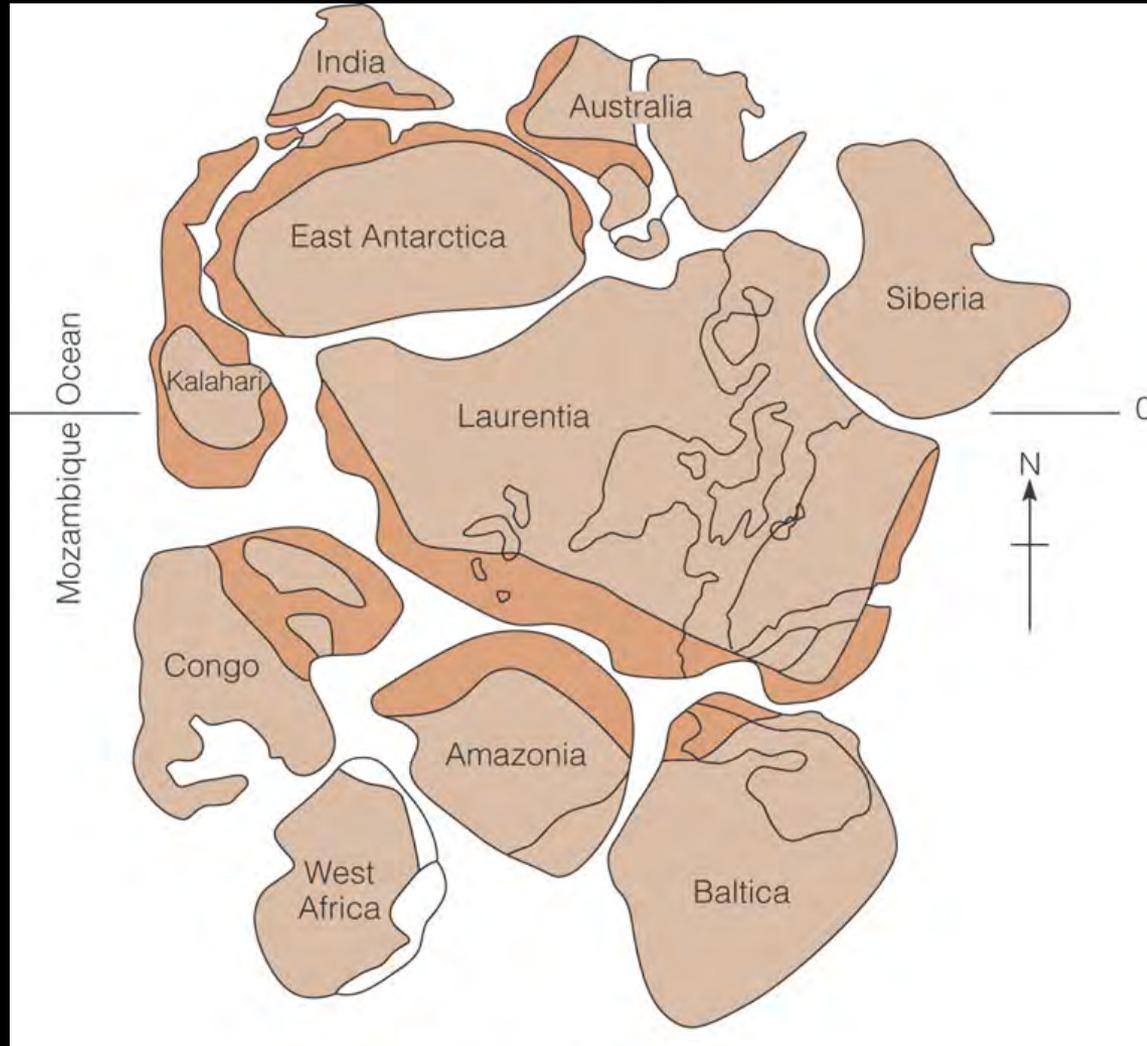


Amérique du Nord
Bouclier balte

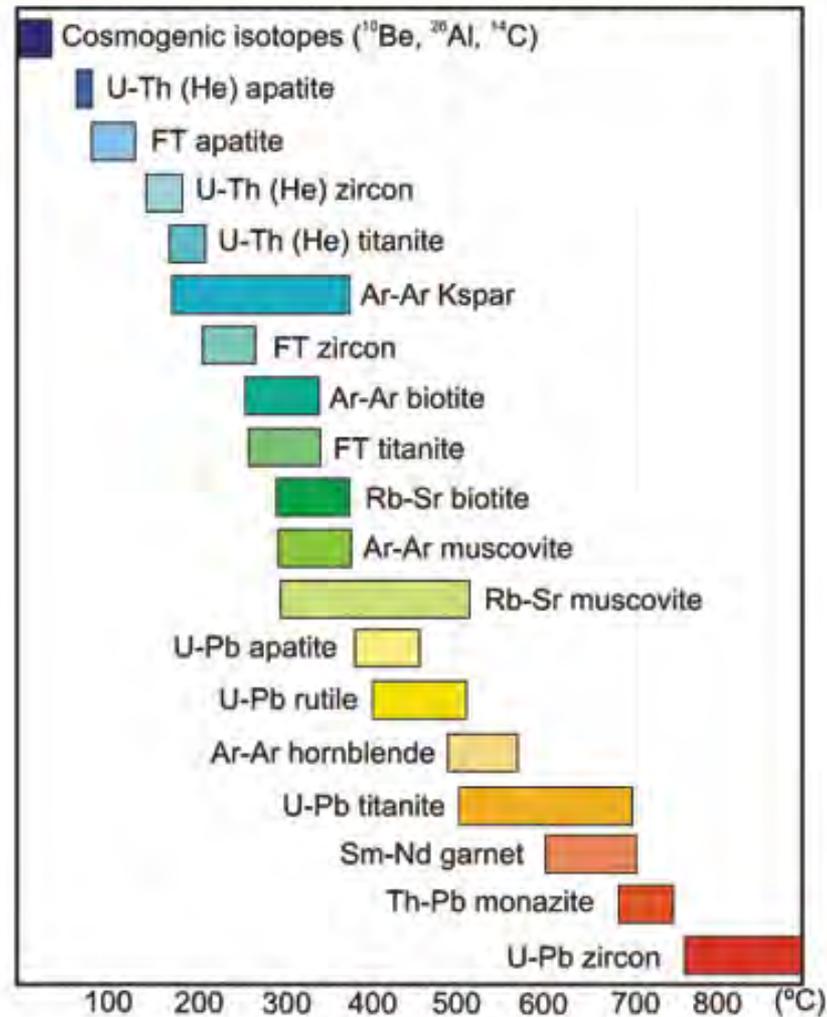


Les supercontinents

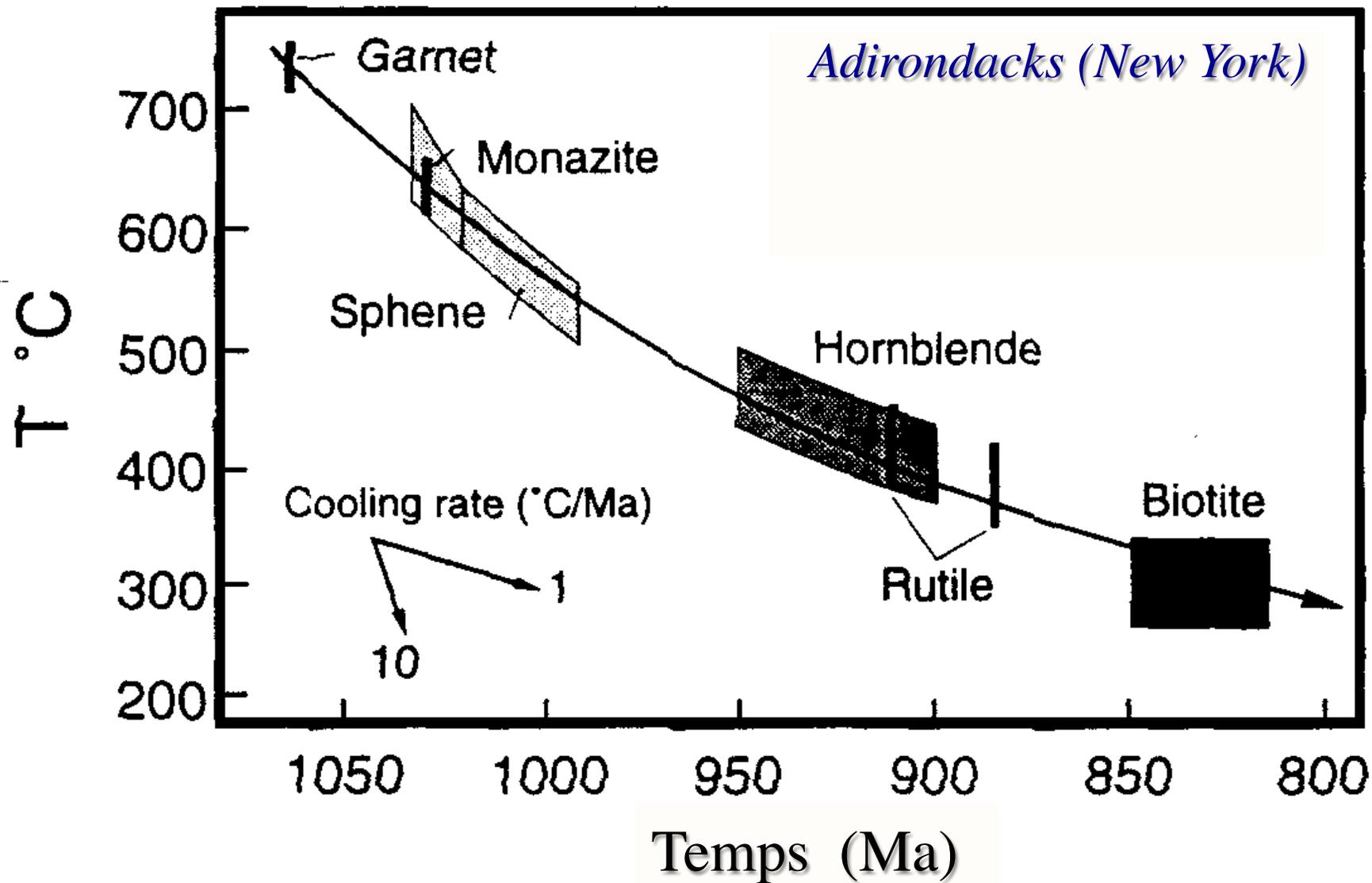
Rodinia
≈ 750 Ma



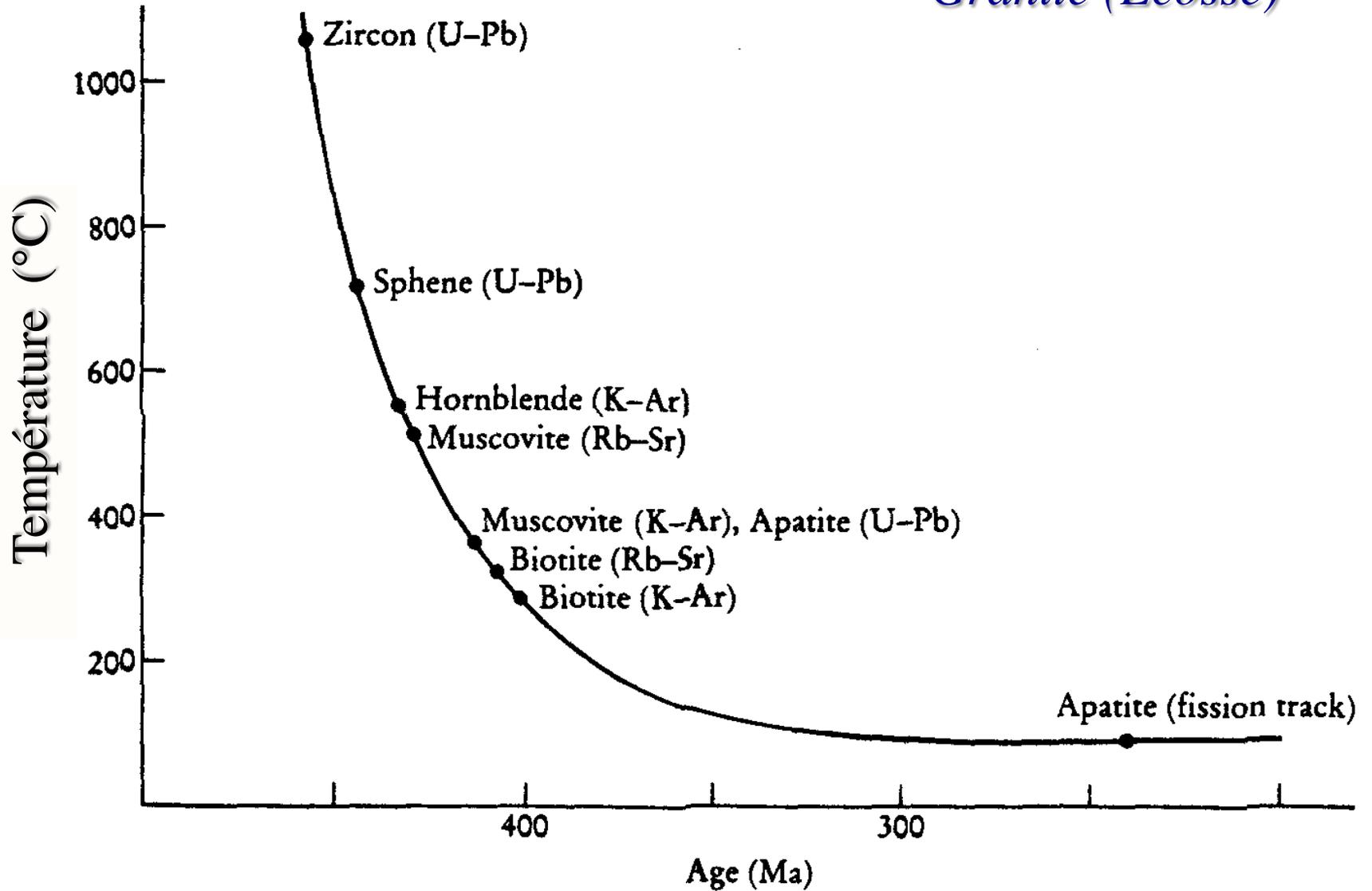
Les chronomètres sont des thermomètres

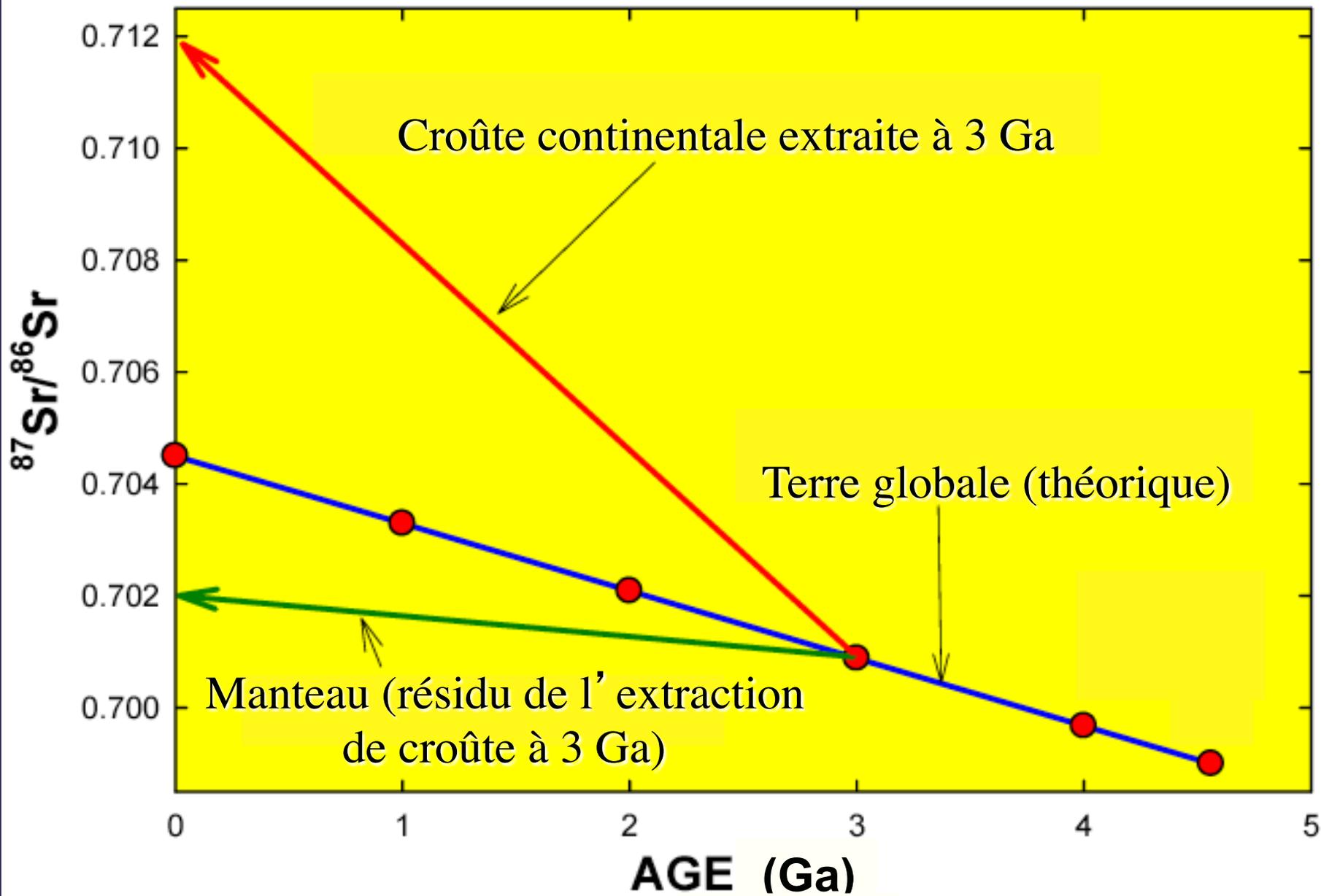


Refroidissement des roches

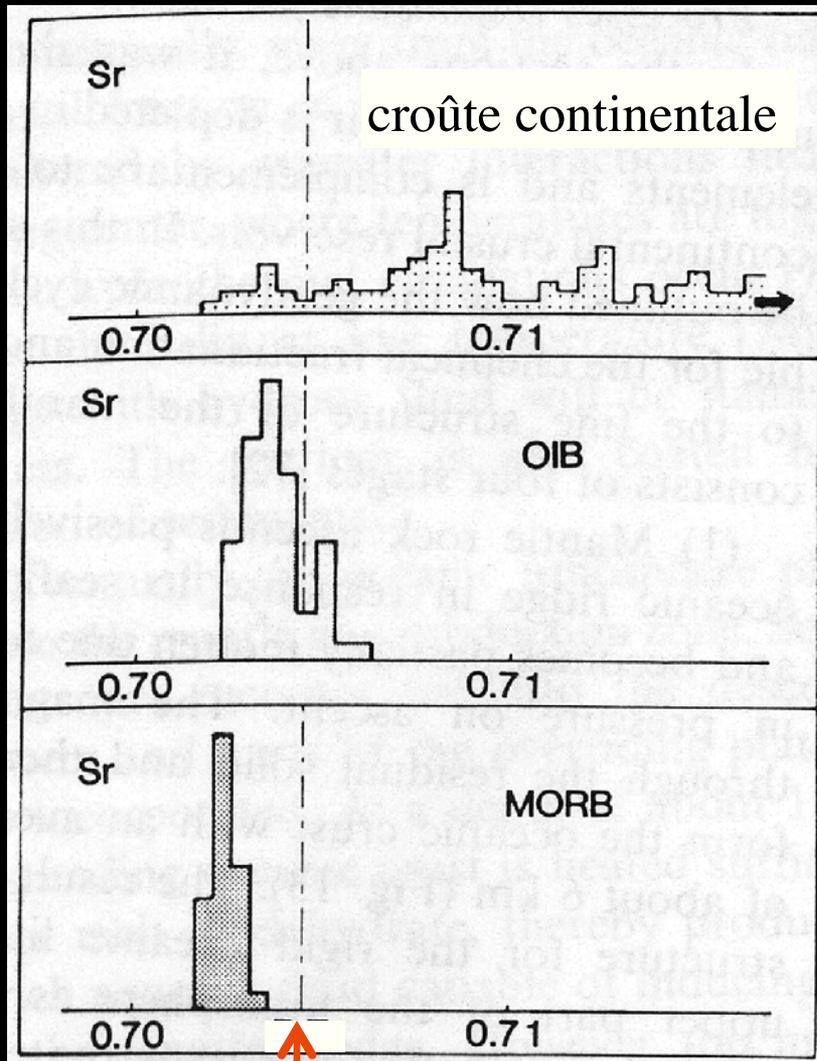


Granite (Ecosse)





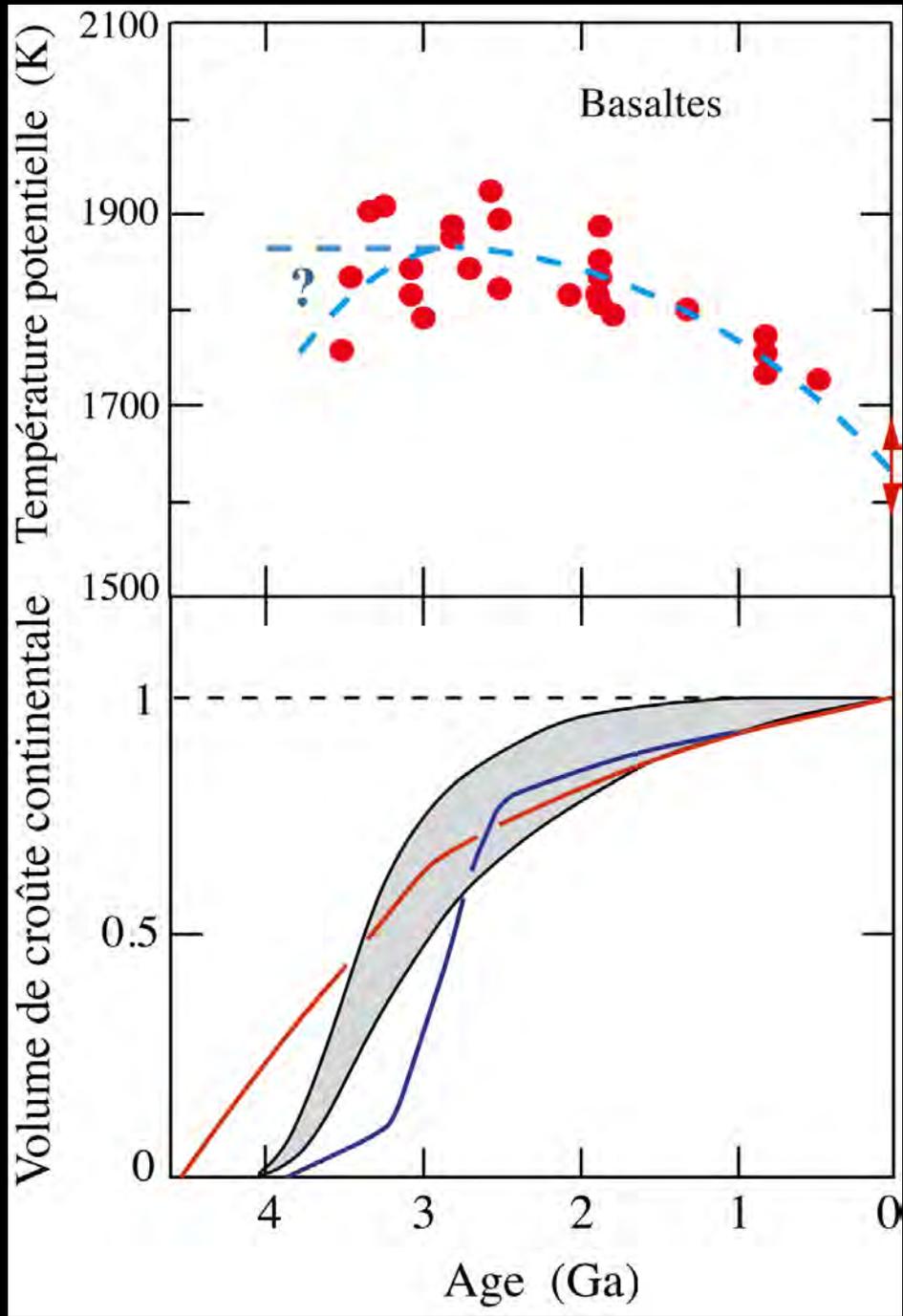
Evolution chimique de la Terre



OIB = basalte d'île océanique
(Hawaii, Réunion, etc...)

MORB = basalte de dorsale océanique

**Terre globale
à l'âge actuel**

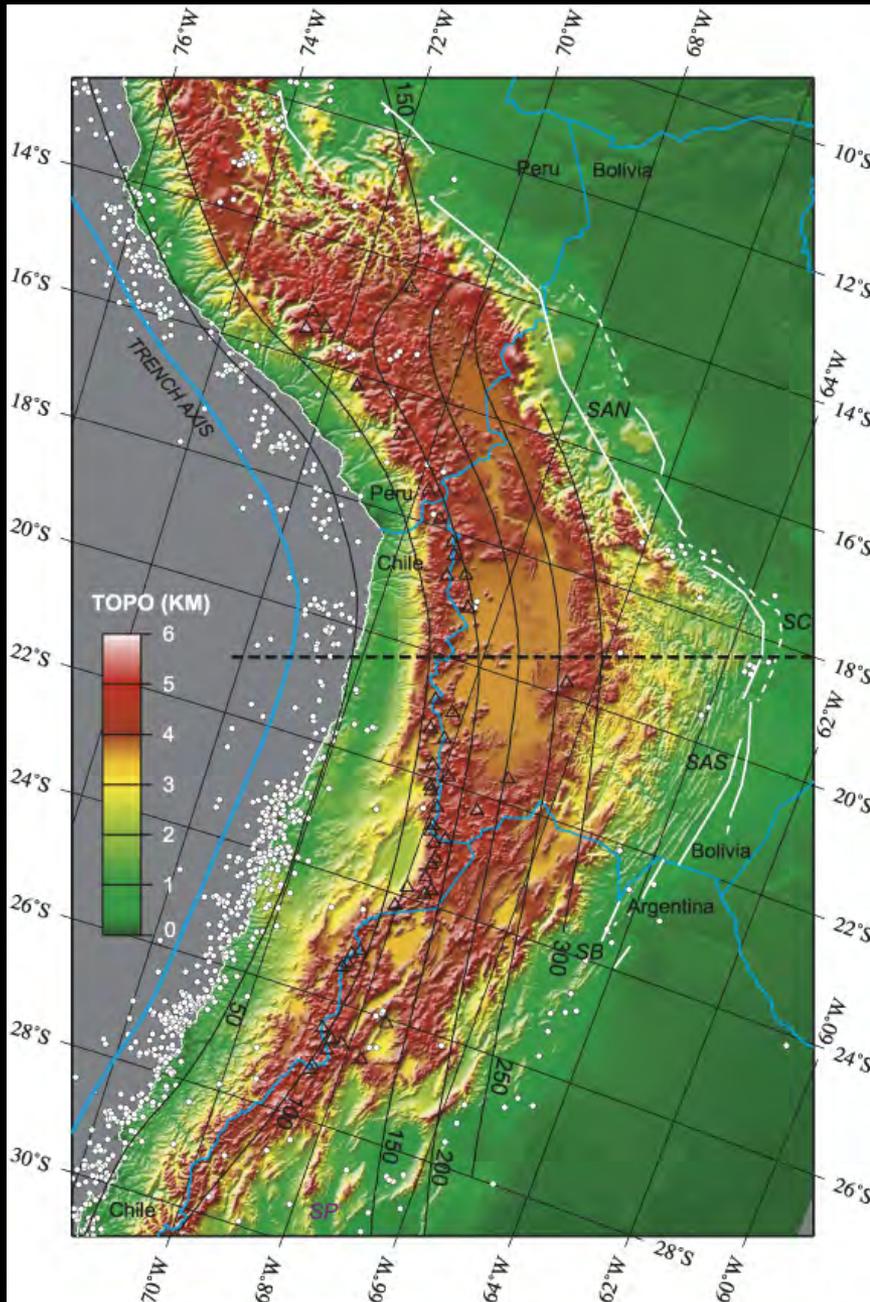


La cordillère des Andes

Altitude ~ 6km

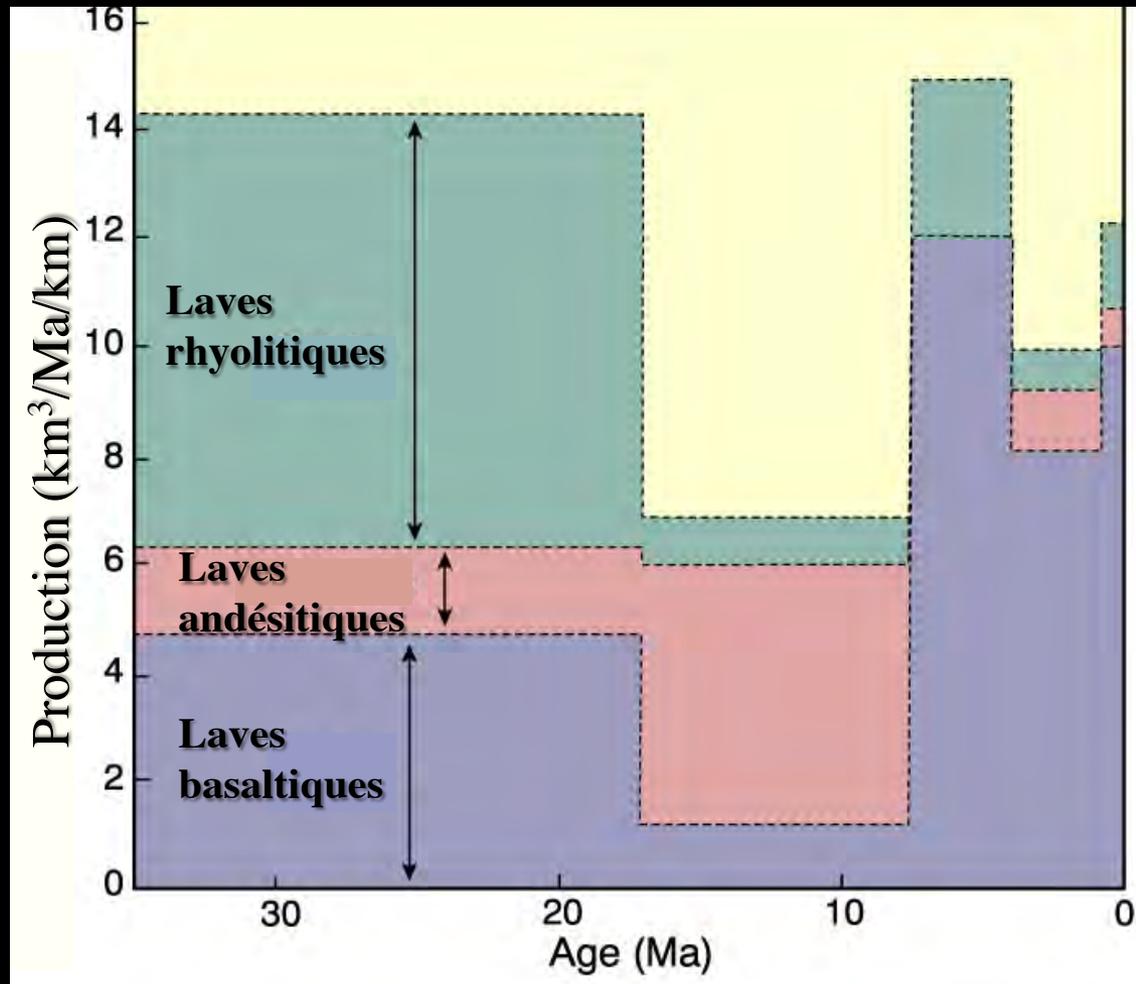
Croûte épaissie
(60-70 km au lieu de 40 km)

Addition de magmas



Production de laves = croûte continentale

Taux de production en $\text{km}^3/\text{Ma}/\text{km}$ d'arc



Taux moyen $\approx 10 \text{ km}^3/\text{Ma}/\text{km}$ d'arc
soit pour une croûte de 40 km d'épaisseur
 $10/40 = 0.25 \text{ km}/\text{Ma}$
= 25 km de largeur en 100 Ma.

C'est le taux de laves émises,
auquel il faut ajouter
la masse mise en place en profondeur (granites, etc...).

En ajoutant les roches plutoniques

Taux de production total

≈

50 km³/Ma/km



Taux de production total

≈

50 km³/Ma/km

soit

125 km de largeur
ajoutée en 100 Ma.

≈ 1500 km en 1 Ga

Pour ≈ 55.000 km de subduction

3.2 x 10⁸ km² de continents en 4 Ga

A comparer à

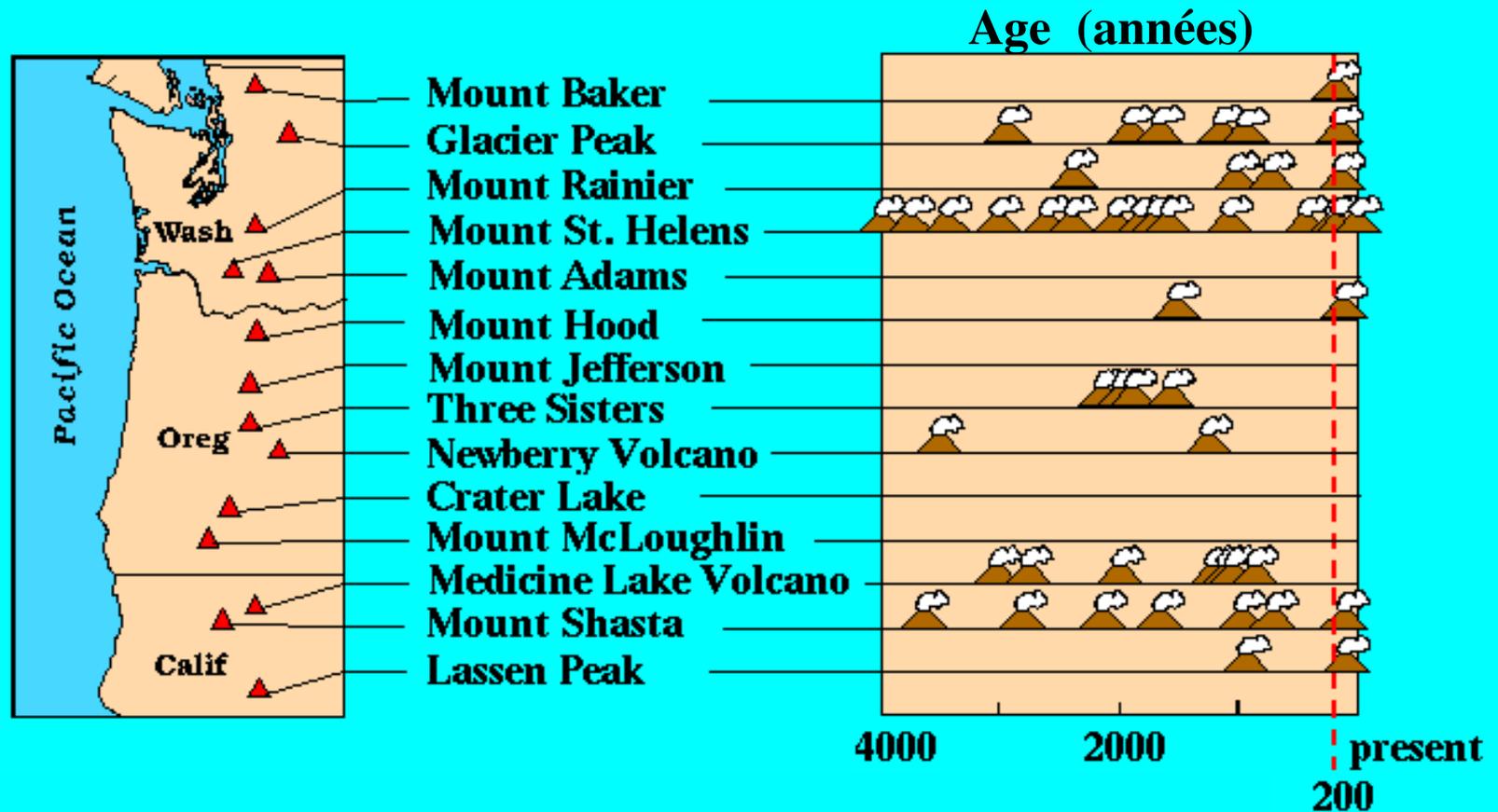
2.1 x 10⁸ km² de continents

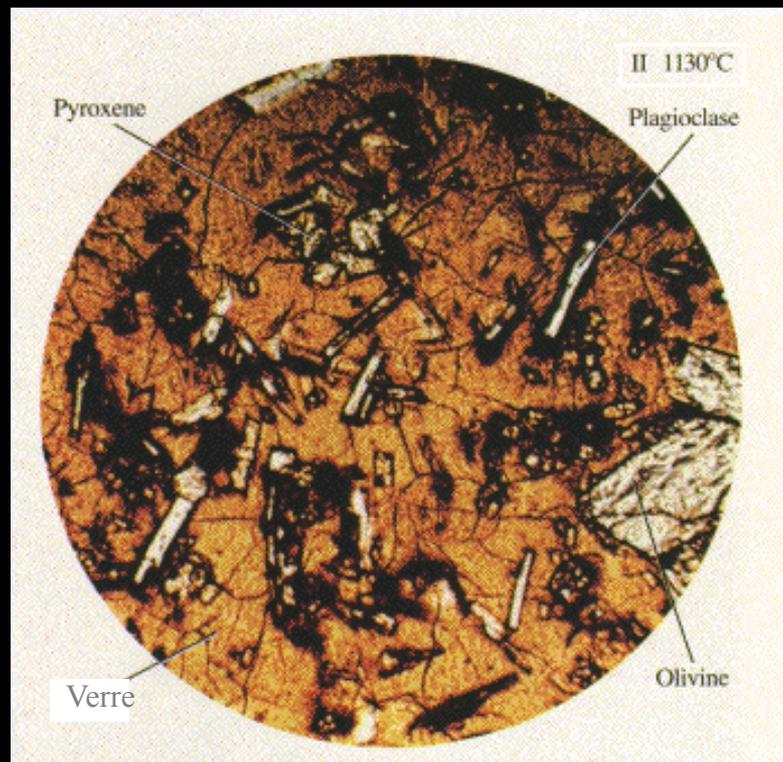
à l'heure actuelle



FIN

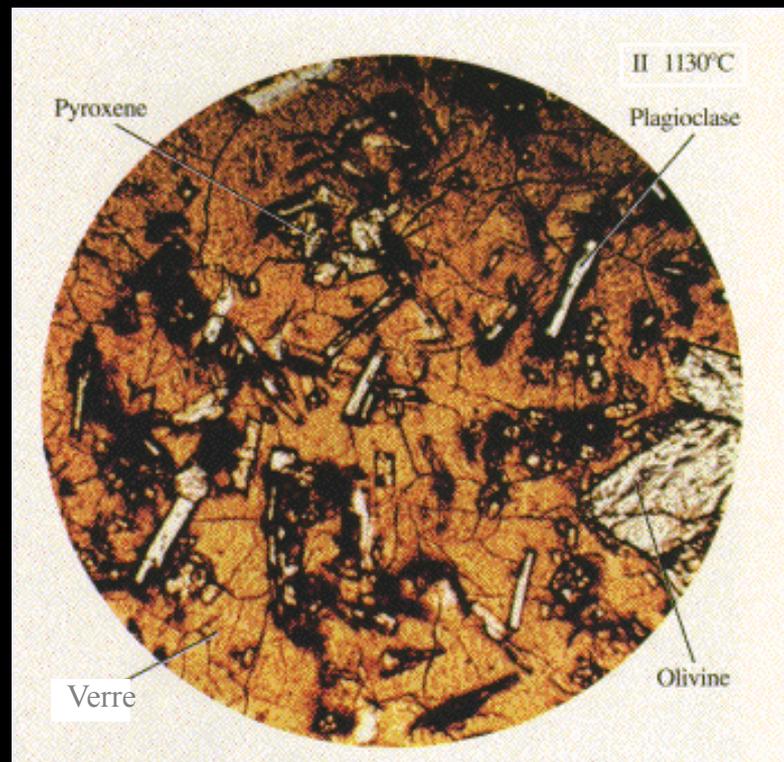
Les volcans de la chaîne des Cascades





Cristallisation : chaque minéral a le **même** rapport $\left[\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right]$ que le bain et un rapport $\left[\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} \right]$ **différent**.

Conséquence : le rapport $\left[\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} \right]$ du bain change.

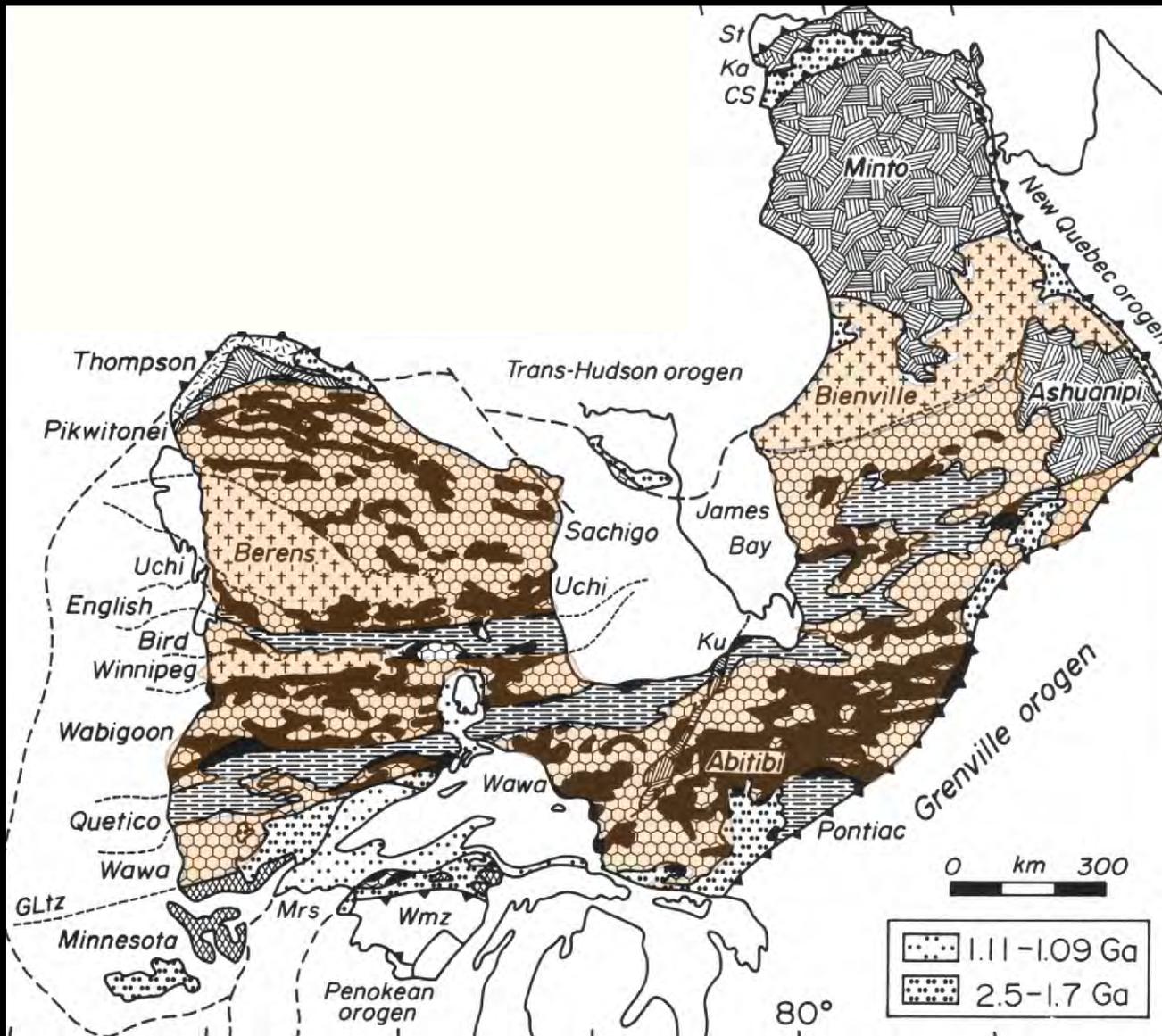


Conséquence : le rapport $\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$ du bain change.

Les cristaux et le magma résiduel ont des rapports isotopiques différents.

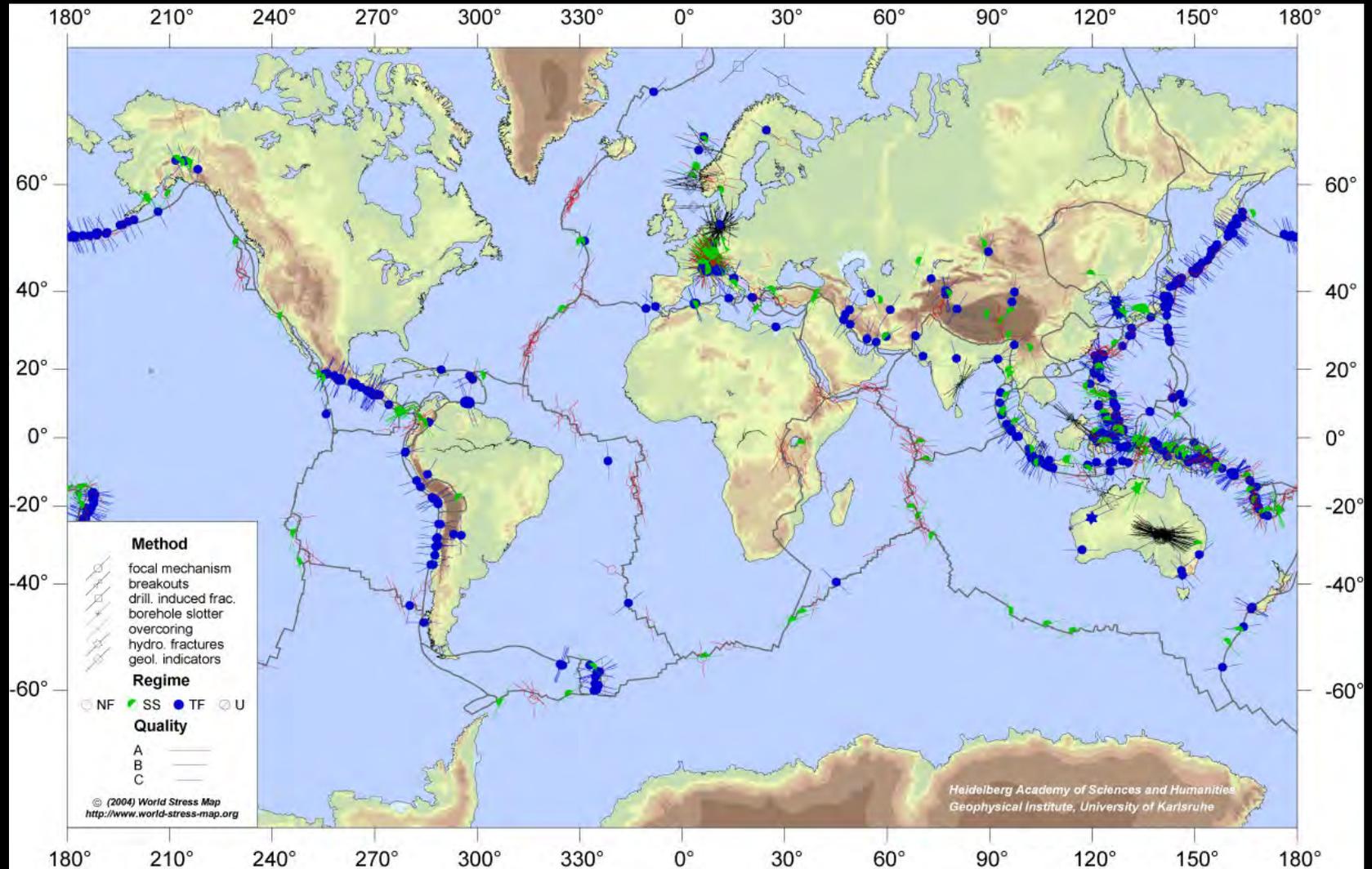
Même principe à la fusion:

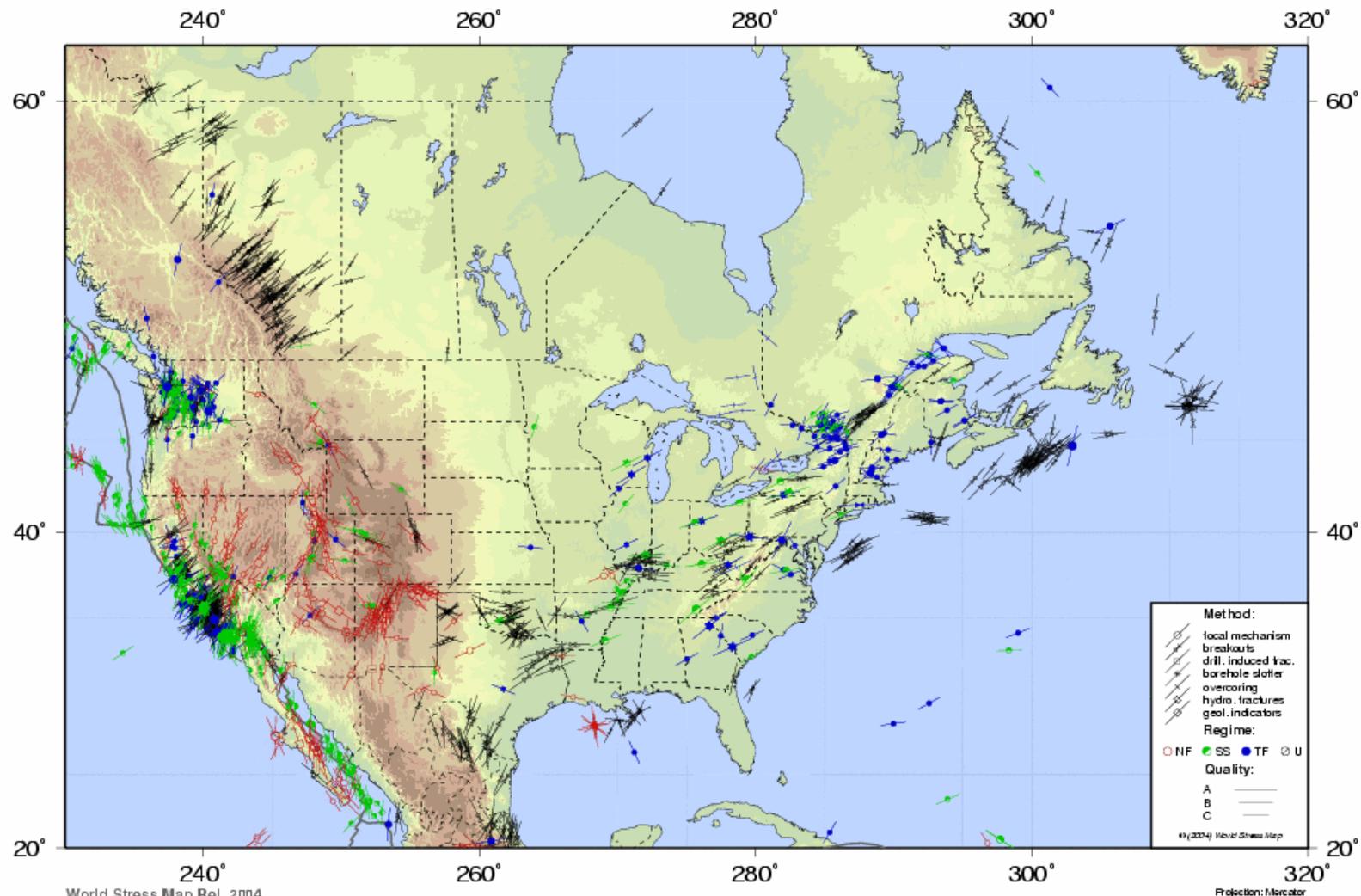
le magma et le résidu solide ont des rapports différents.



Province Supérieure (Canada)

Intraplate stresses





World Stress Map Rel. 2004
 Heidelberg Academy of Sciences and Humanities
 Geophysical Institute, University of Karlsruhe

