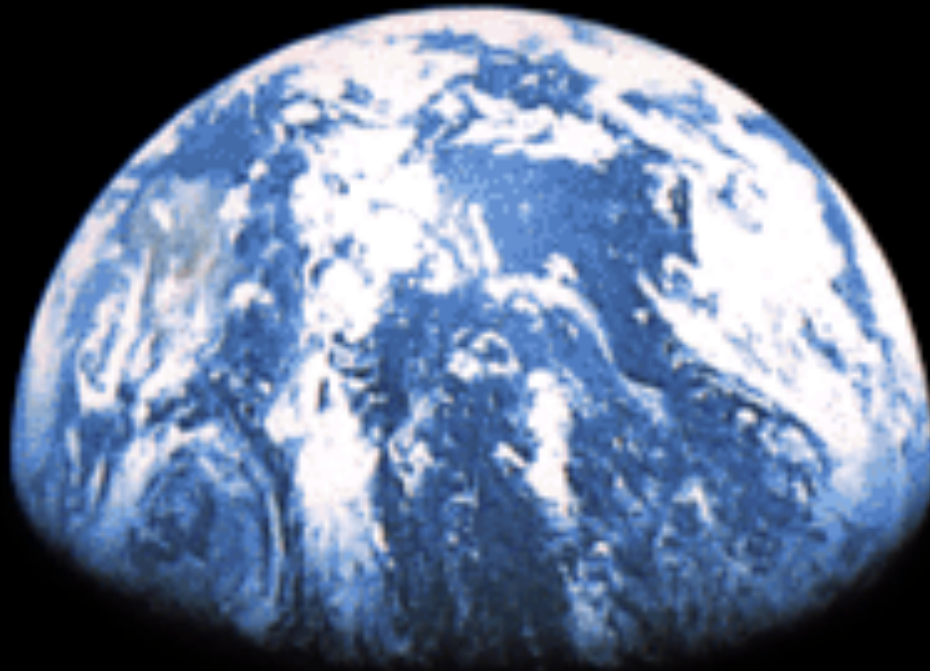


# OBSERVER ET MESURER LA TERRE

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.







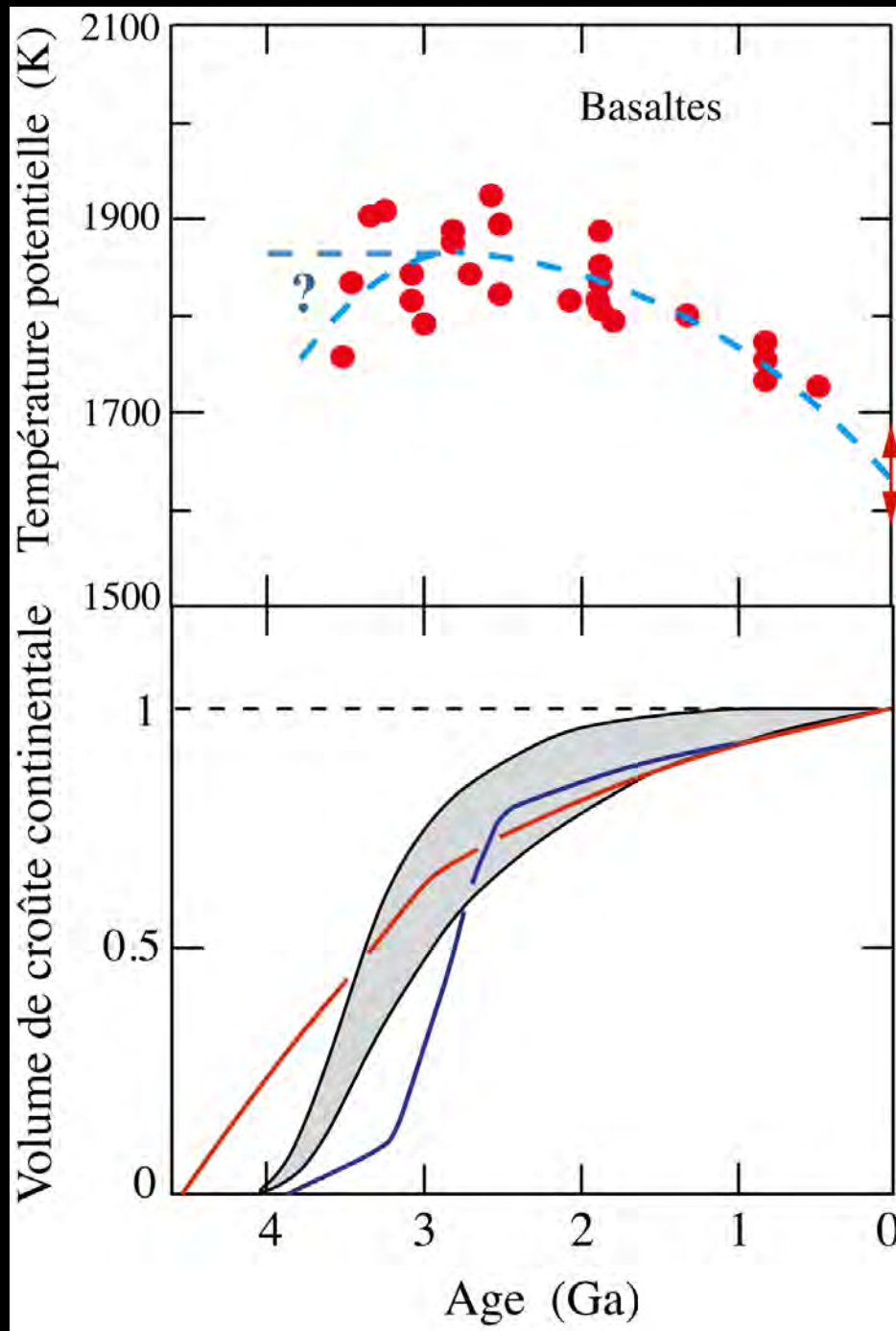
## Quelques caractéristiques fondamentales de la Terre en tant qu'objet d'études scientifiques. II.

### Les roches

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

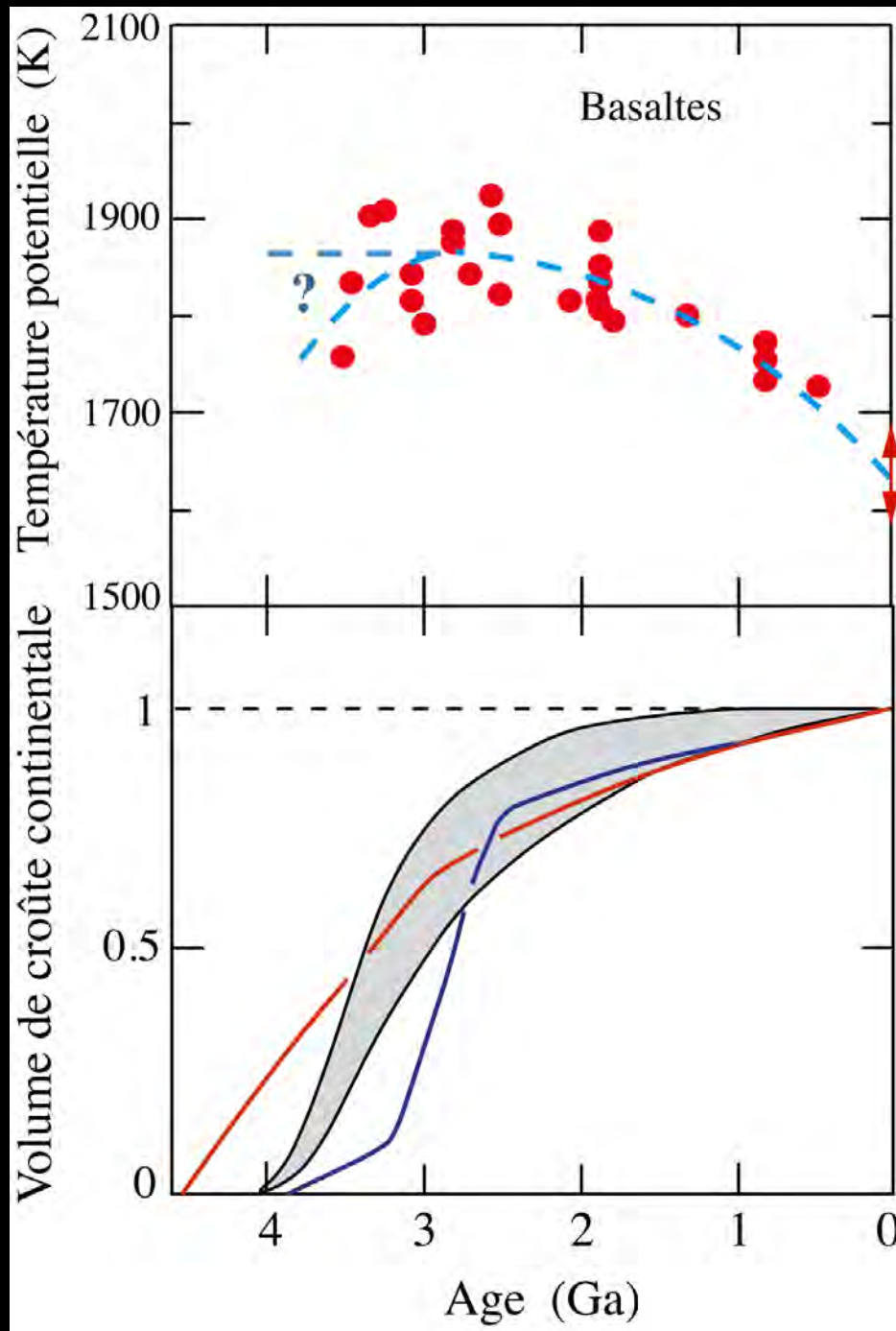
# EVOLUTION "SECLAIRE"

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

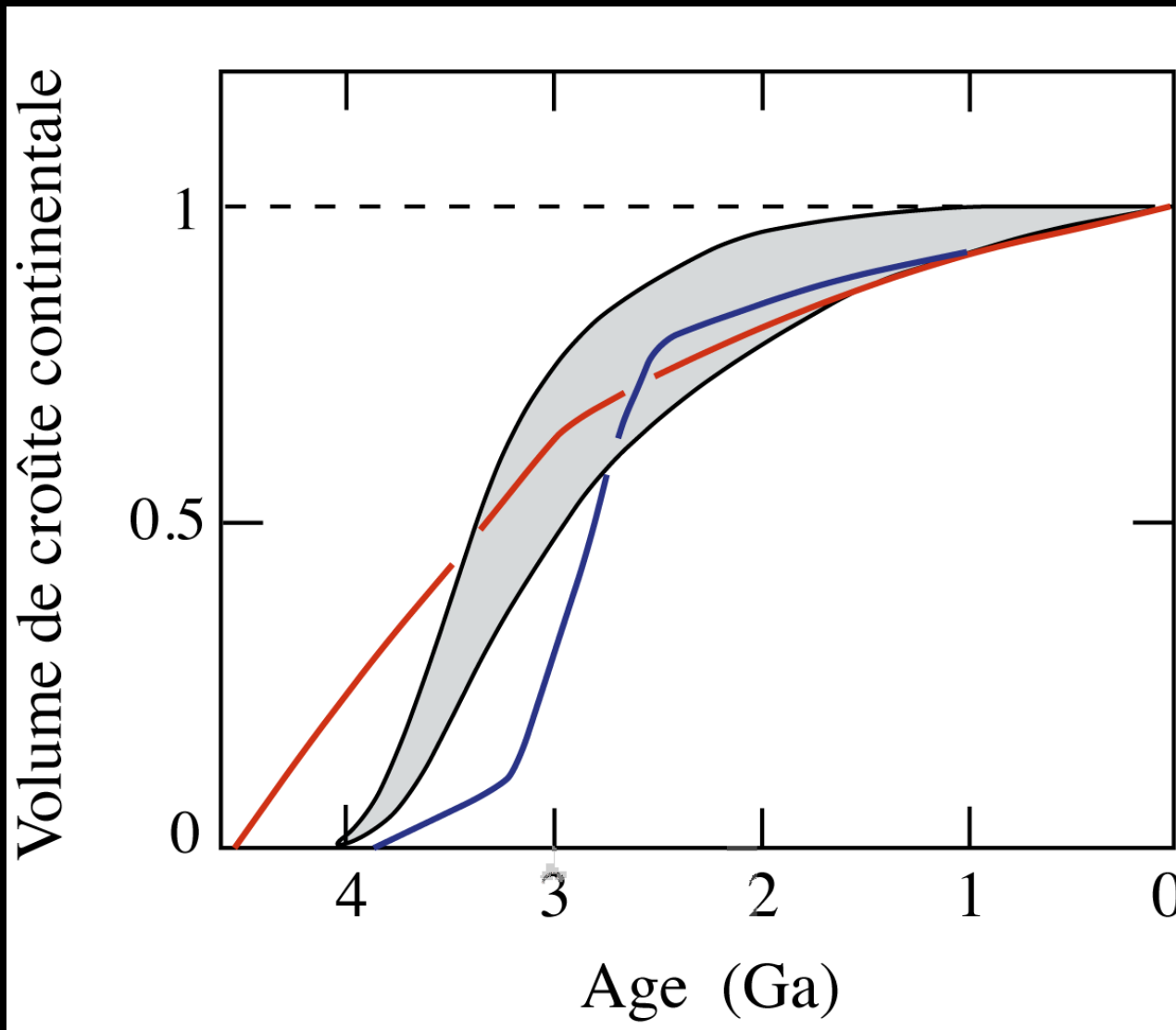


# EVOLUTION "SECLAIRE"

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



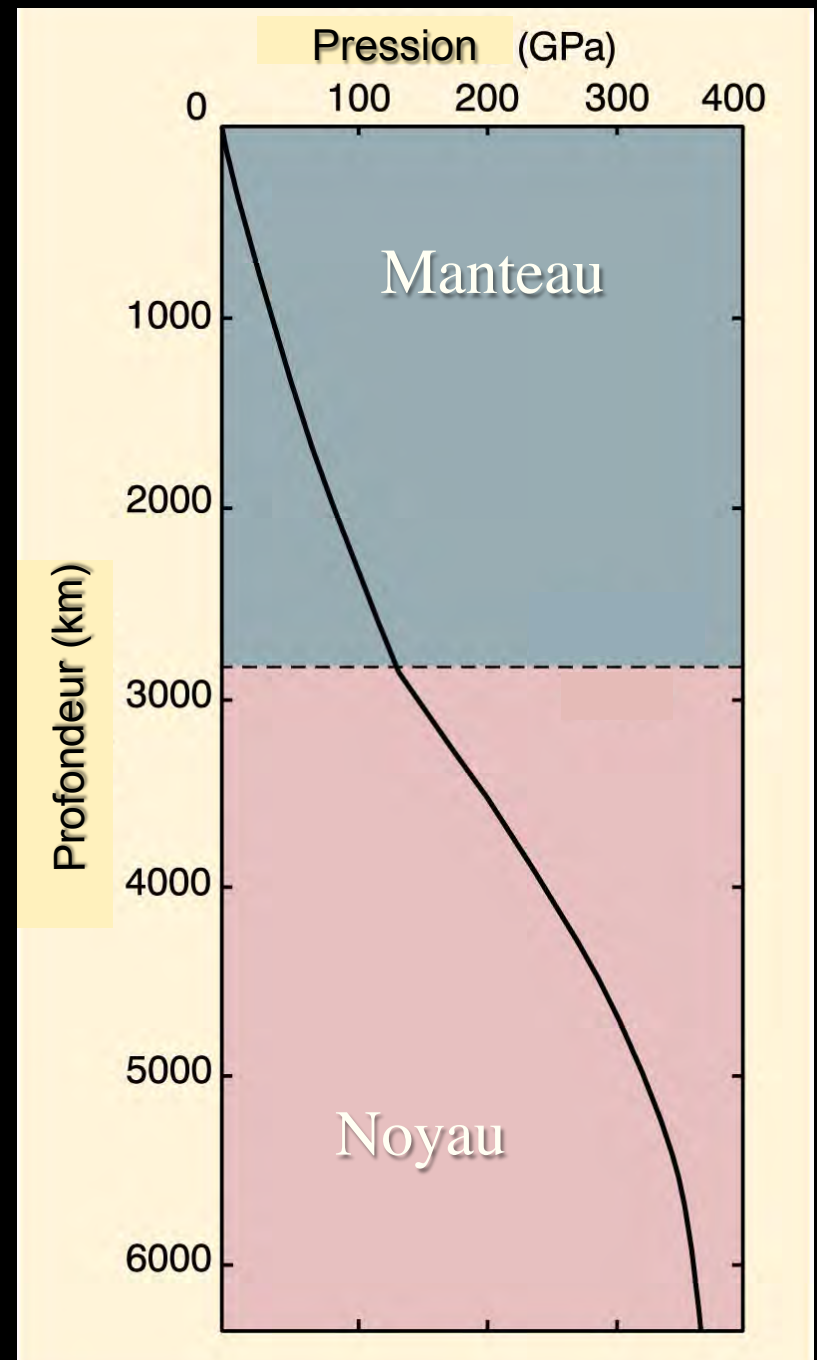


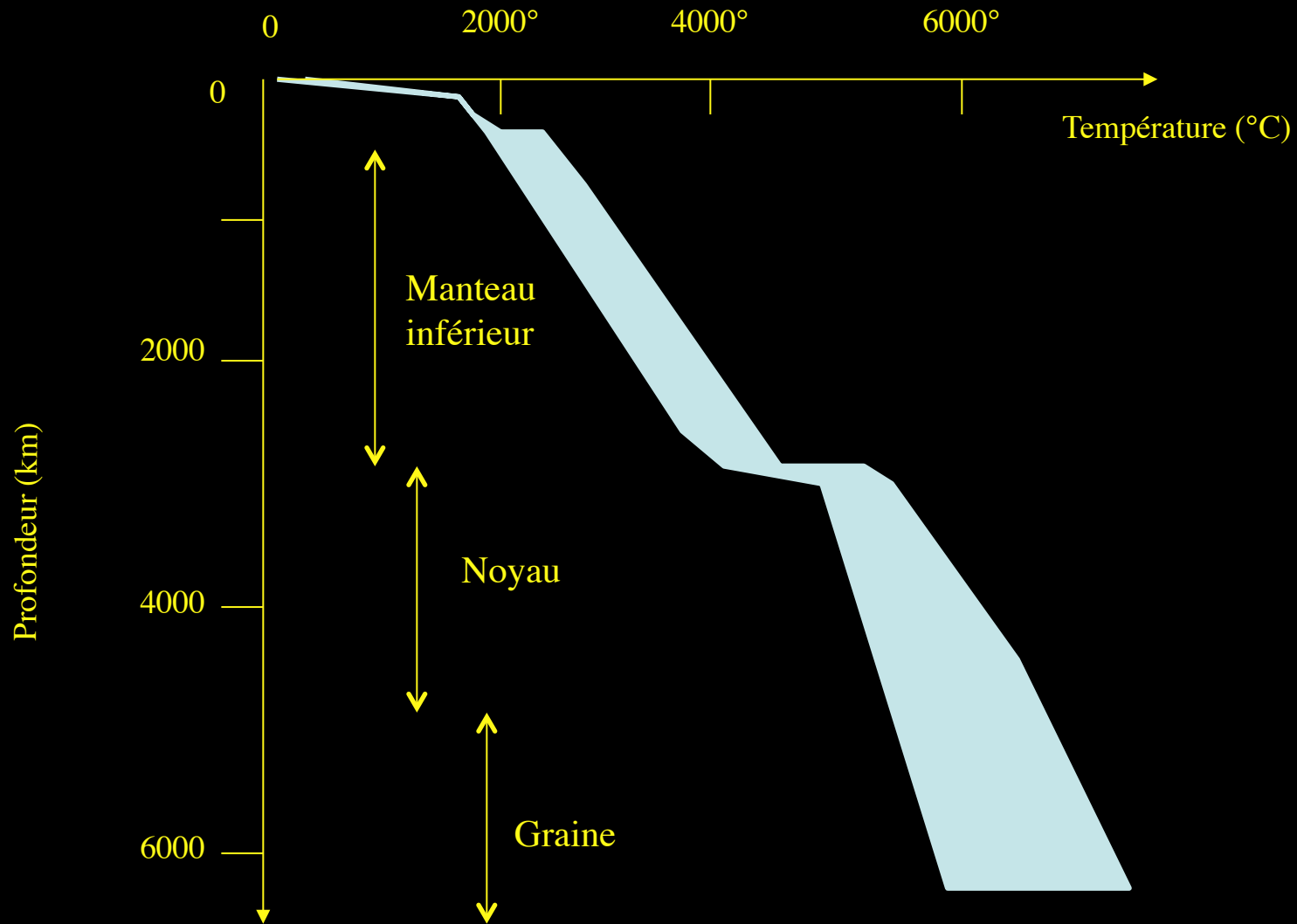


Croissance "nette"  
résultante de création et destruction

# 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

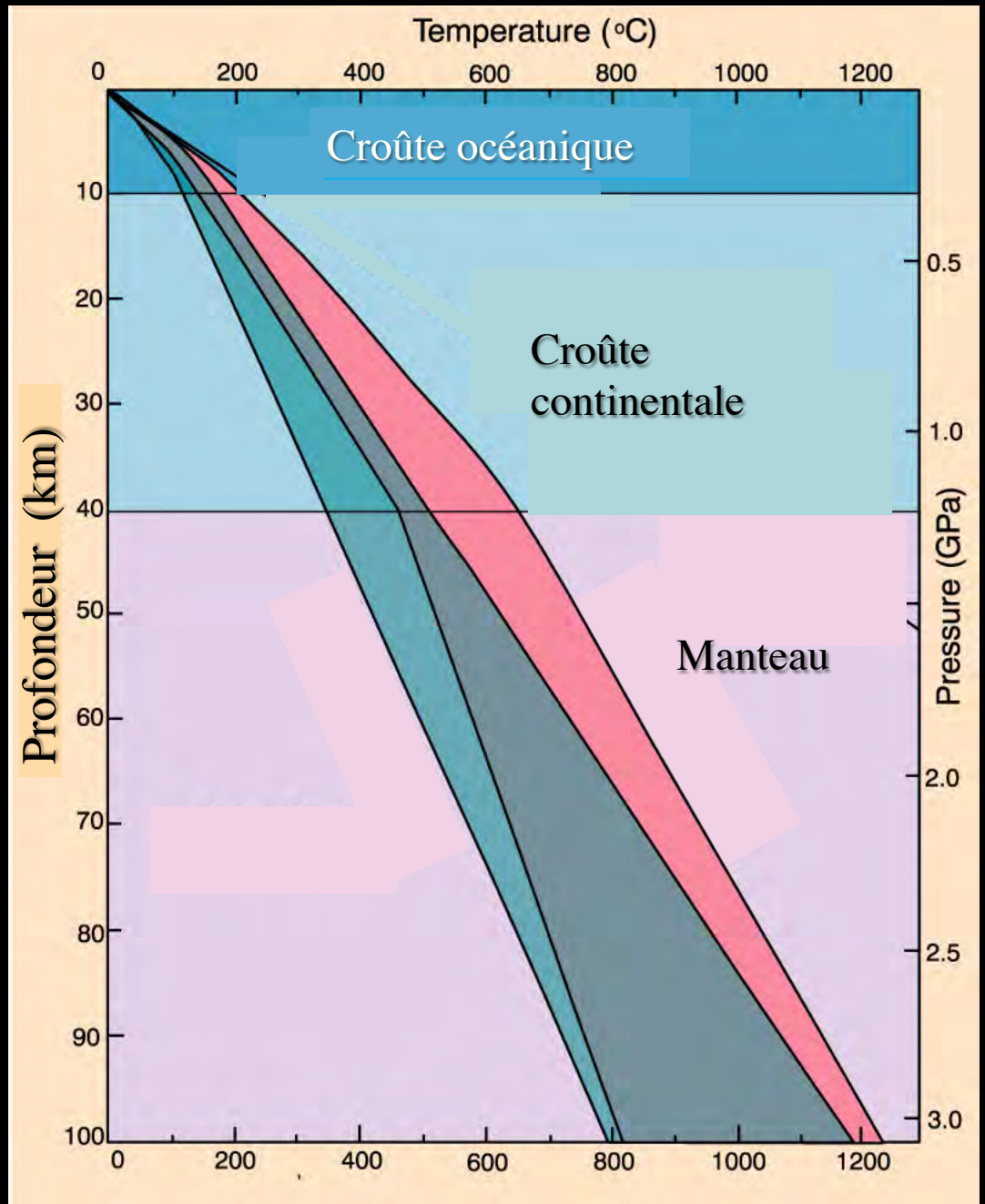
T(K)	Méthode
1590	Flux de chaleur et profondeur des fonds marins
1590 – 1750	Composition(s) des laves de dorsales océaniques
1550 – 1650	Isentrope passant par le changement de phase Ol-Wa

# DEFORMATION

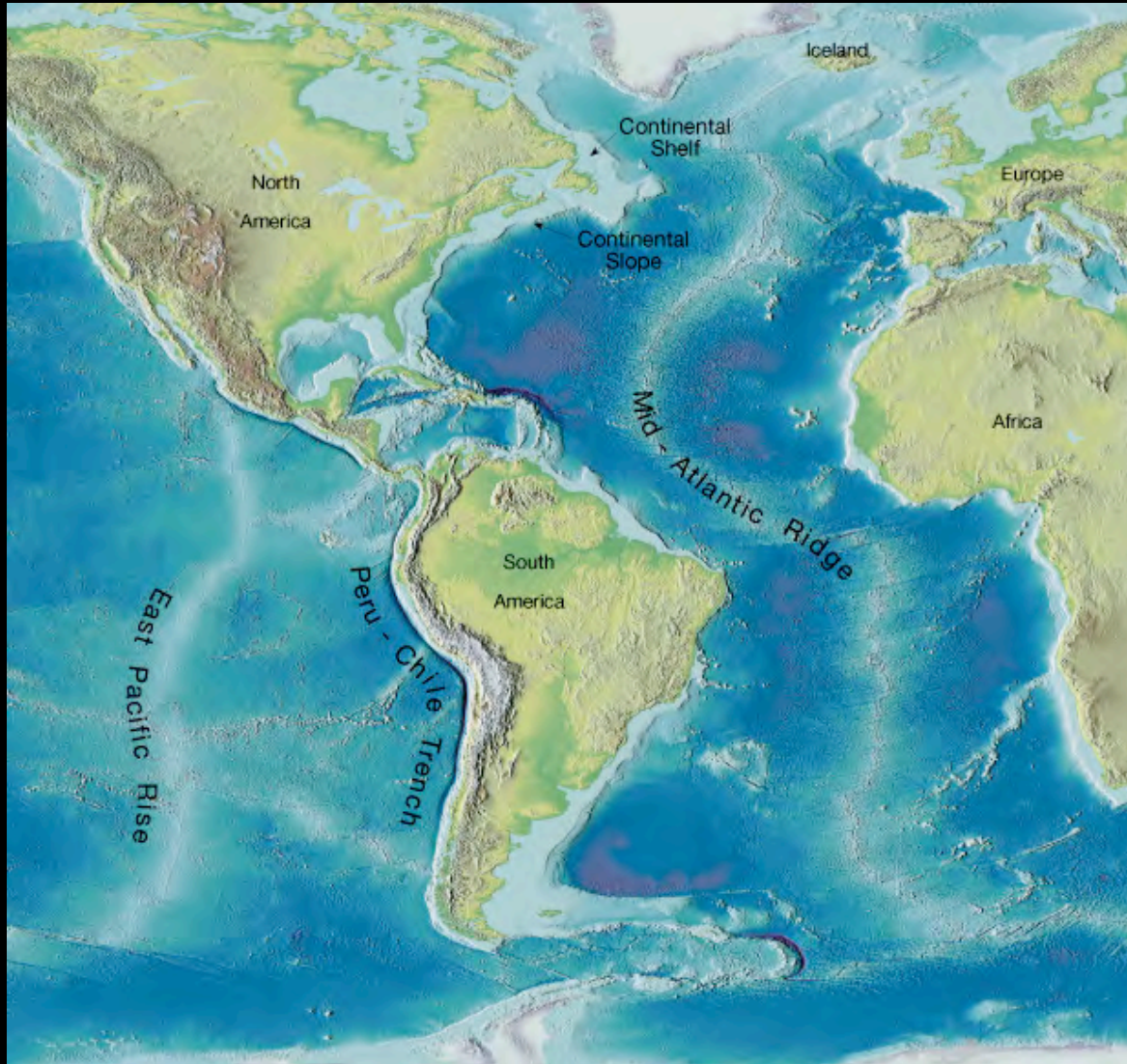
Elastique-cassant

Plastique-ductile

Fluage



# Relief terrestre

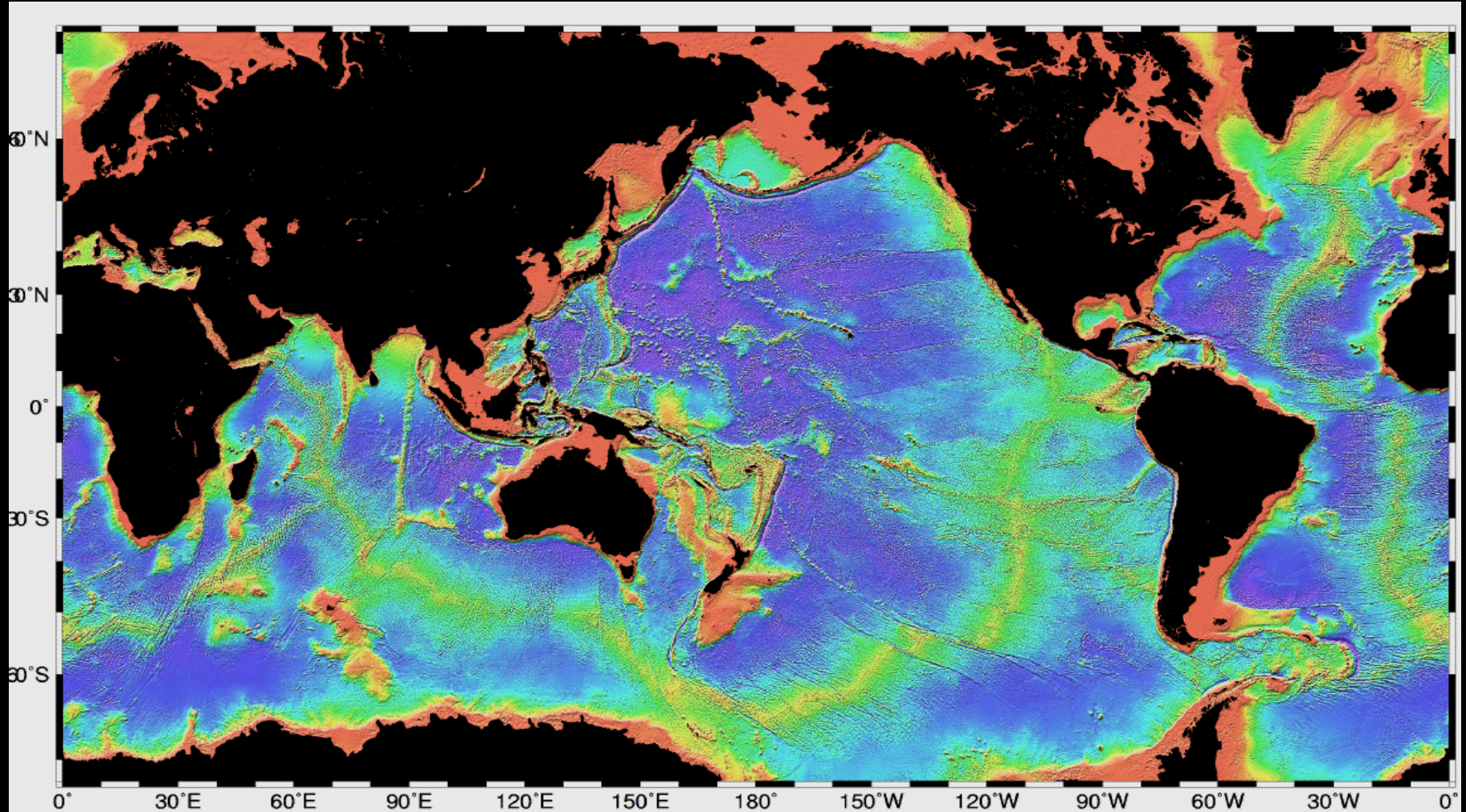


**Subdivision 1**  
**Continents**  
**Bassins océaniques**

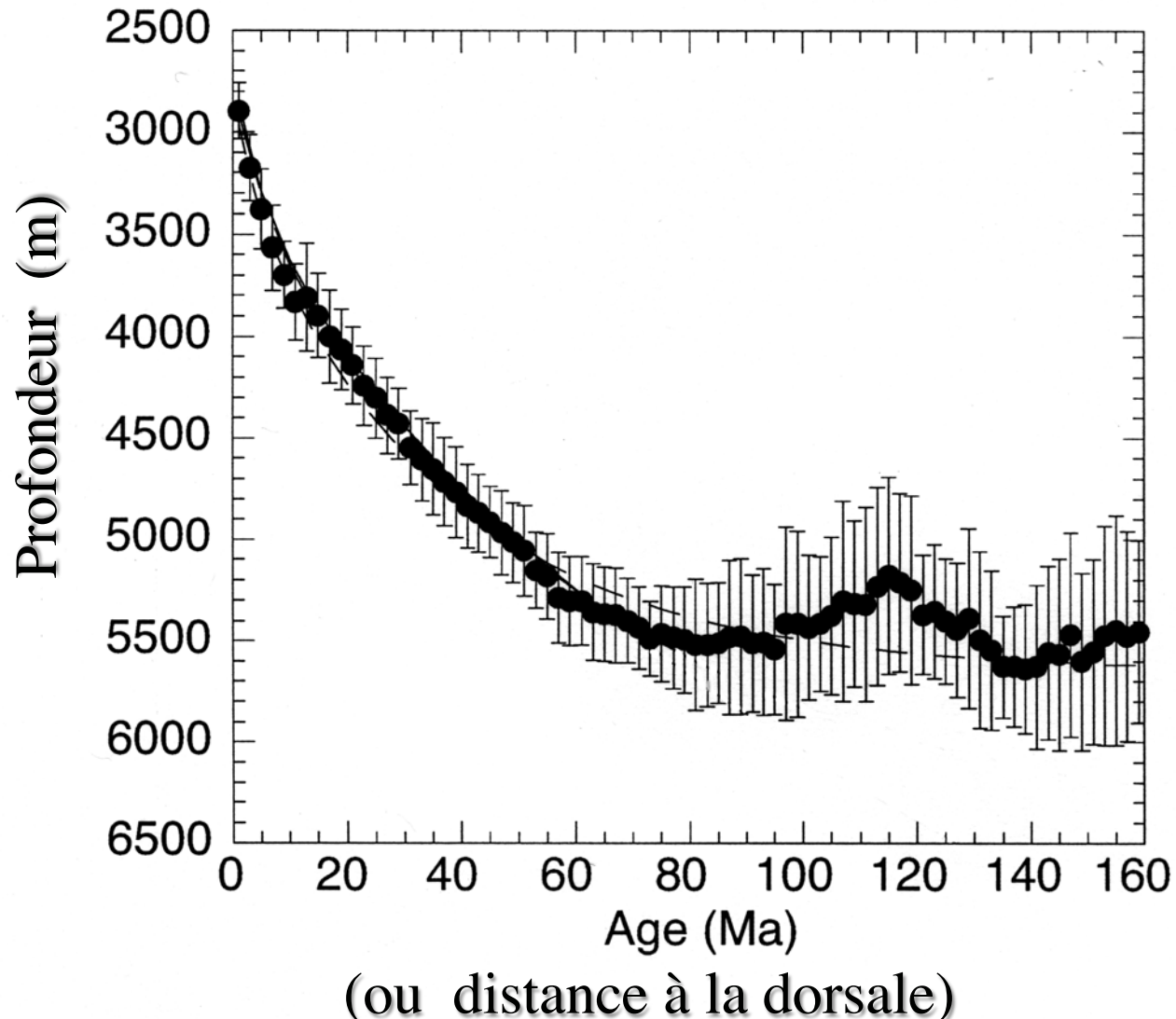
**Subdivision 2**  
**Continents:**  
**Chaînes de Montagne**  
**Fossés (Rhin)**  
**Océans:**  
**Dorsales**  
**Fosses (Antilles, Japon)**



# Les fonds marins

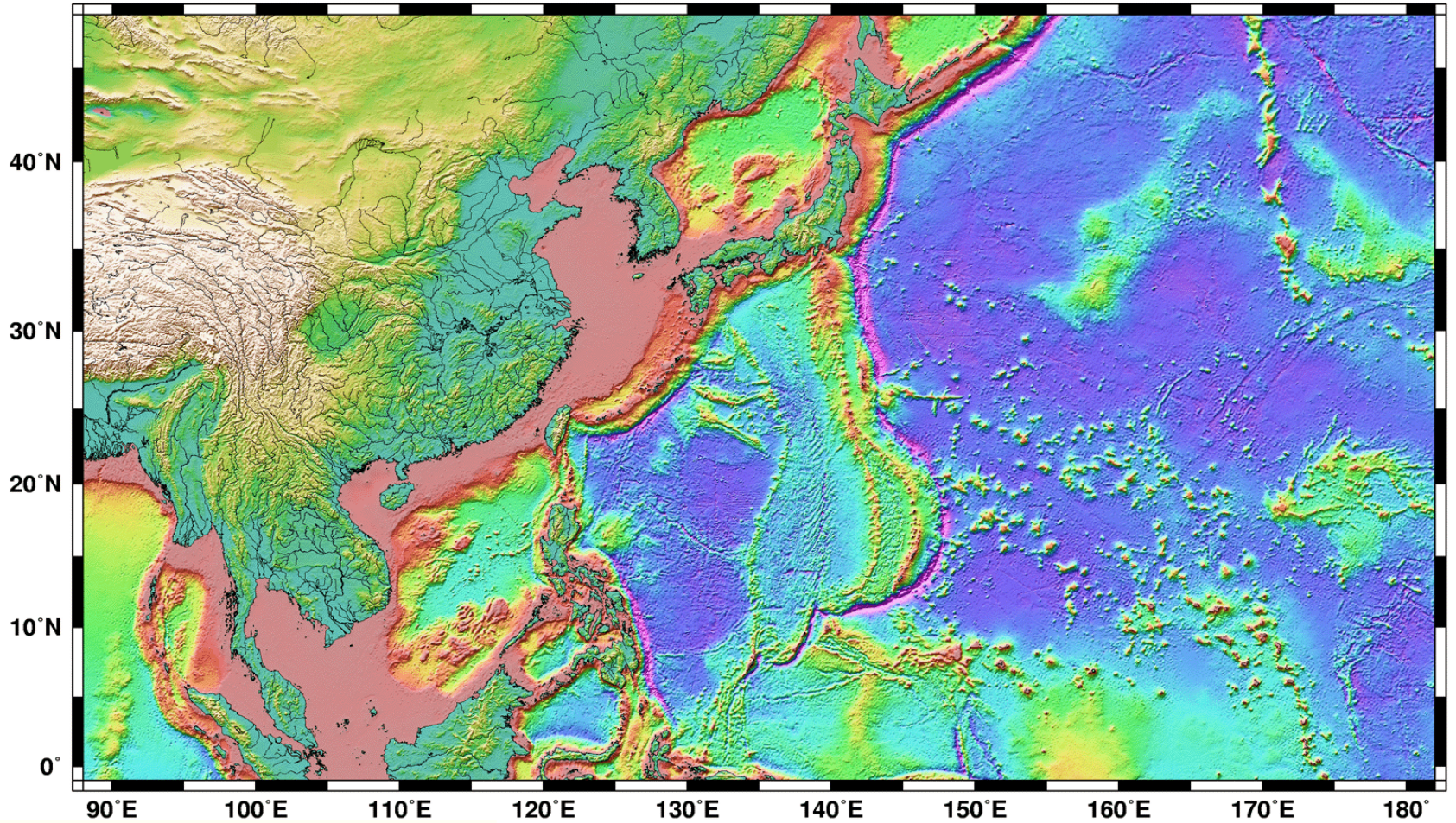


# Topographie des fonds marins



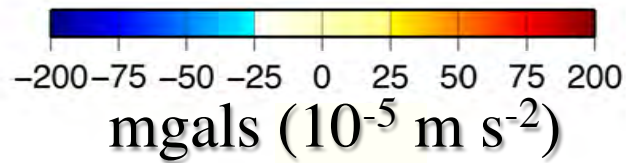
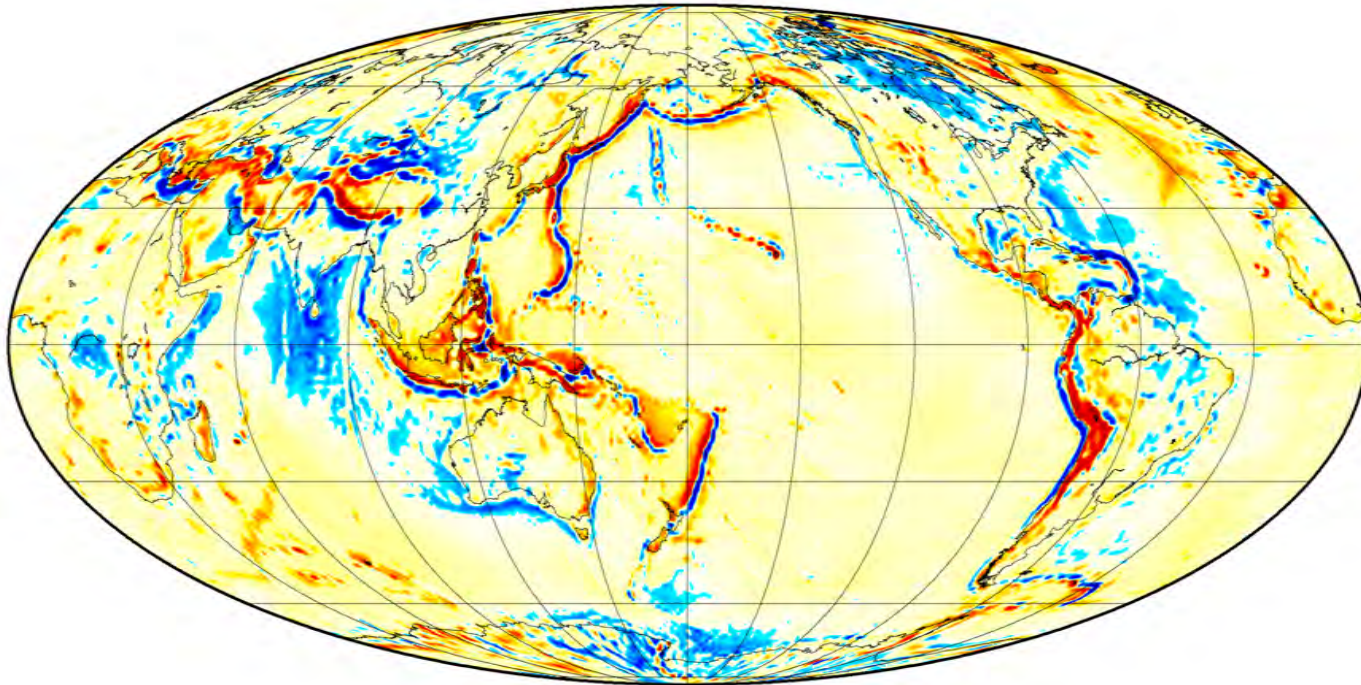


# Le Pacifique Ouest



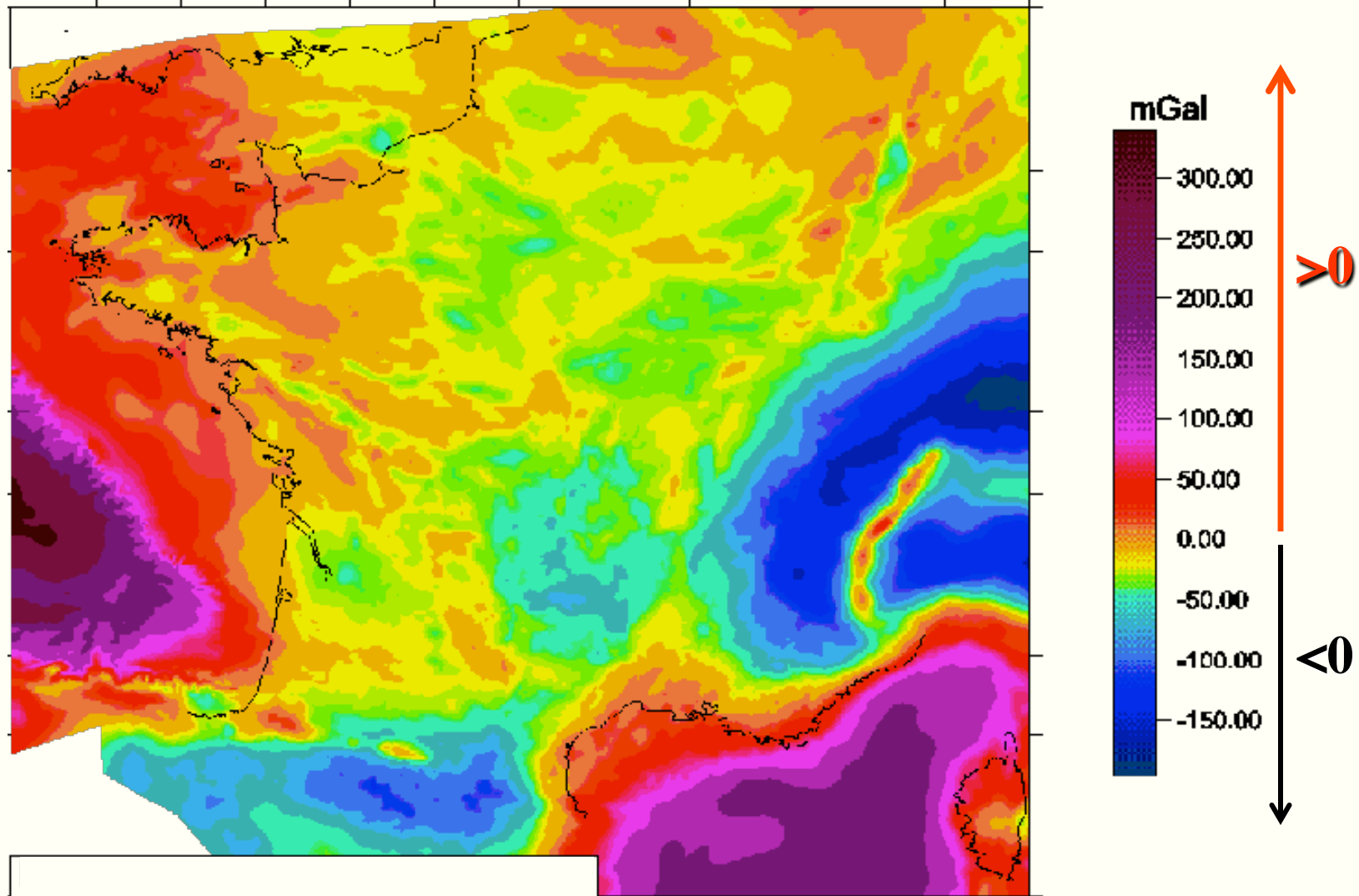


# Free Air gravity



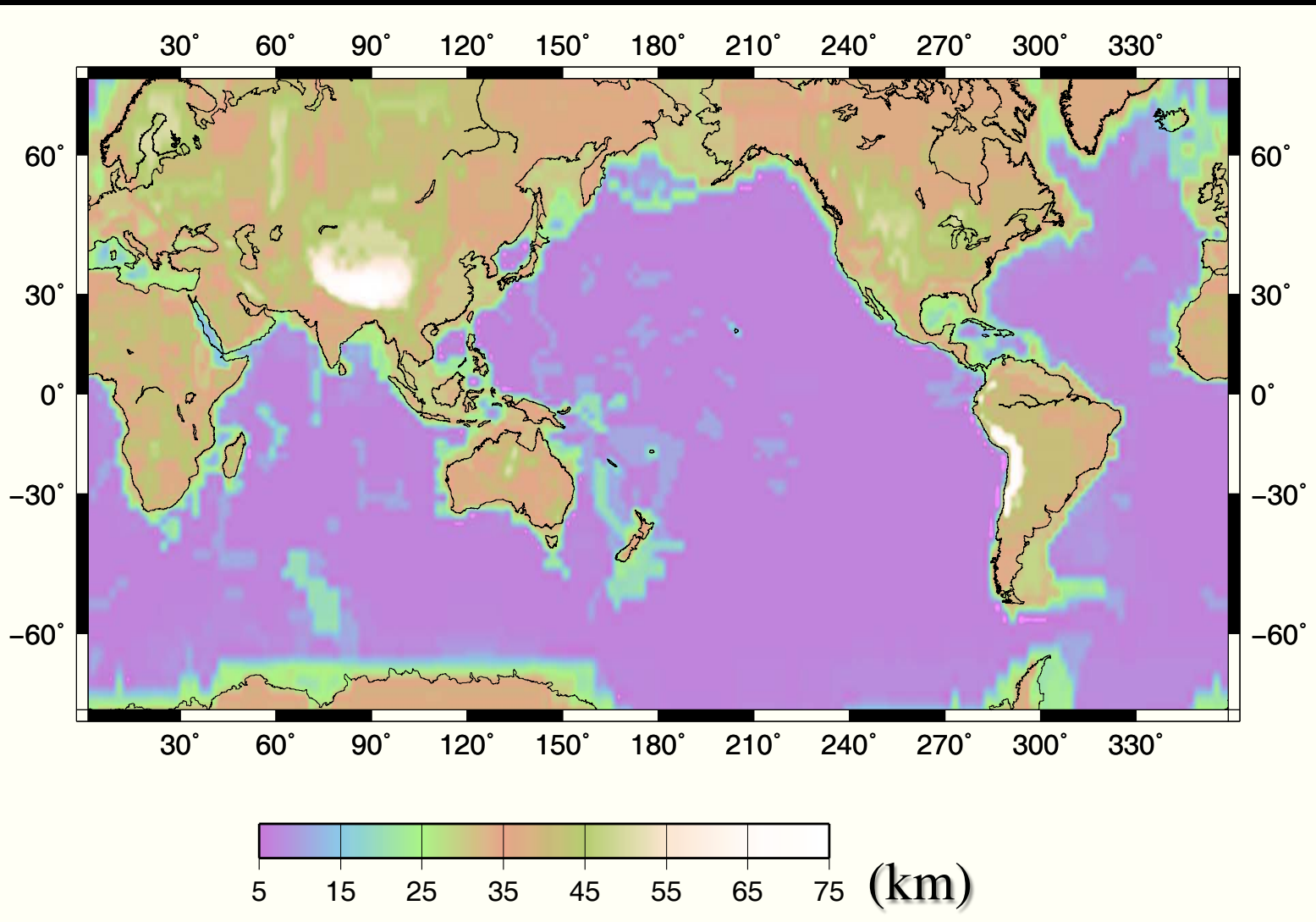
1 gal =  $1 \text{ cm s}^{-2}$

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

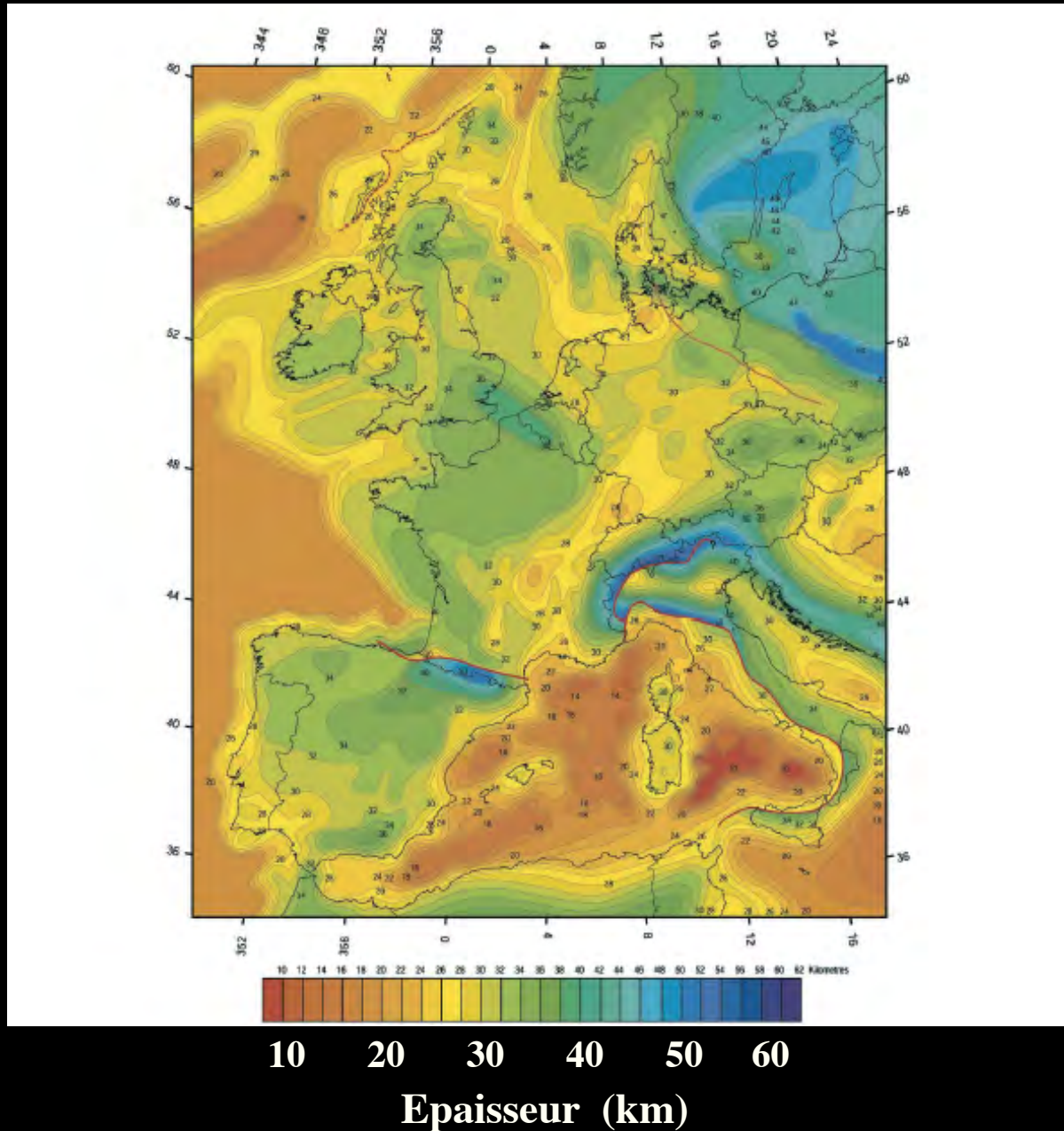




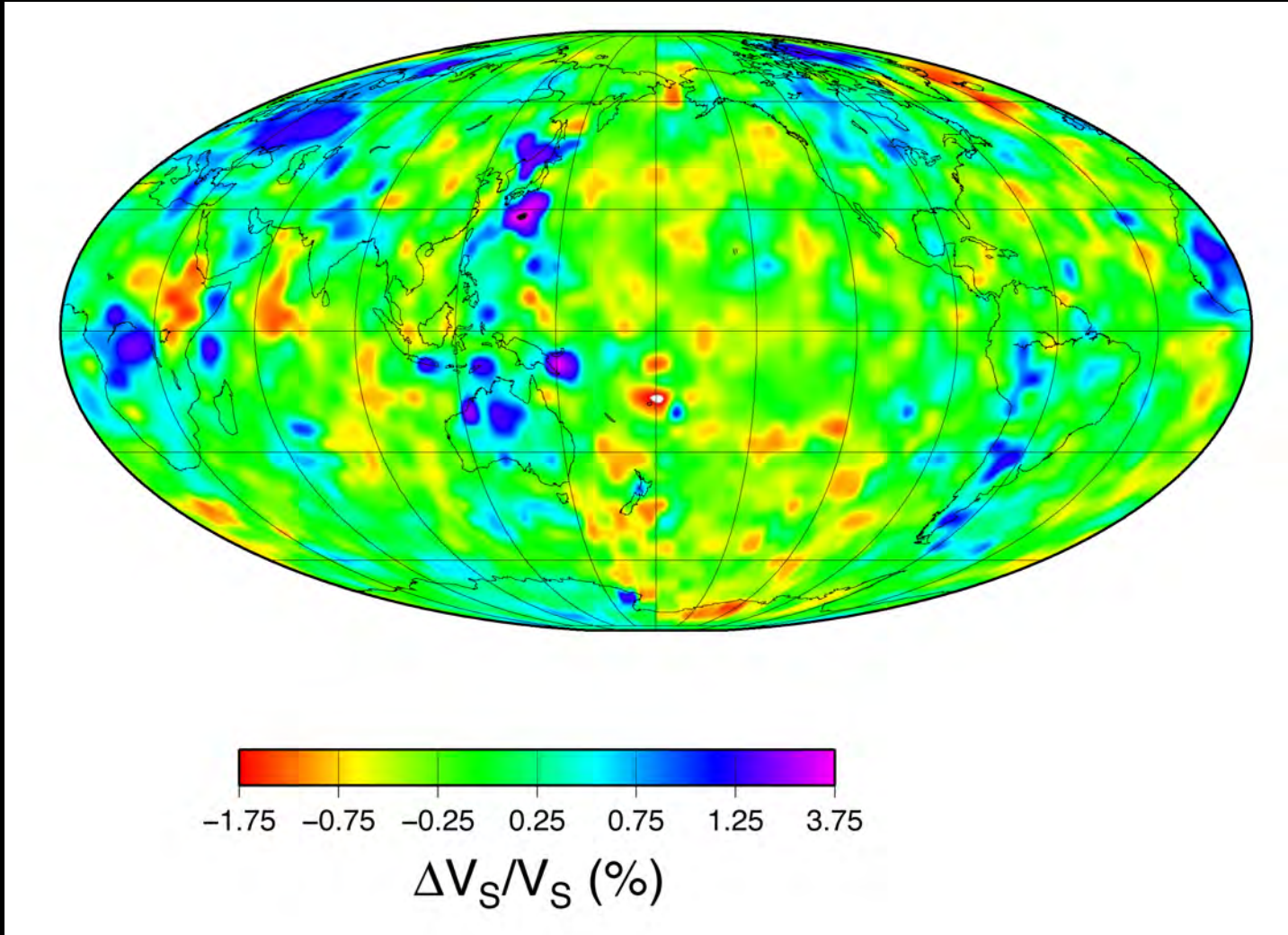
# Epaisseur de la croûte terrestre



# La croûte Européenne

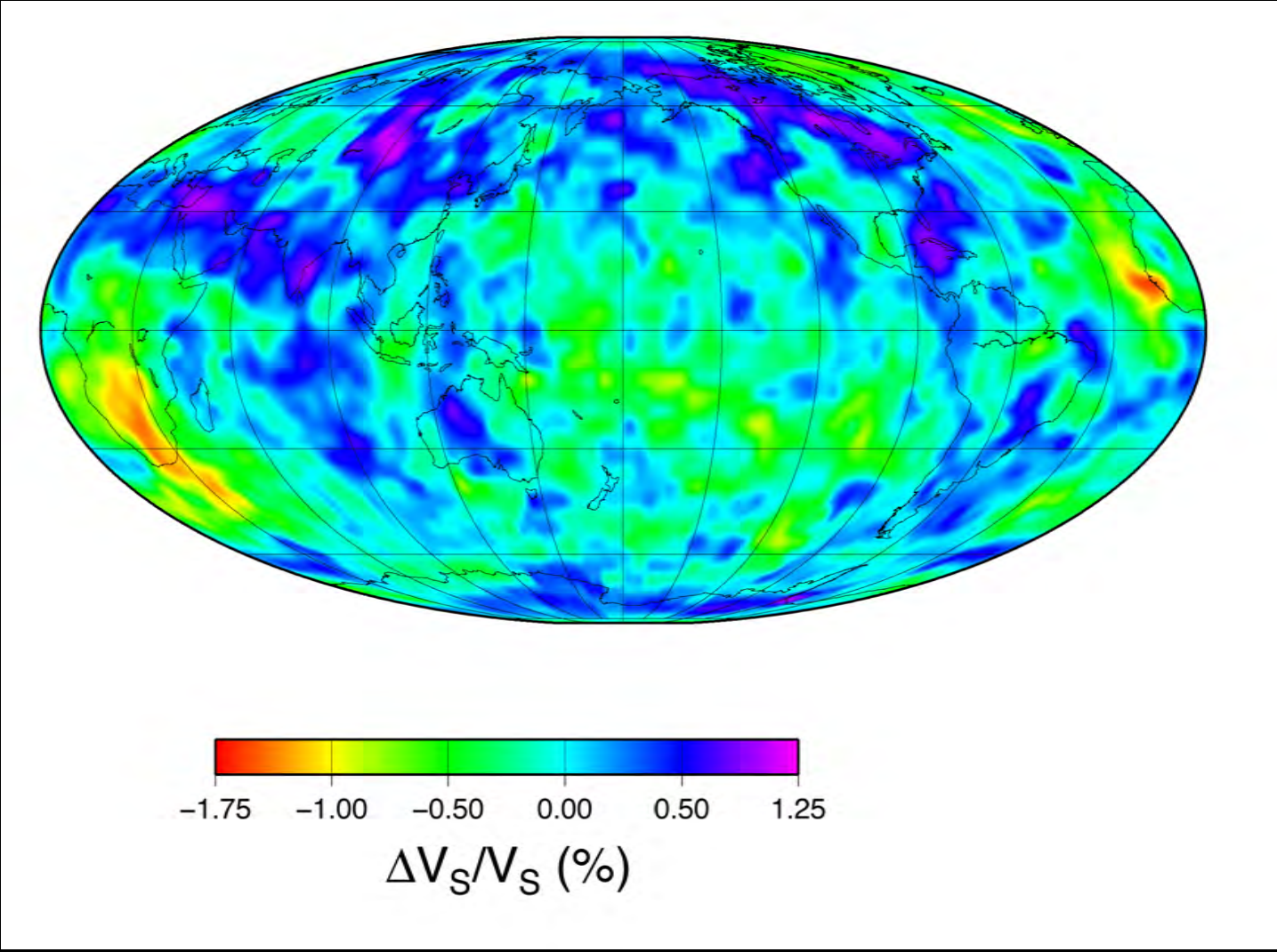


# Anomalies de vitesses sismiques à 350 km de profondeur

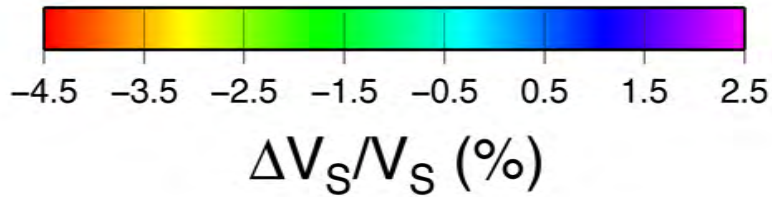
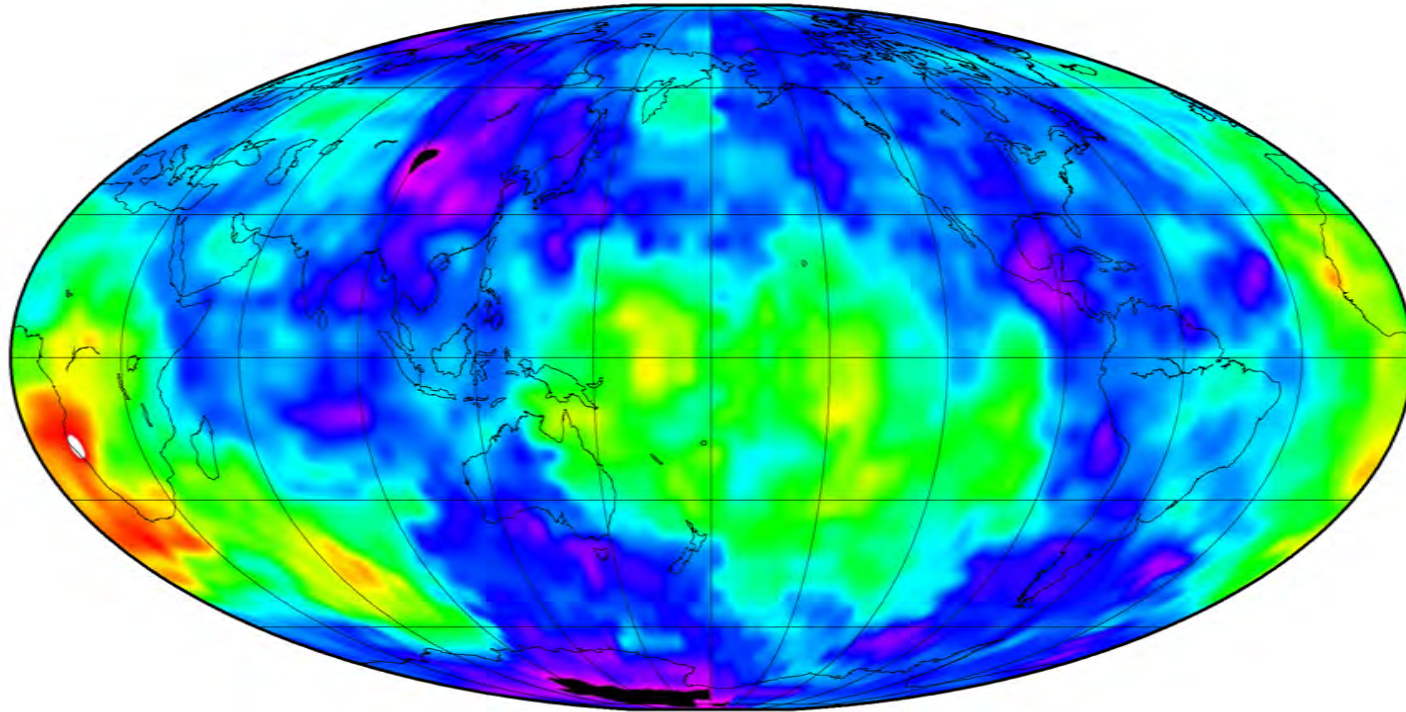




# Anomalies de vitesses sismiques à 1810 km de profondeur

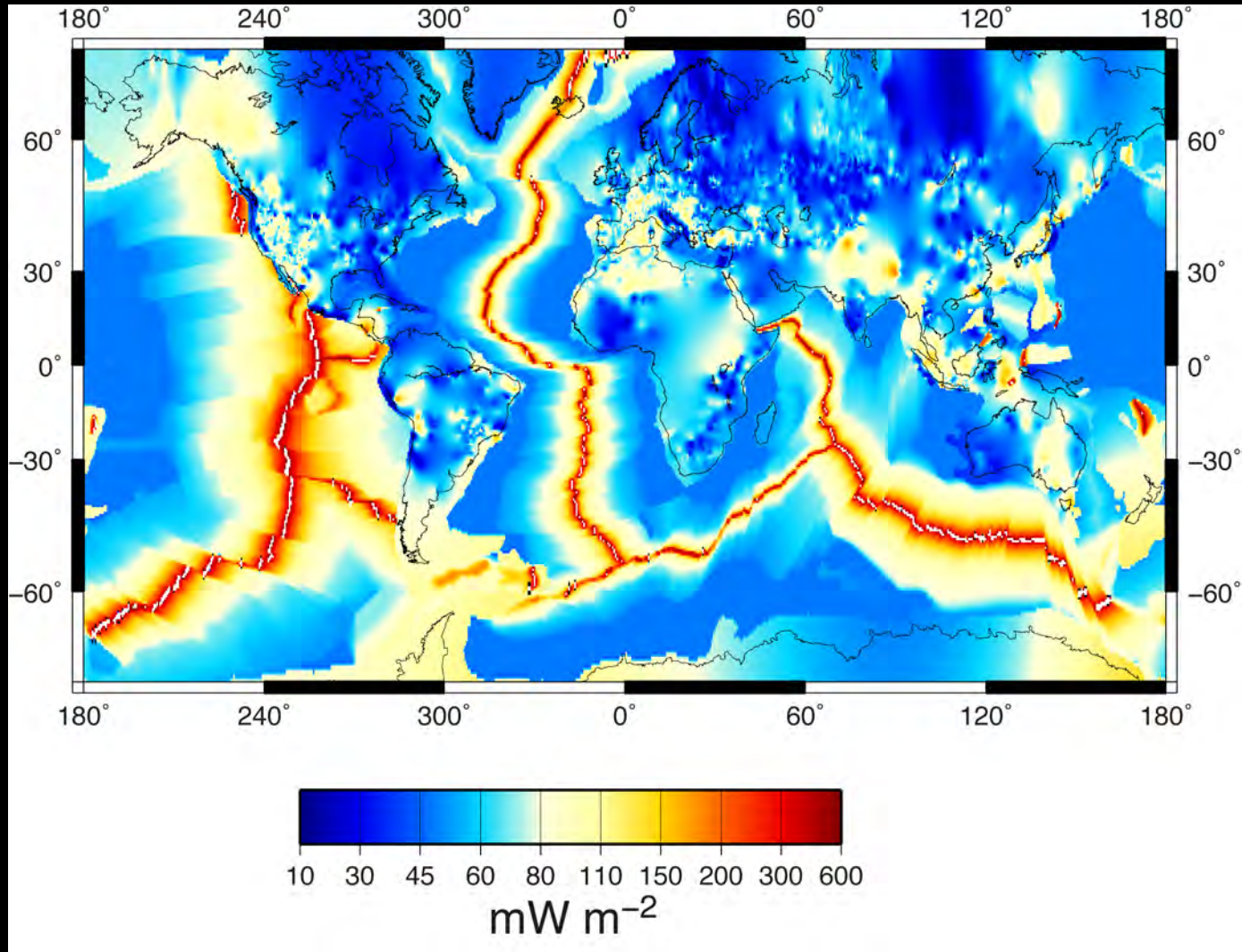


# Anomalies de vitesses sismiques à 2800 km de profondeur

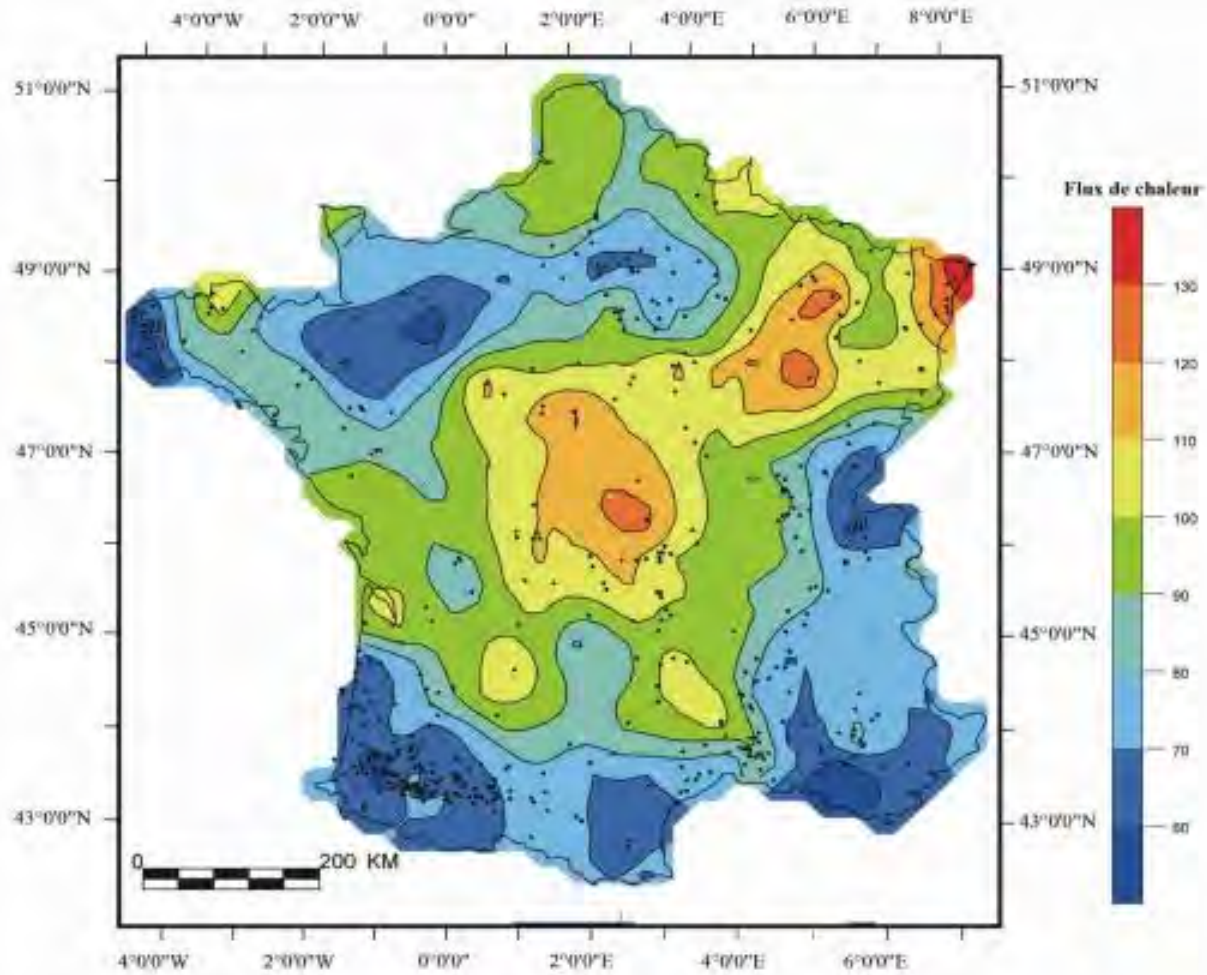




# Flux de chaleur de surface

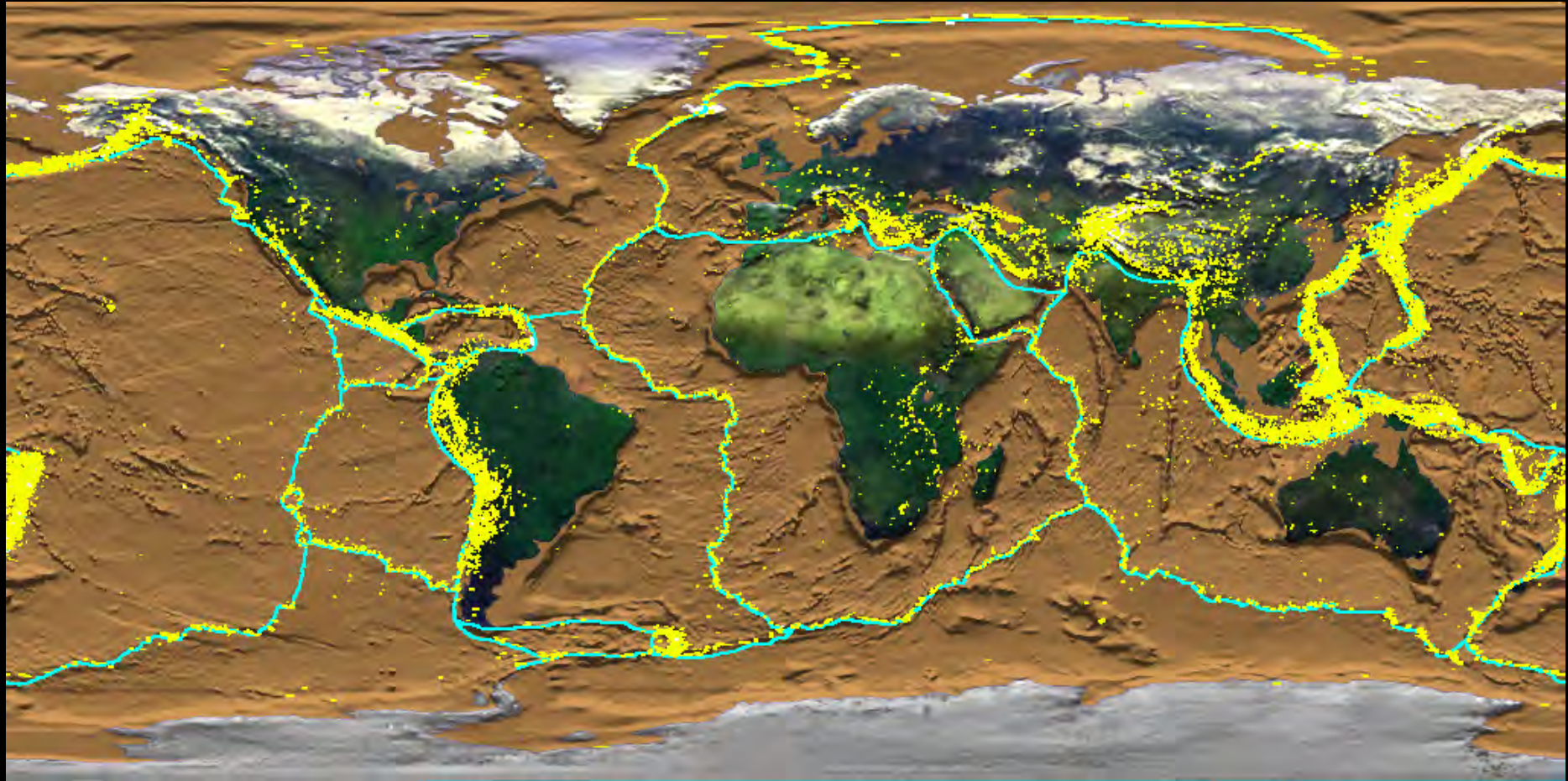


# Flux de Chaleur ( corrigé )





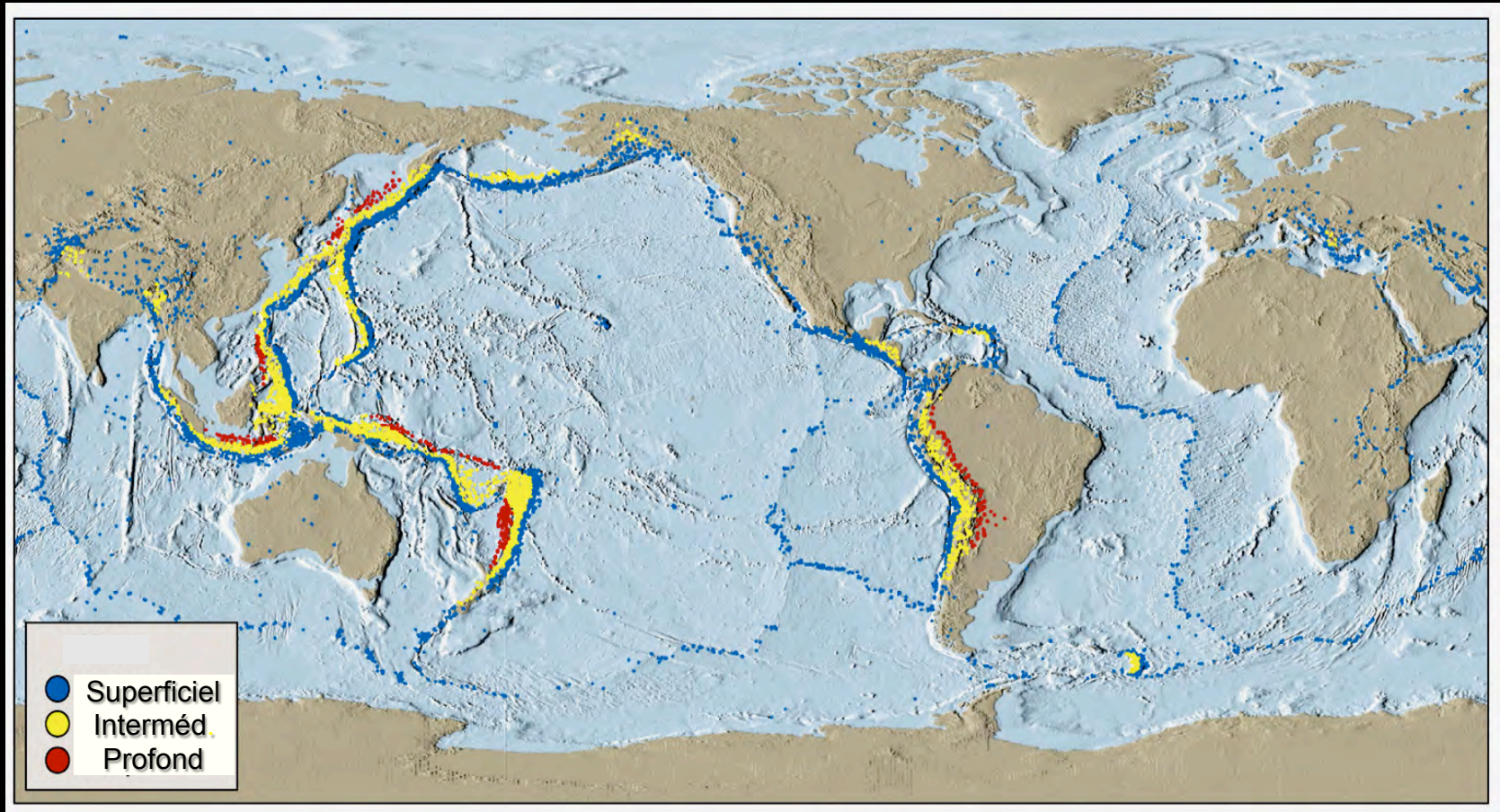
# Tremblements de terre





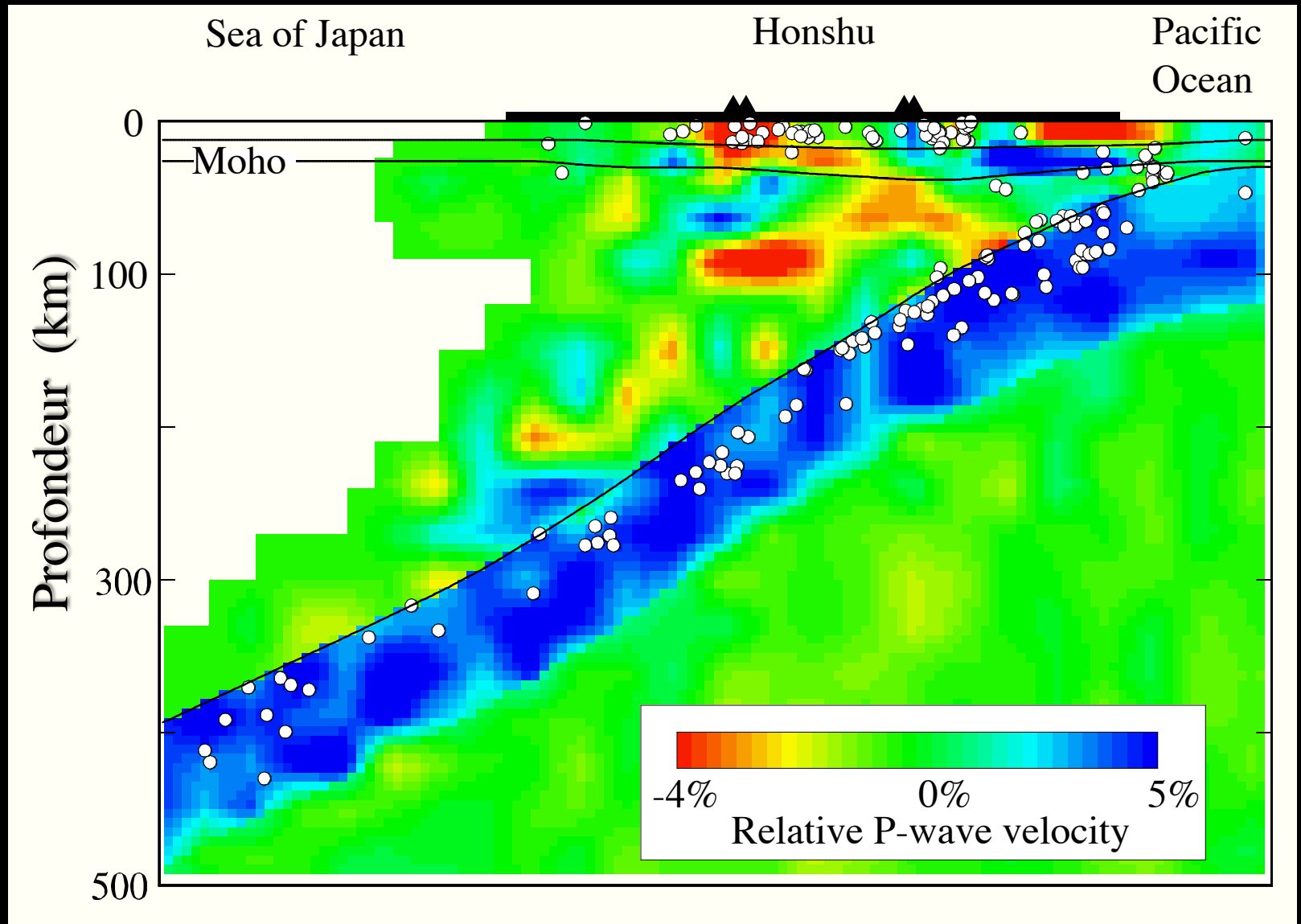


# Profondeur des tremblements de Terre



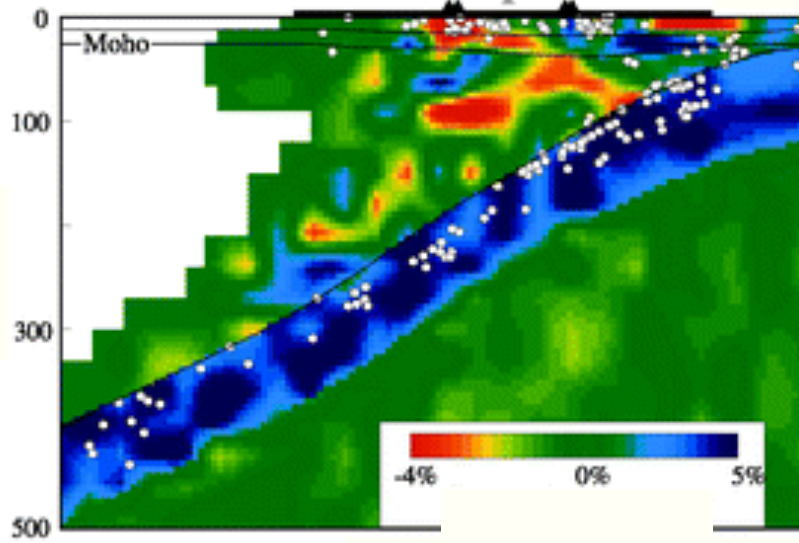


# Subduction sous le Japon

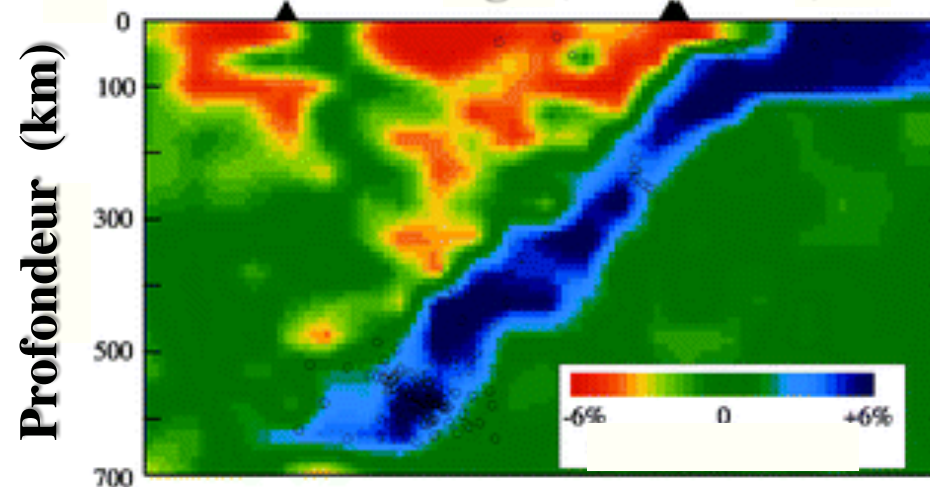


Création de croûte continentale

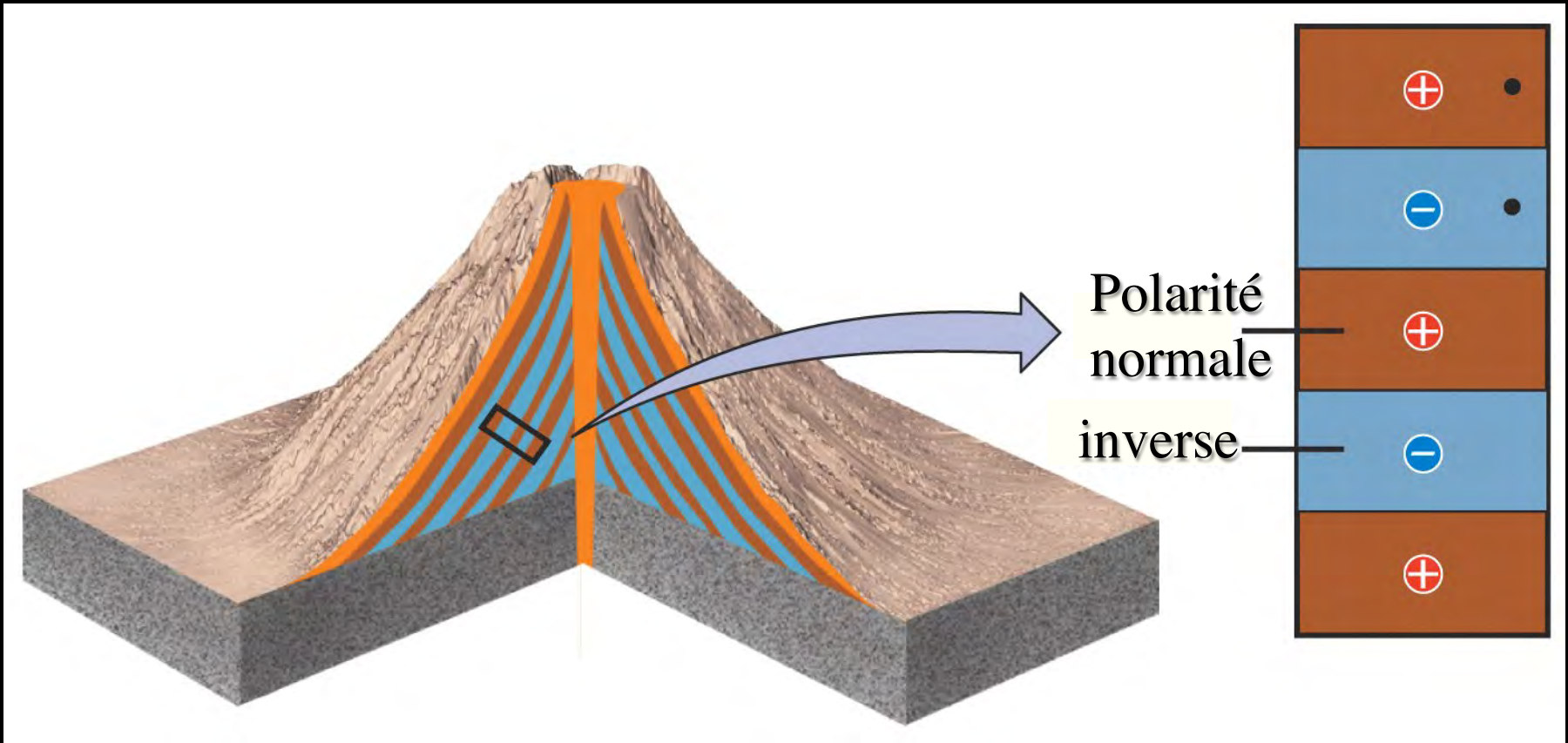
## Japon



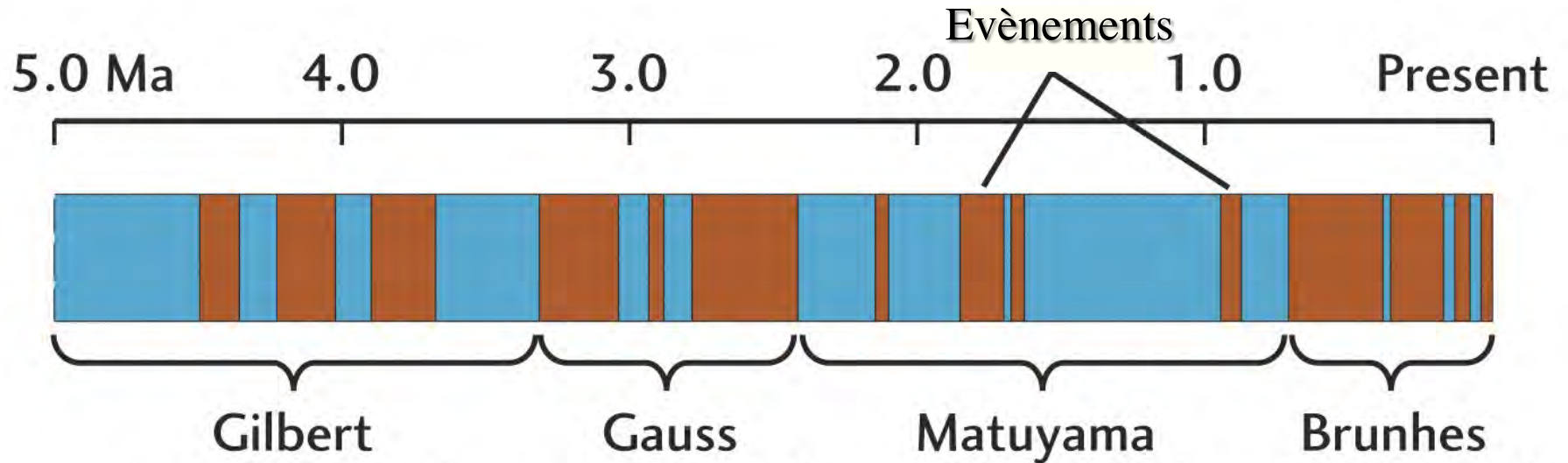
## Iles Tonga (Pac. Ouest)



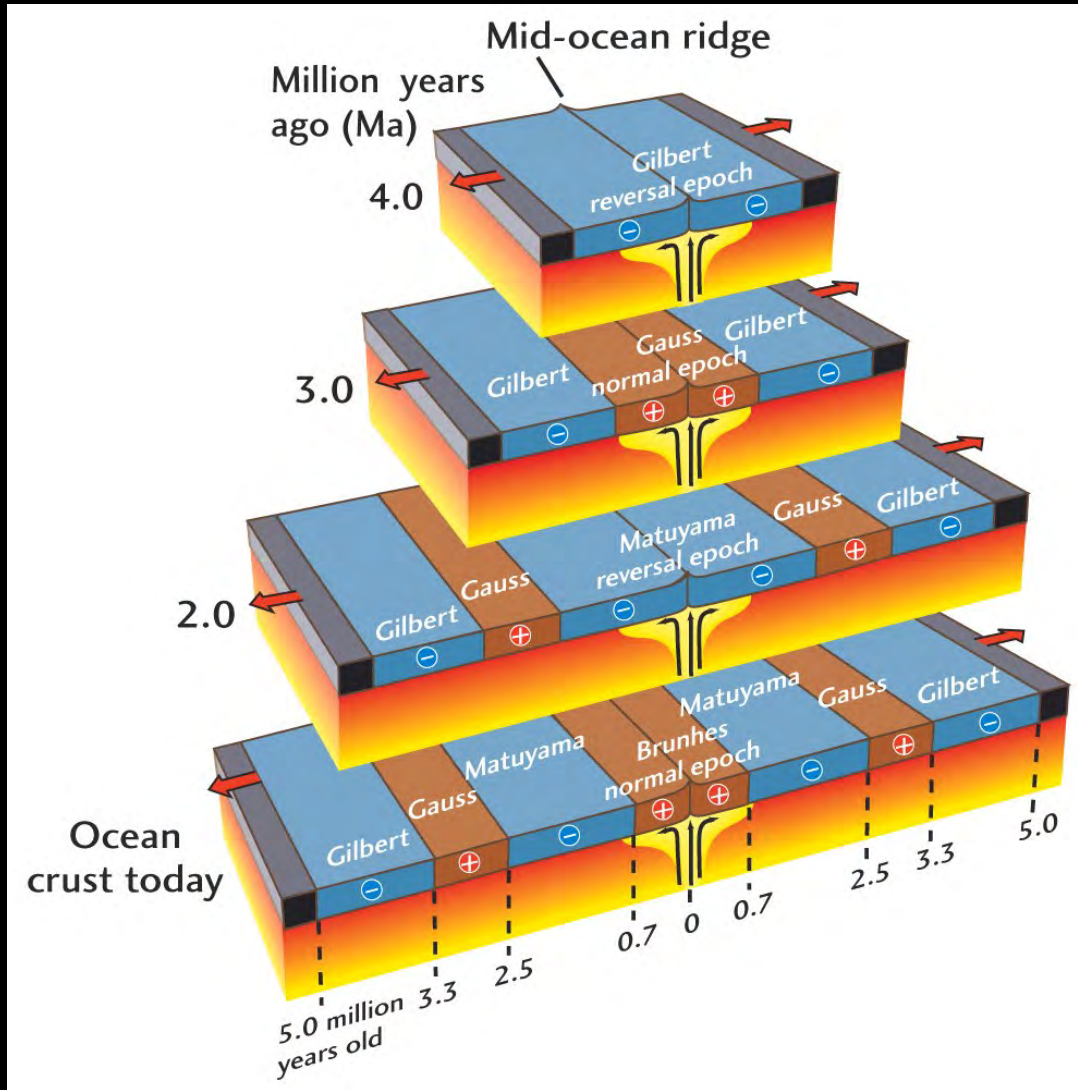
# Les inversions du champ magnétique



# L'échelle des inversions

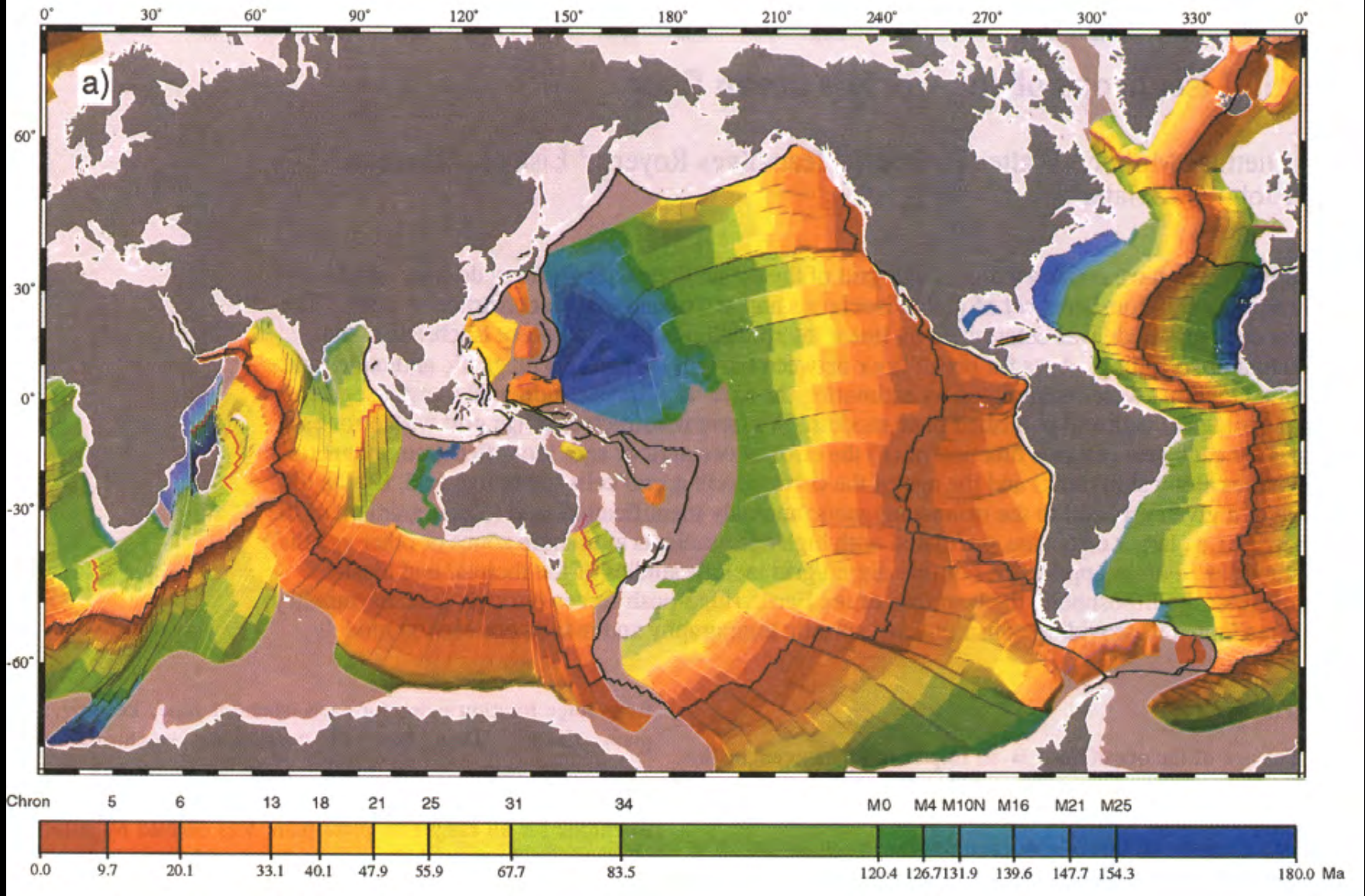


# Les inversions du champ magnétique dans les fonds marins





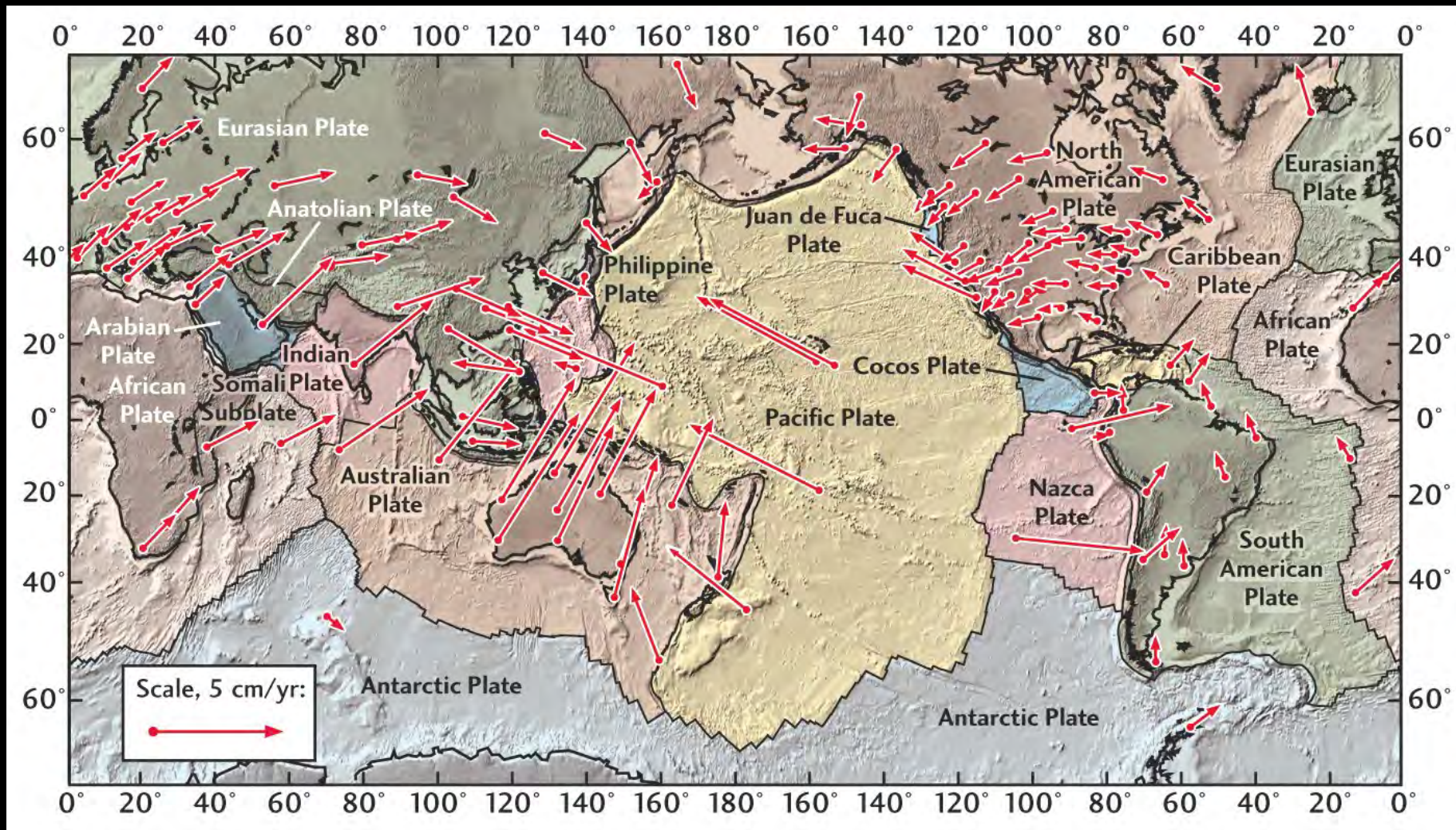
# OCEANIC HEAT LOSS



**Age of the sea floor**

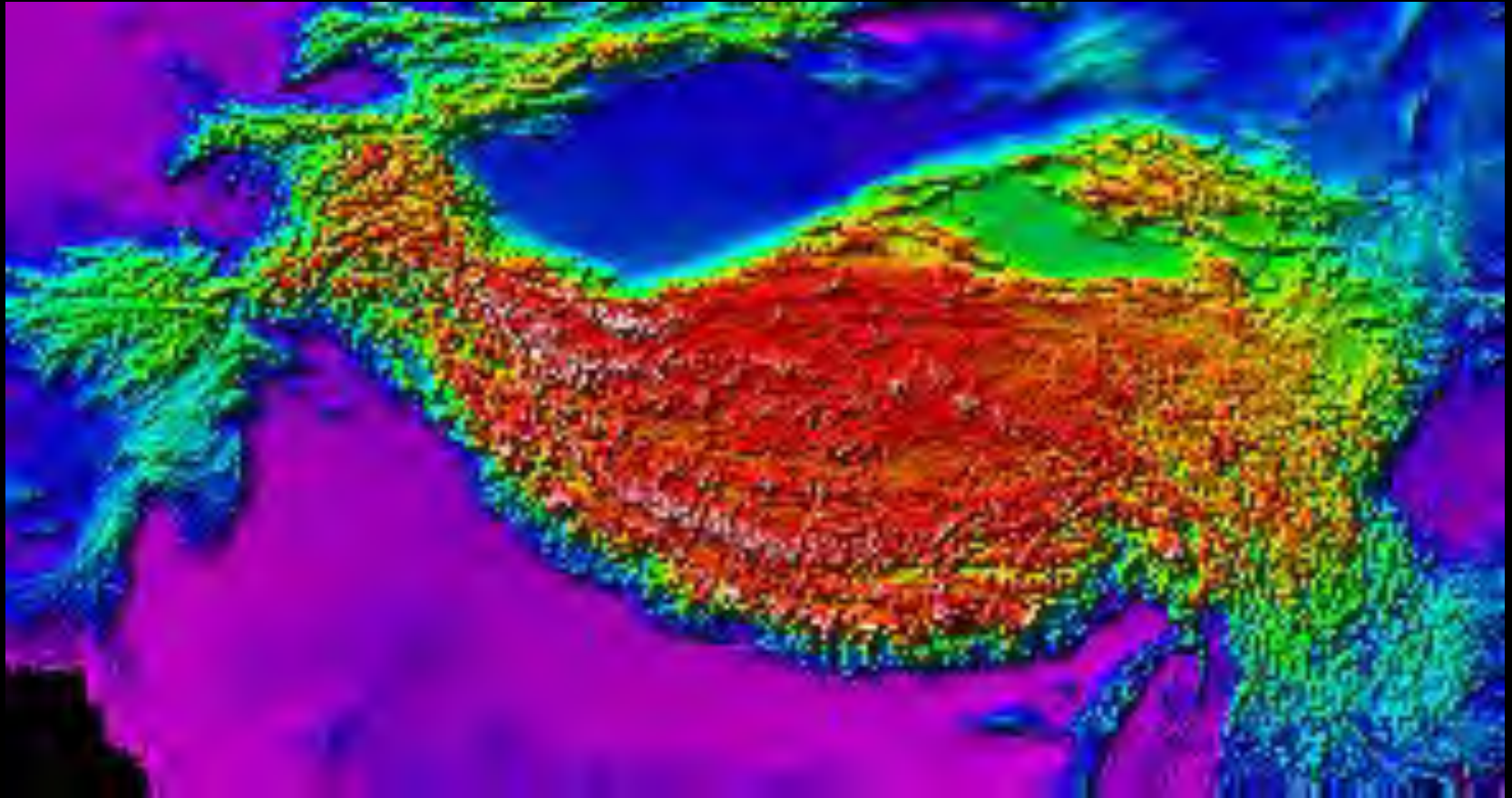


# Vitesse de plaques par GPS





# LES CHAÎNES DE MONTAGNE (LE PLATEAU TIBETAIN)



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

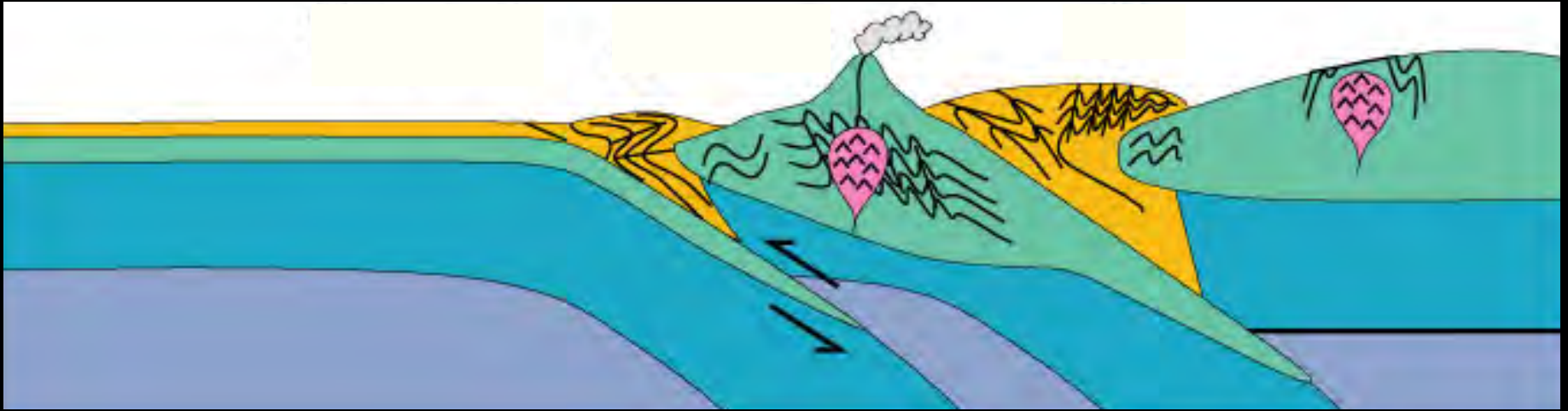






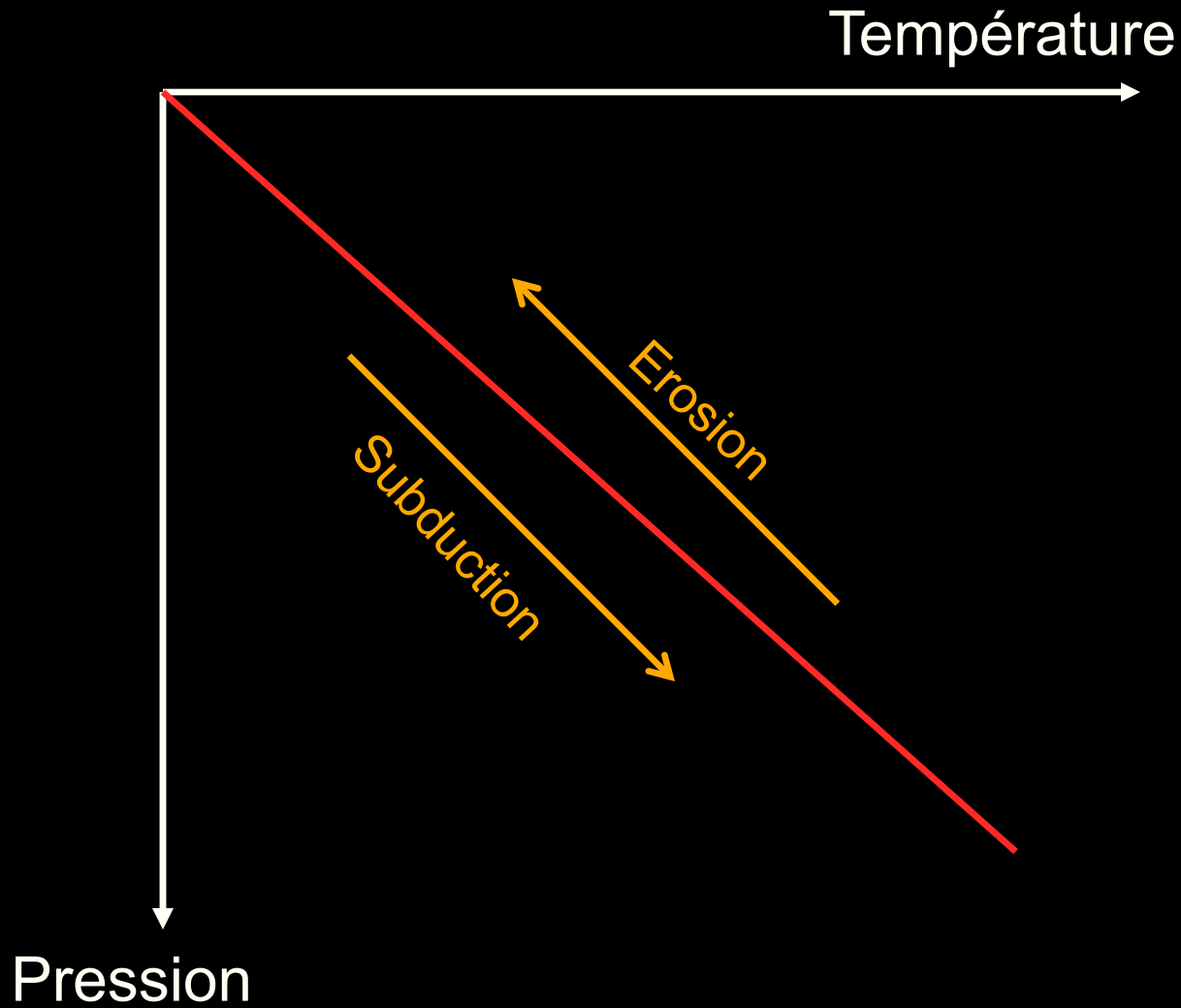


# Déformation, enfouissement et érosion : métamorphoses des roches et des minéraux





# Chemin (P,T)





**Non métamorphisé**



**Métamorphisé**

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



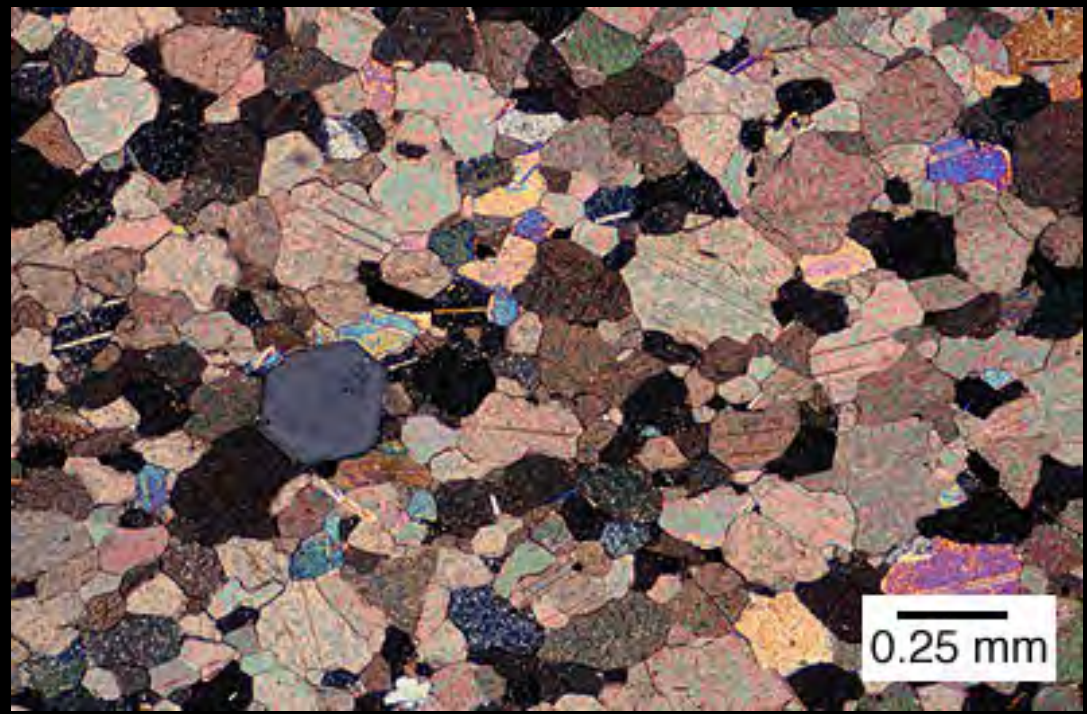




calcaire

La texture change

marbre



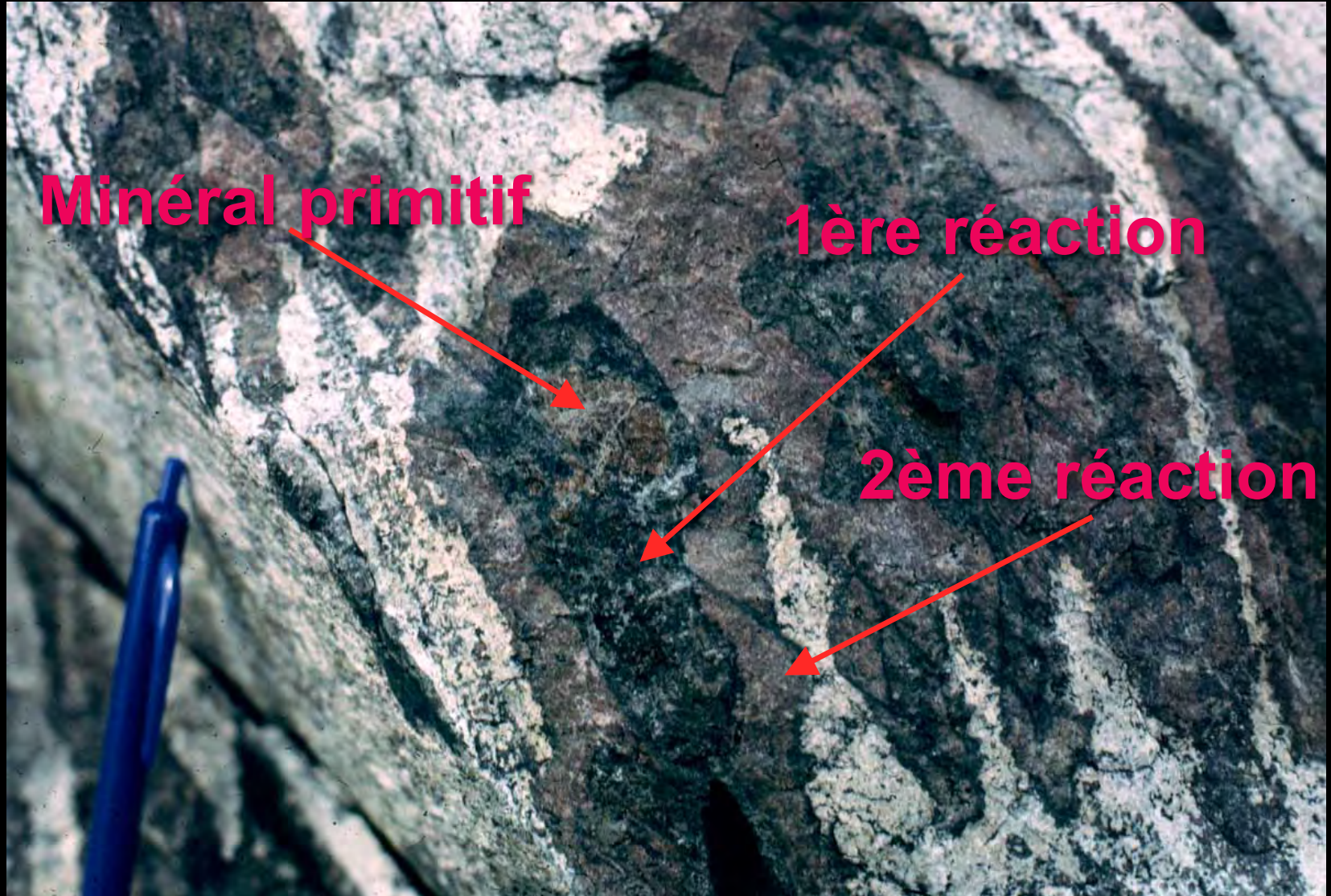


# Couronnes de réactions





# Couronnes de réactions



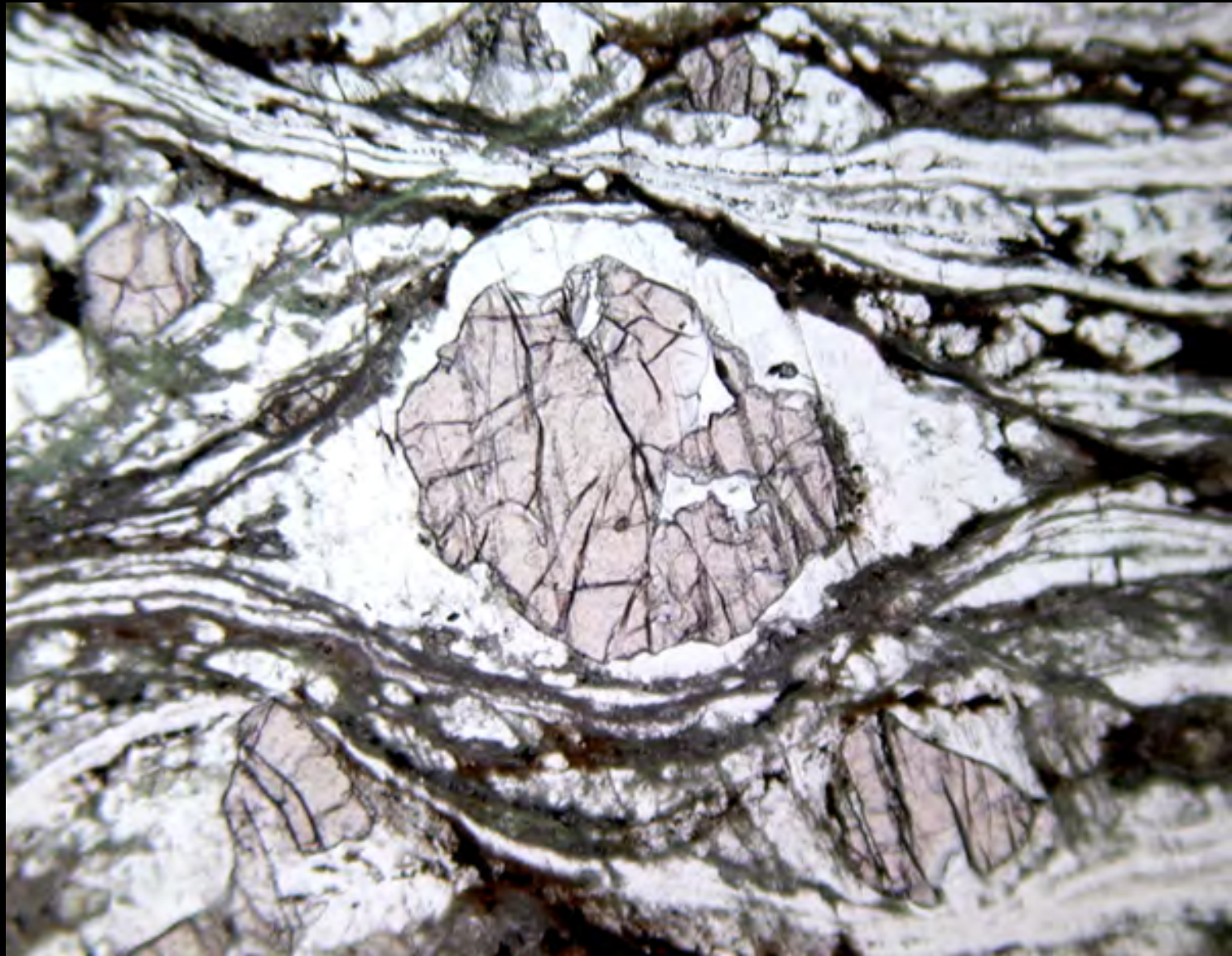


# Couronnes de réaction : “pompage” d’éléments par un minéral



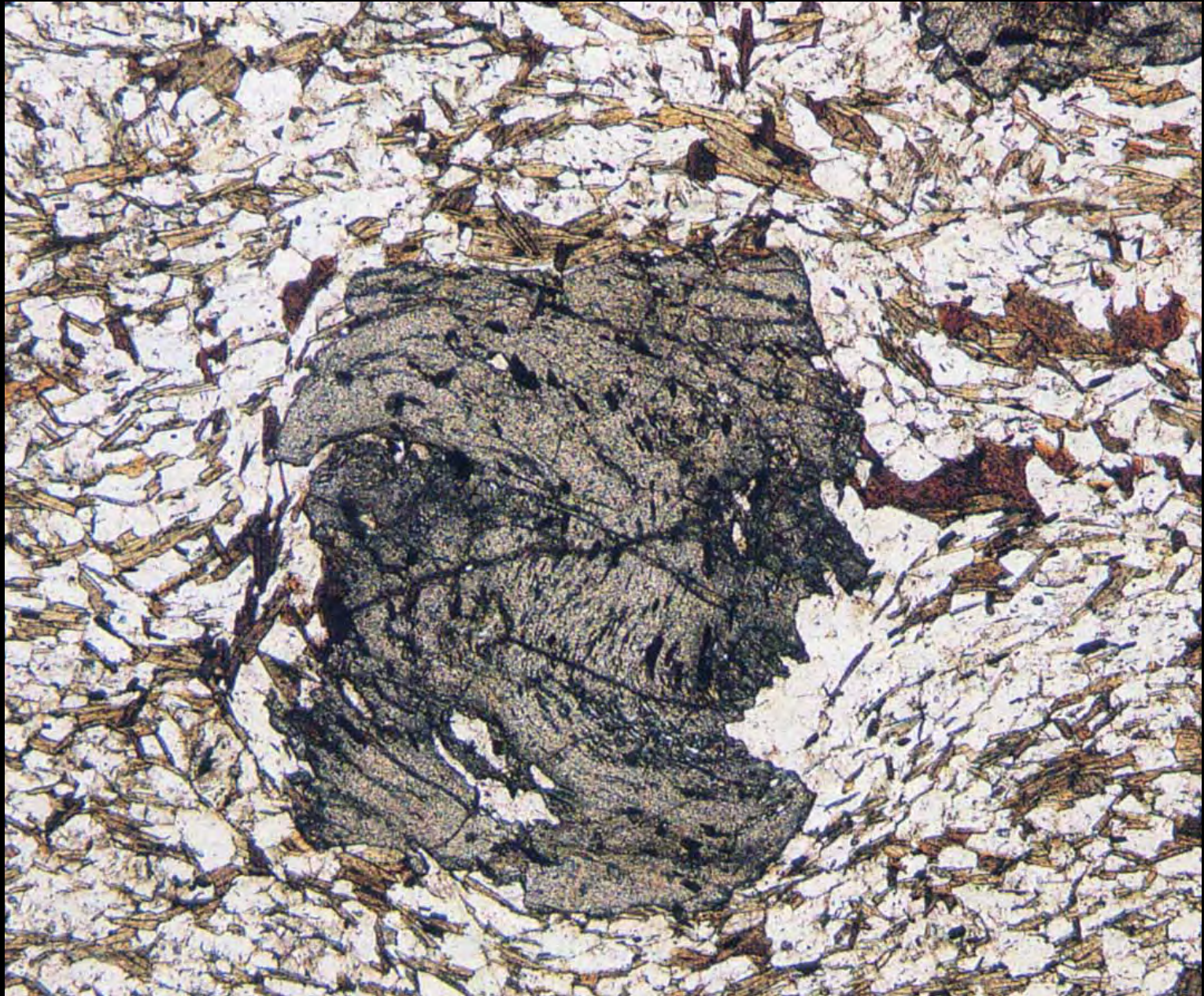


# Minéral formé avant la déformation



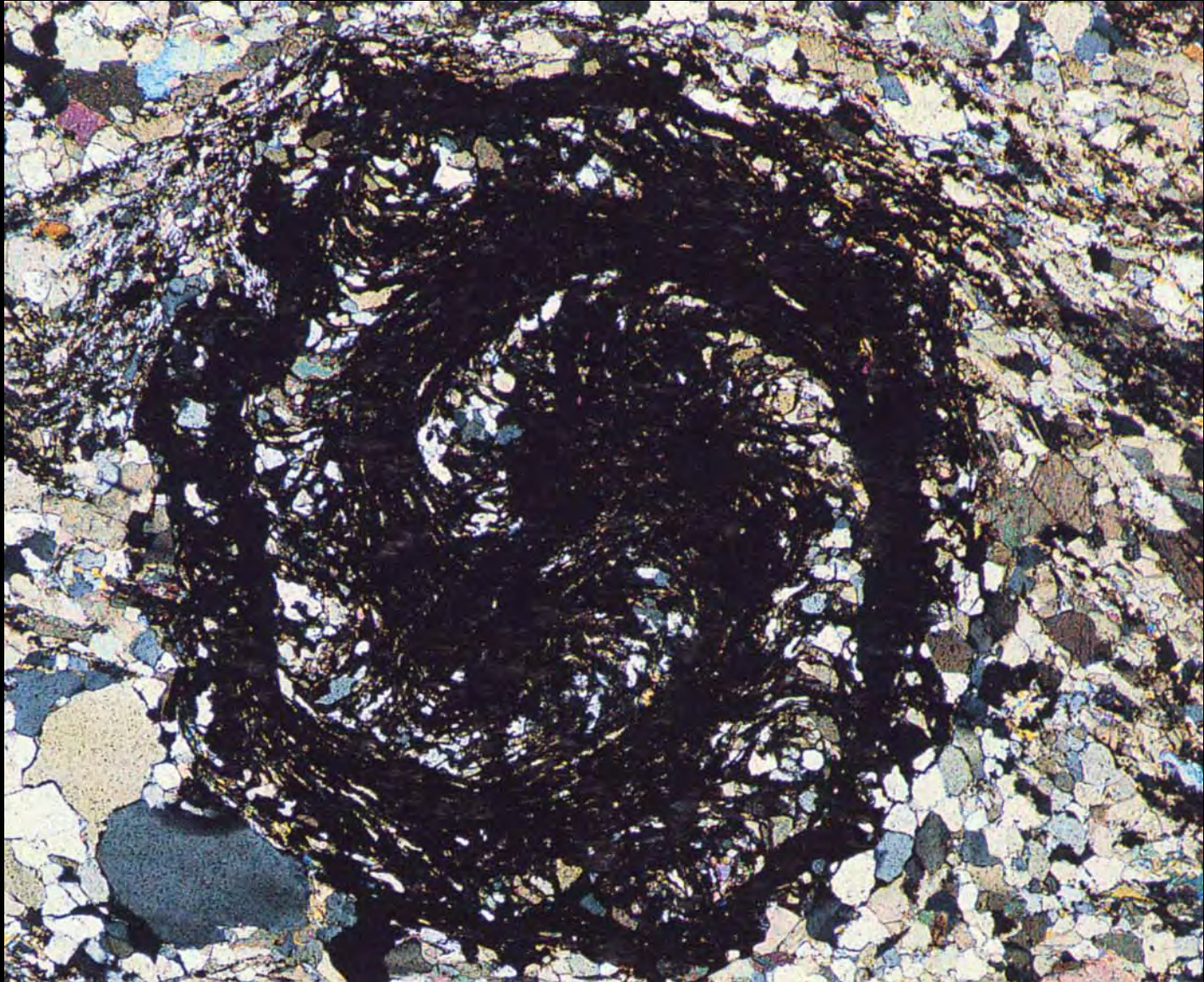


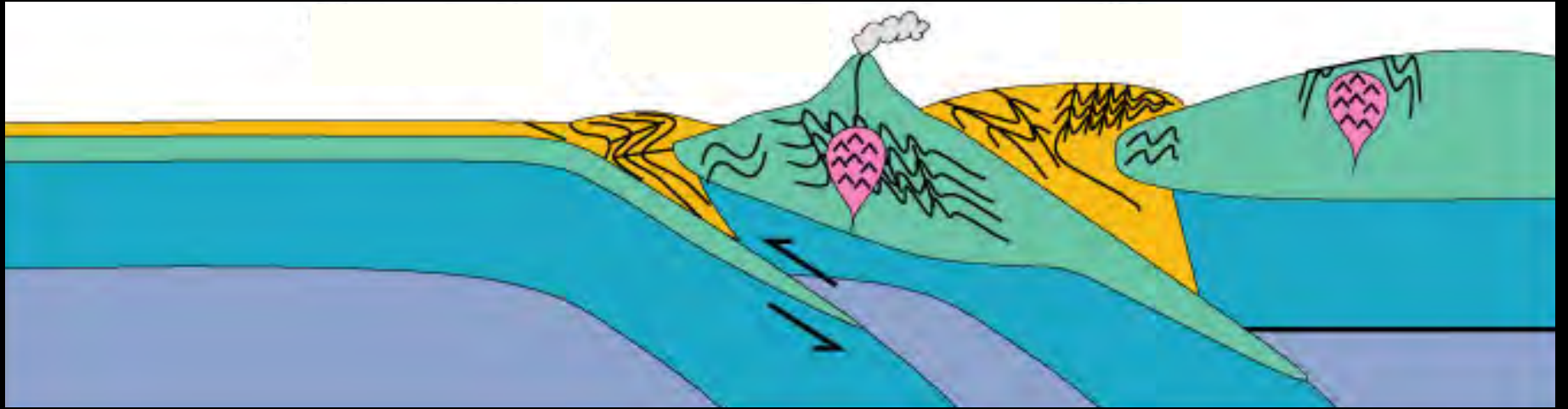
# Minéral formé pendant la déformation





# Minéral se formant pendant la déformation



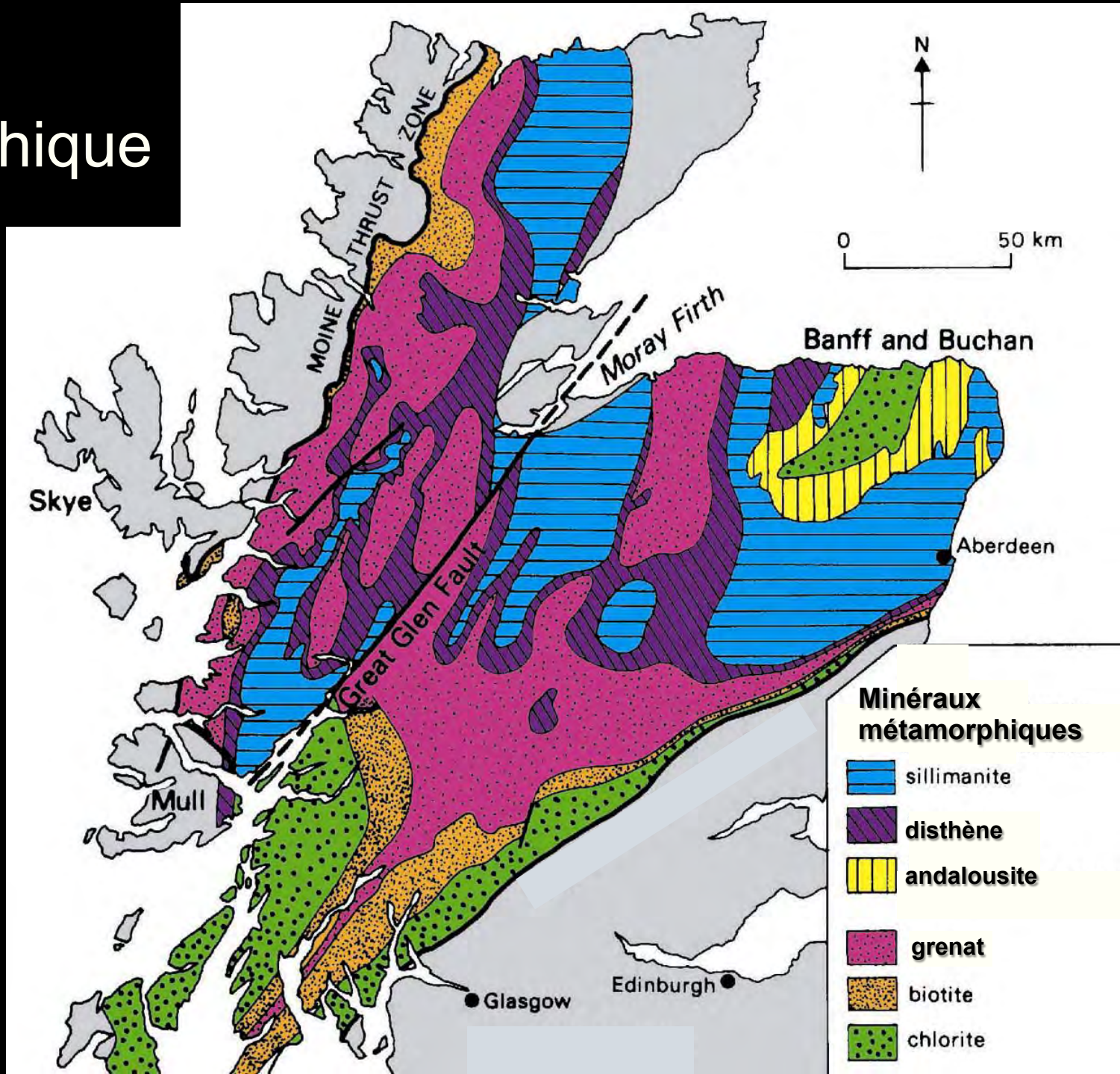


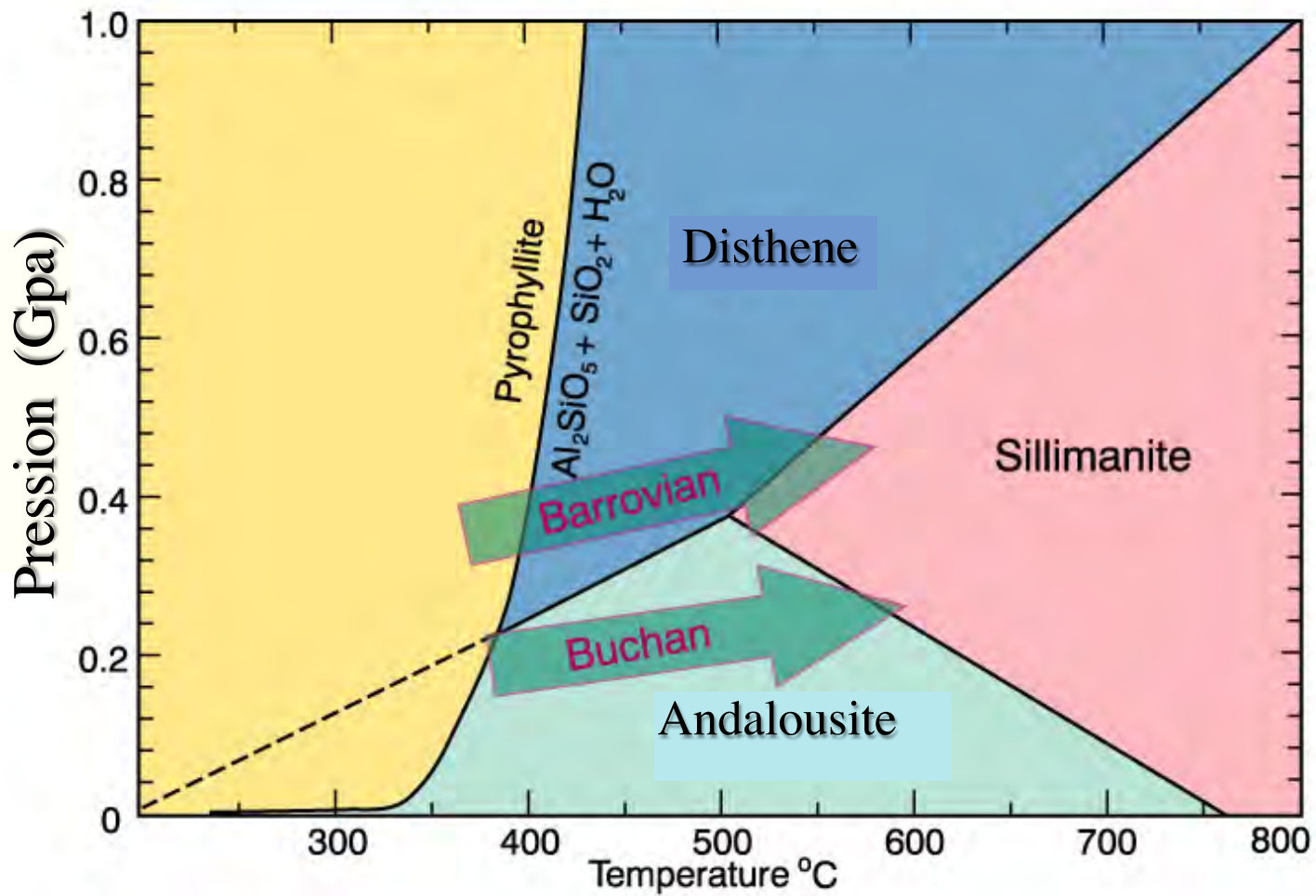
# Après érosion





# Zonation métamorphique

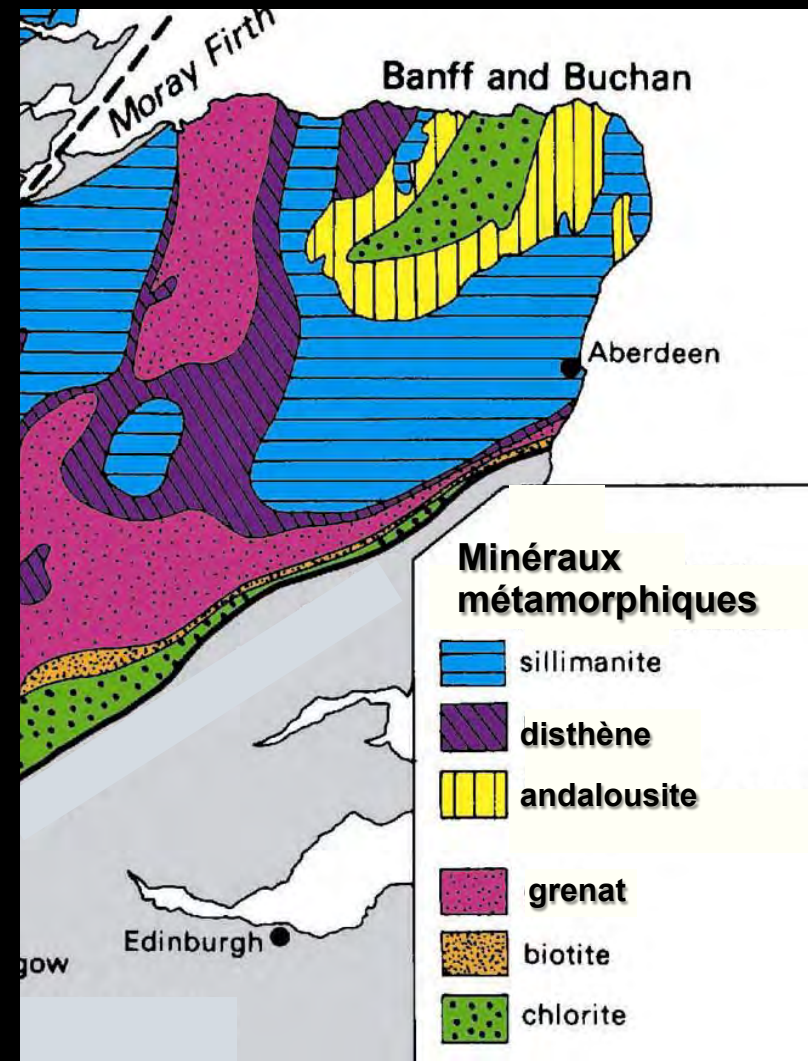


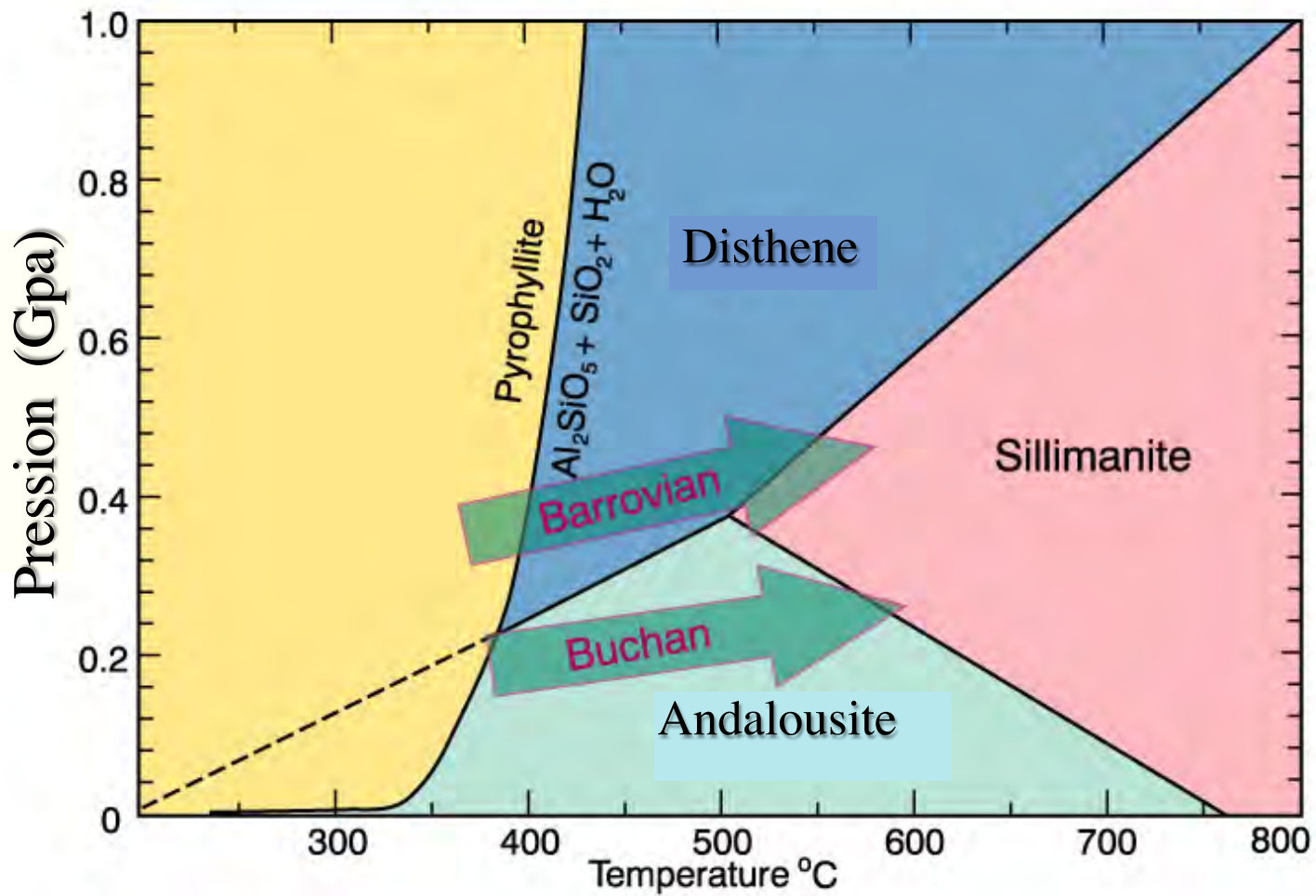




# La composition des roches est la même mais les minéraux sont différents

- disthène
- andalousite
- sillimanite







# La datation des roches

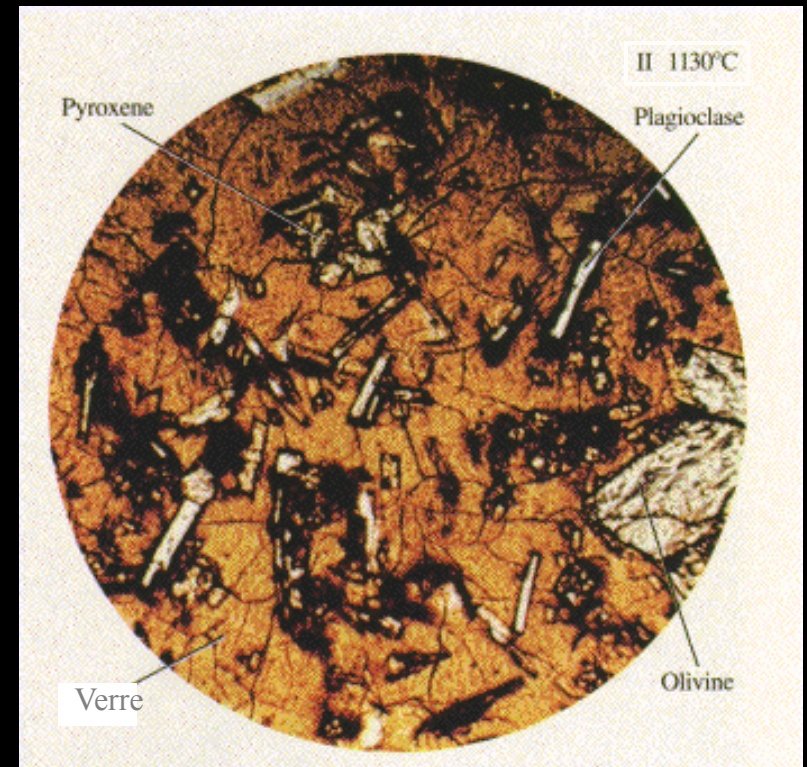
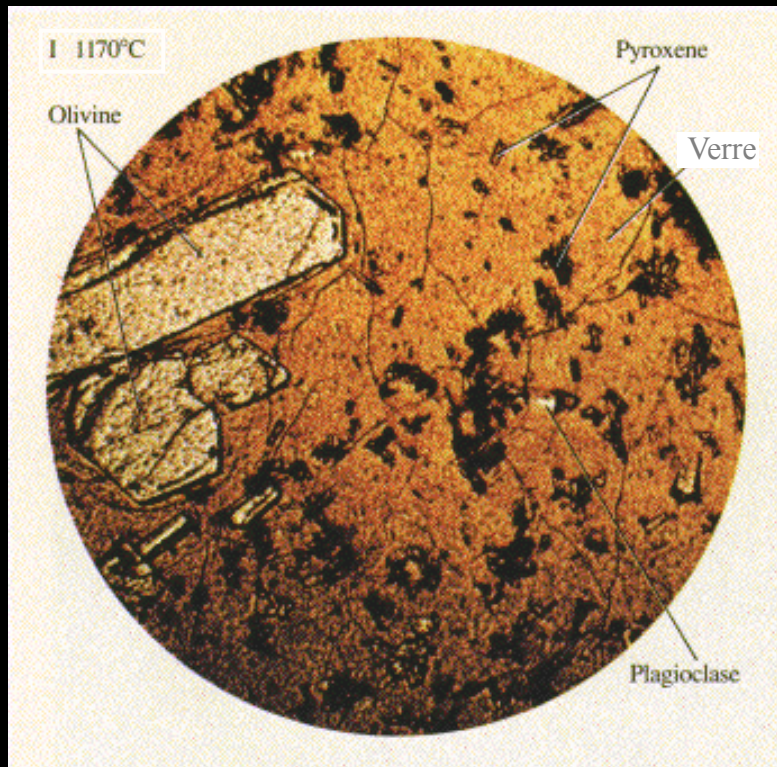
Méthode Rubidium-Strontium:  $^{87}\text{Rb} \longrightarrow ^{87}\text{Sr}$

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

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

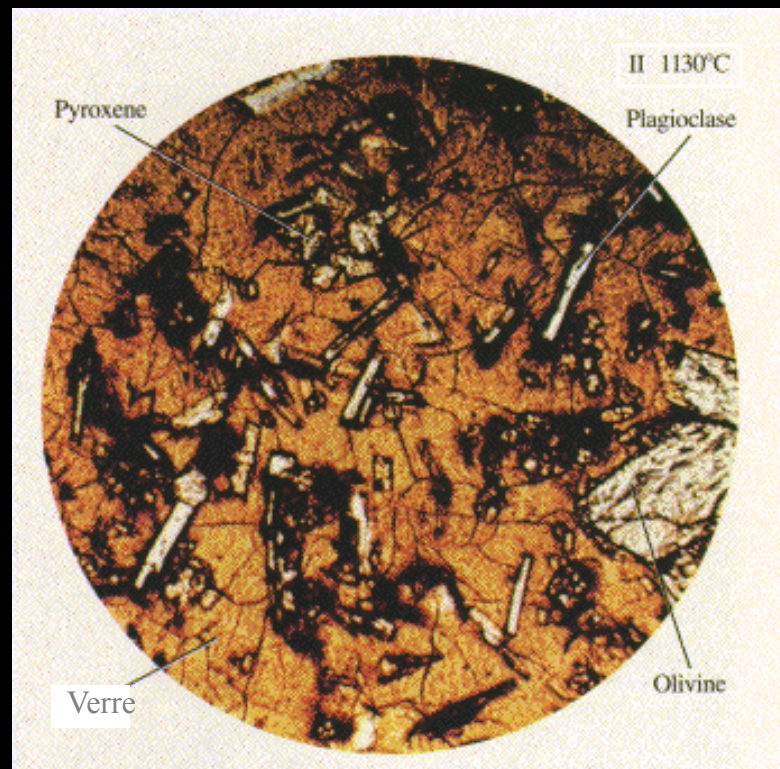
# Solution : prendre différents minéraux

## Lac de lave de Makaopuhi (Hawaii)



**Verre = magma figé**





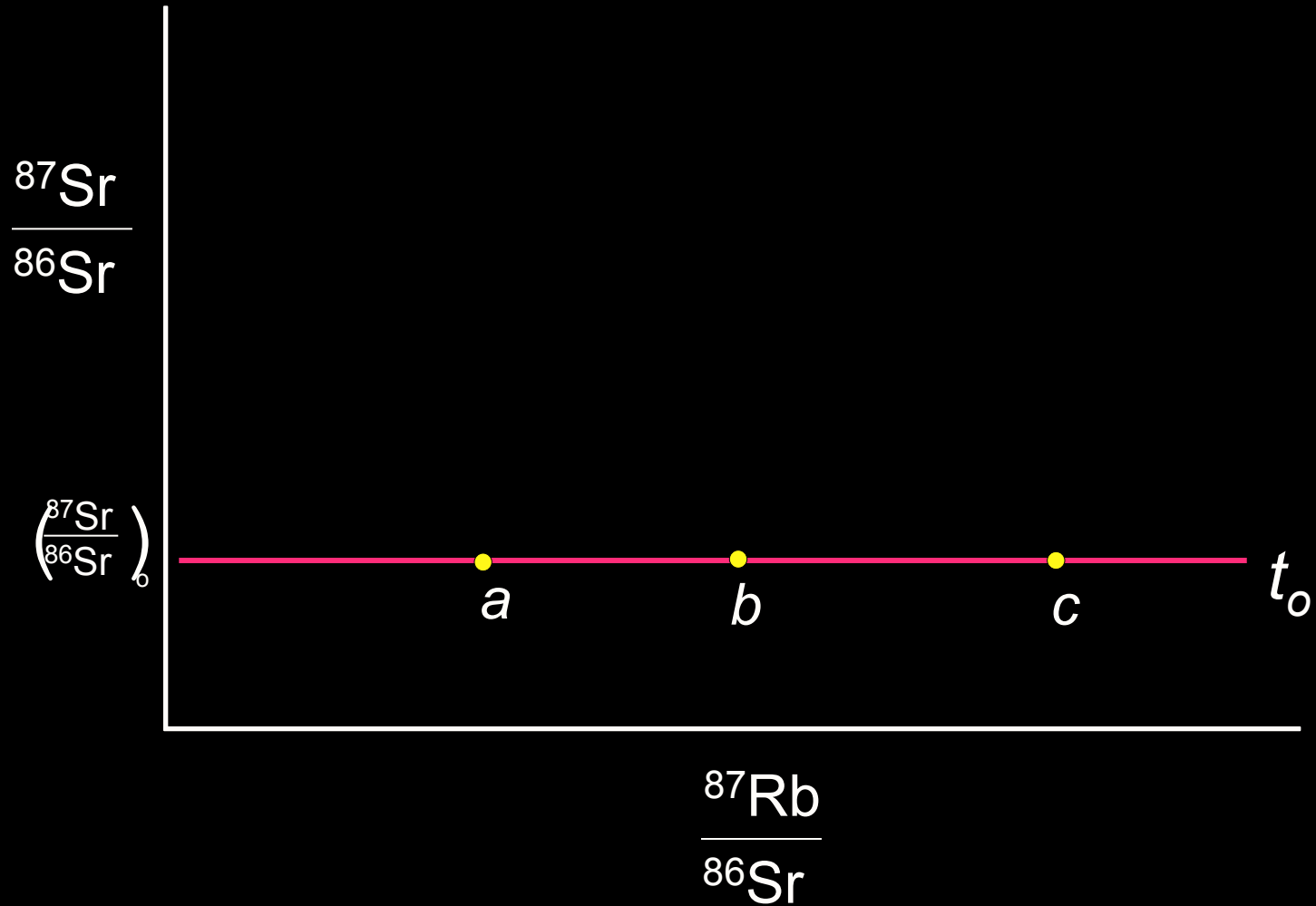
Le bain a une composition donnée en Rb et Sr (et leurs isotopes).

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

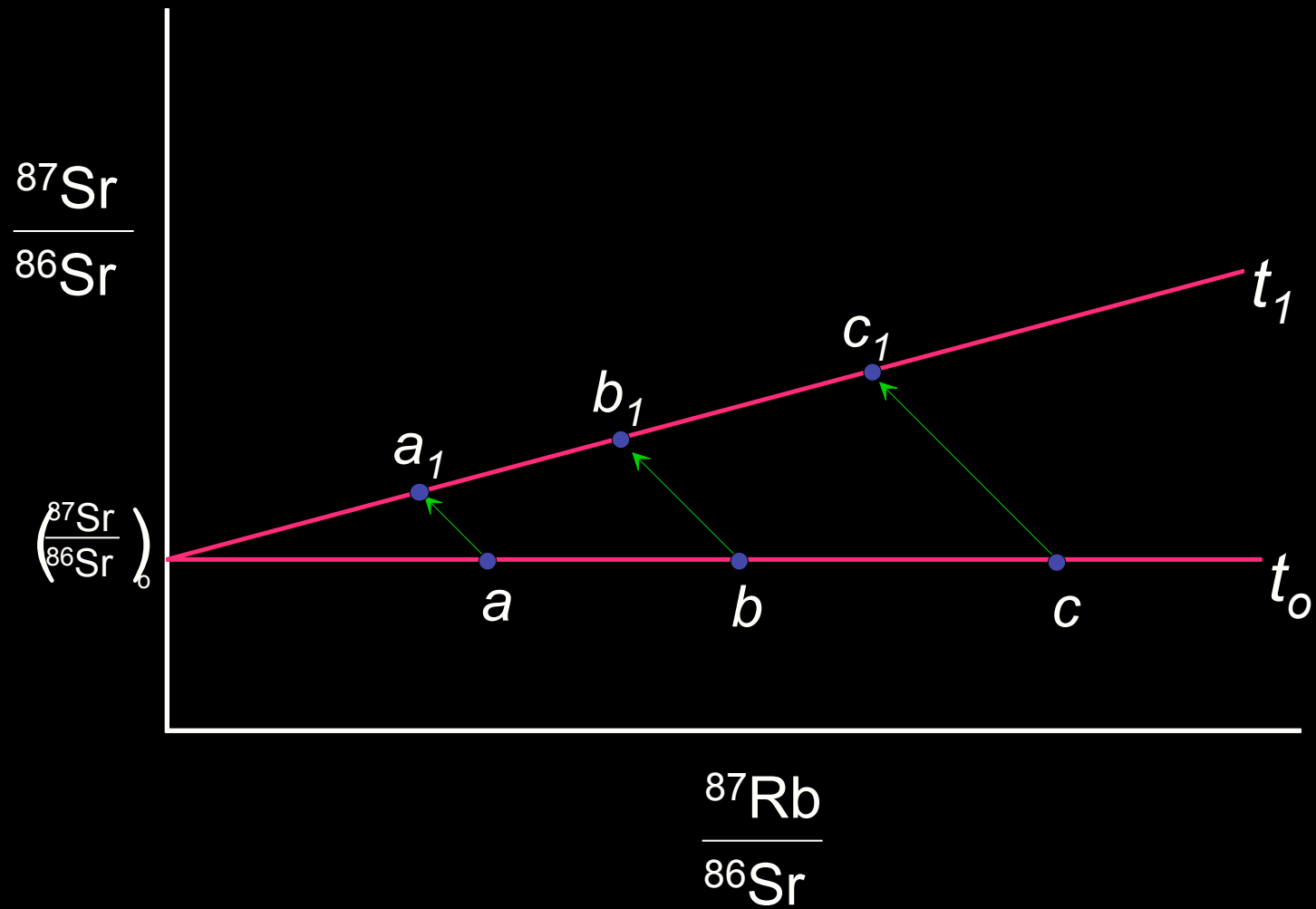
Les rapports isotopiques sont conservés (même comportement chimique).

**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**.

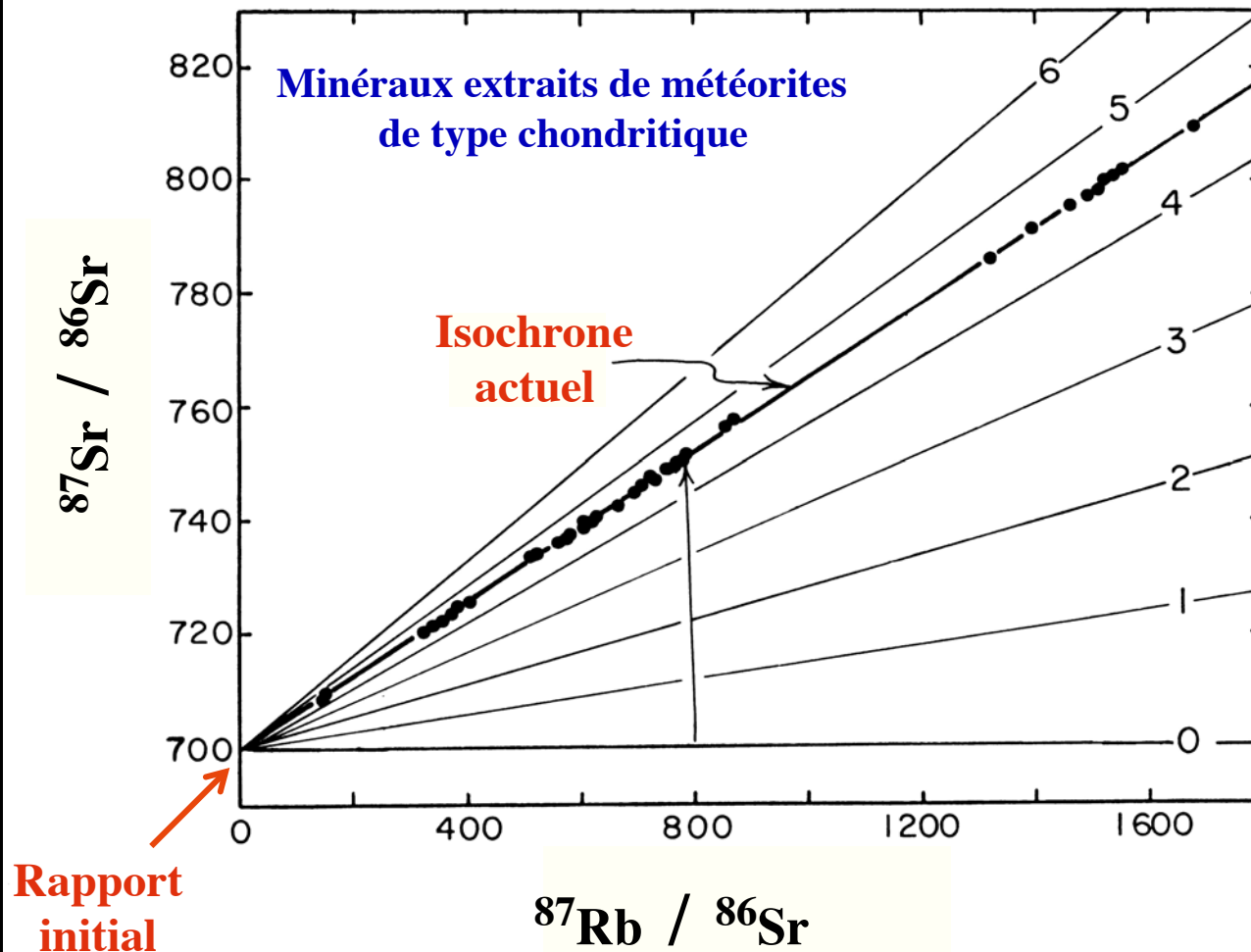
Trois minéraux **a**, **b**, **c** au temps  $t = t_0$







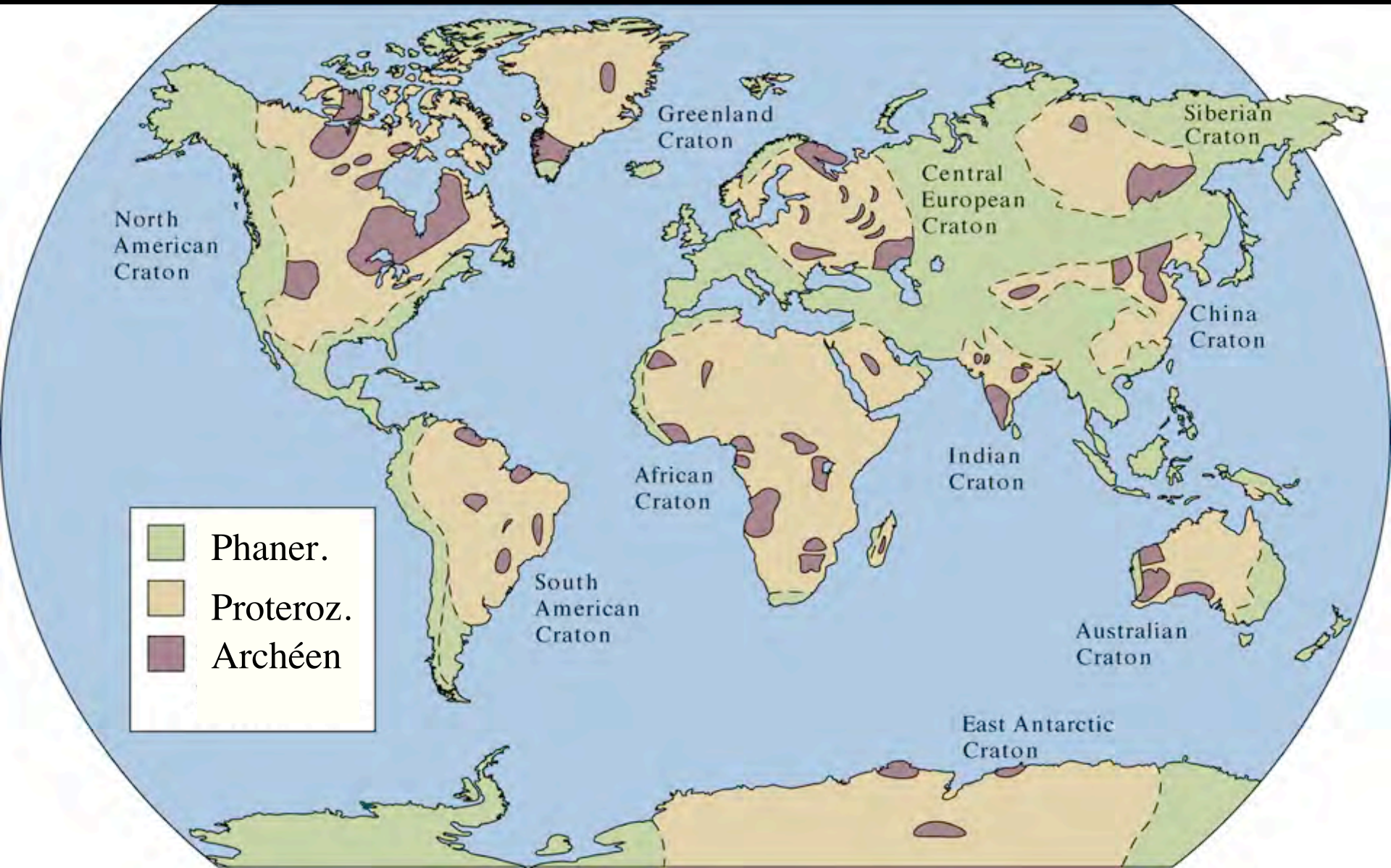
# L'âge du système solaire



Age = 4.56 Ga

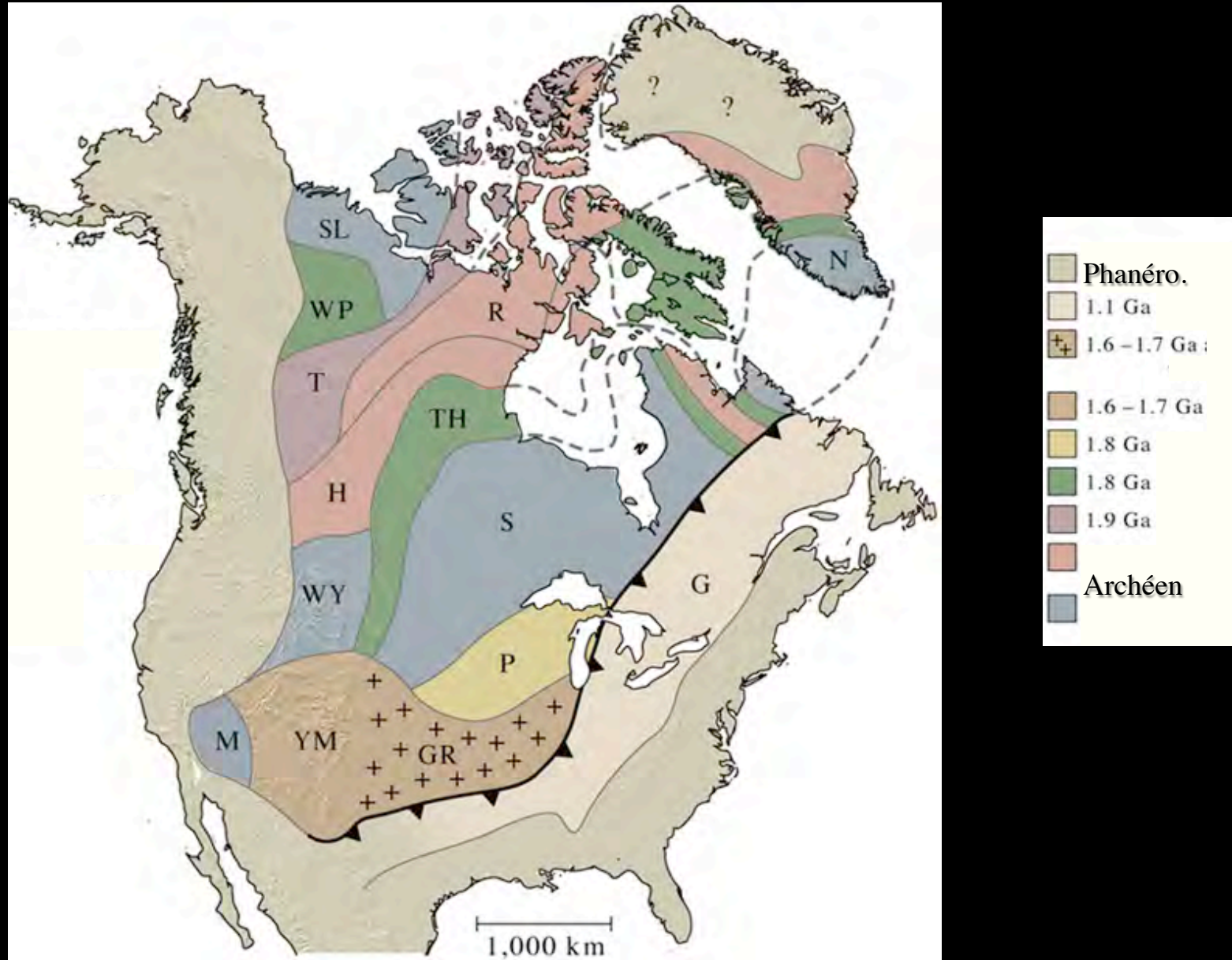
$$\left( \frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right)_0 = 0.698$$

# Croissance continentale

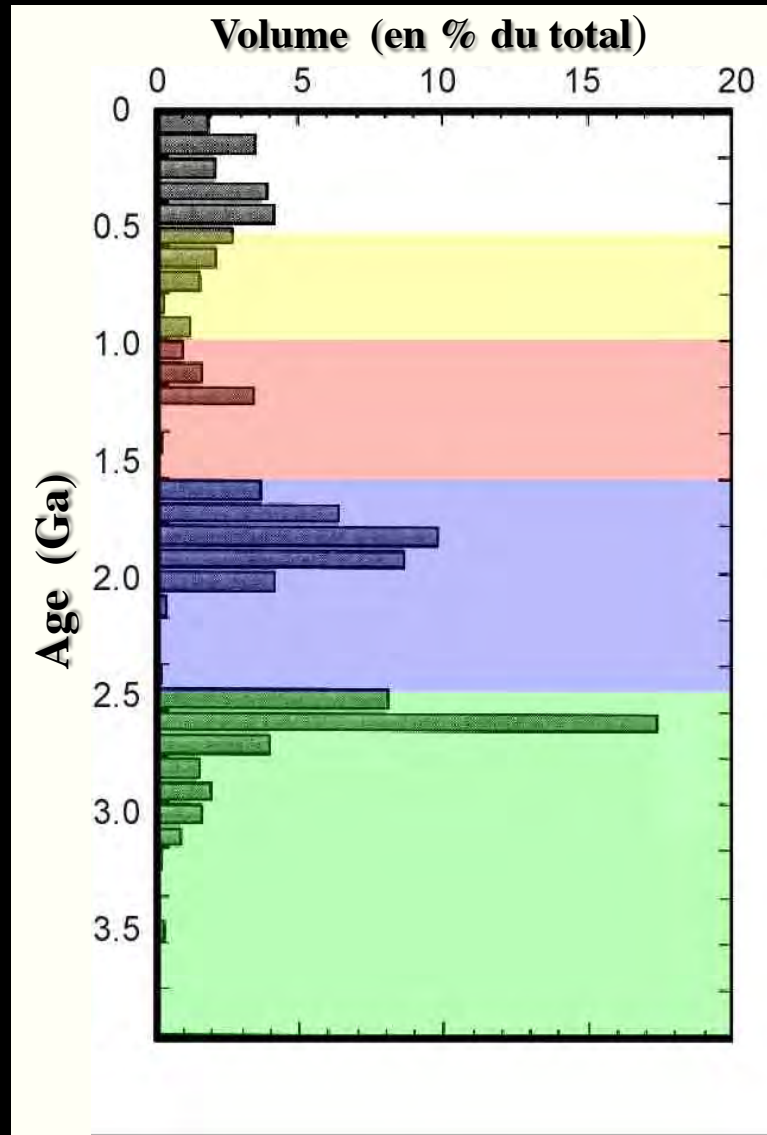




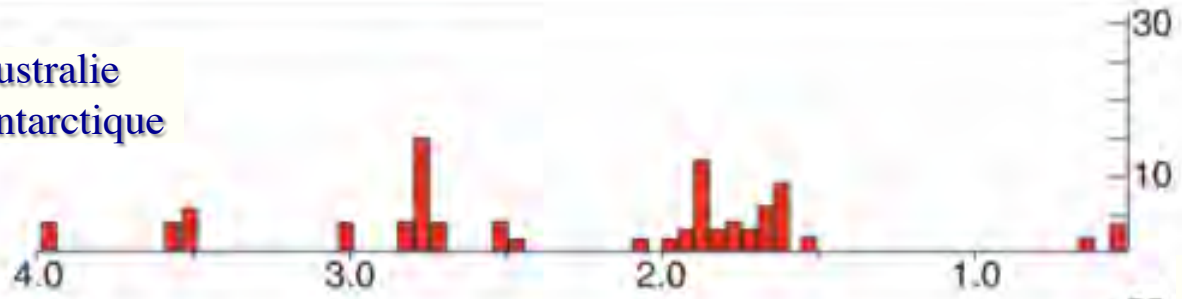
# Croissance à la périphérie



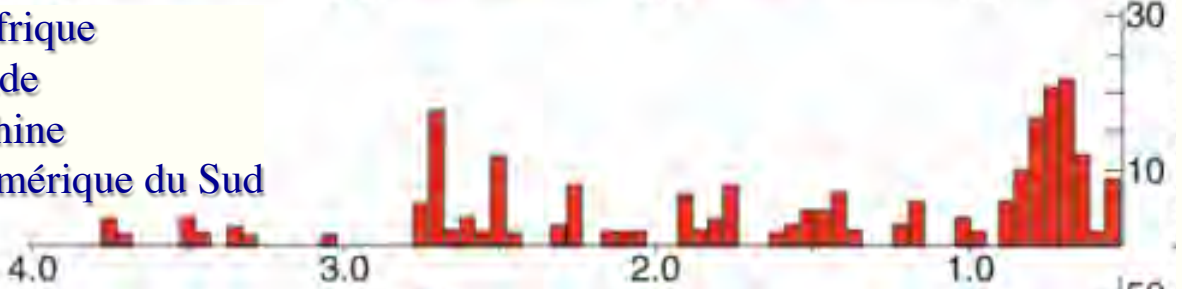
# Ages des continents



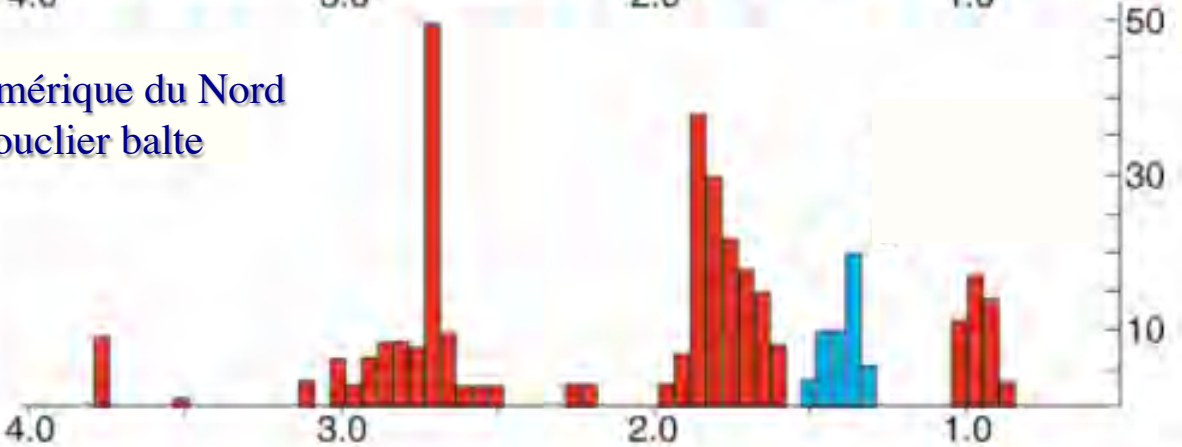
Australie  
Antarctique



Afrique  
Inde  
Chine  
Amérique du Sud



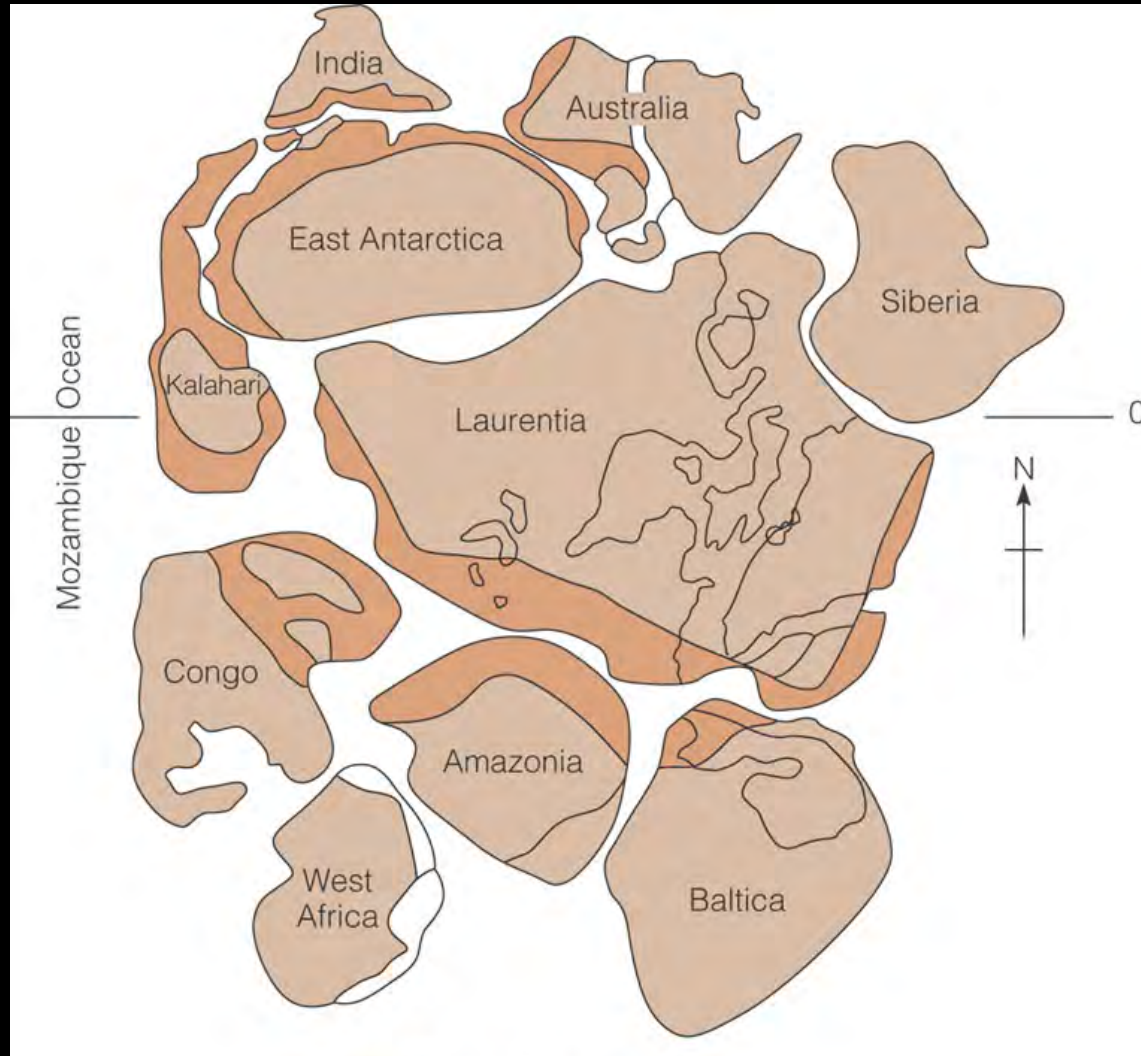
Amérique du Nord  
Bouclier balte



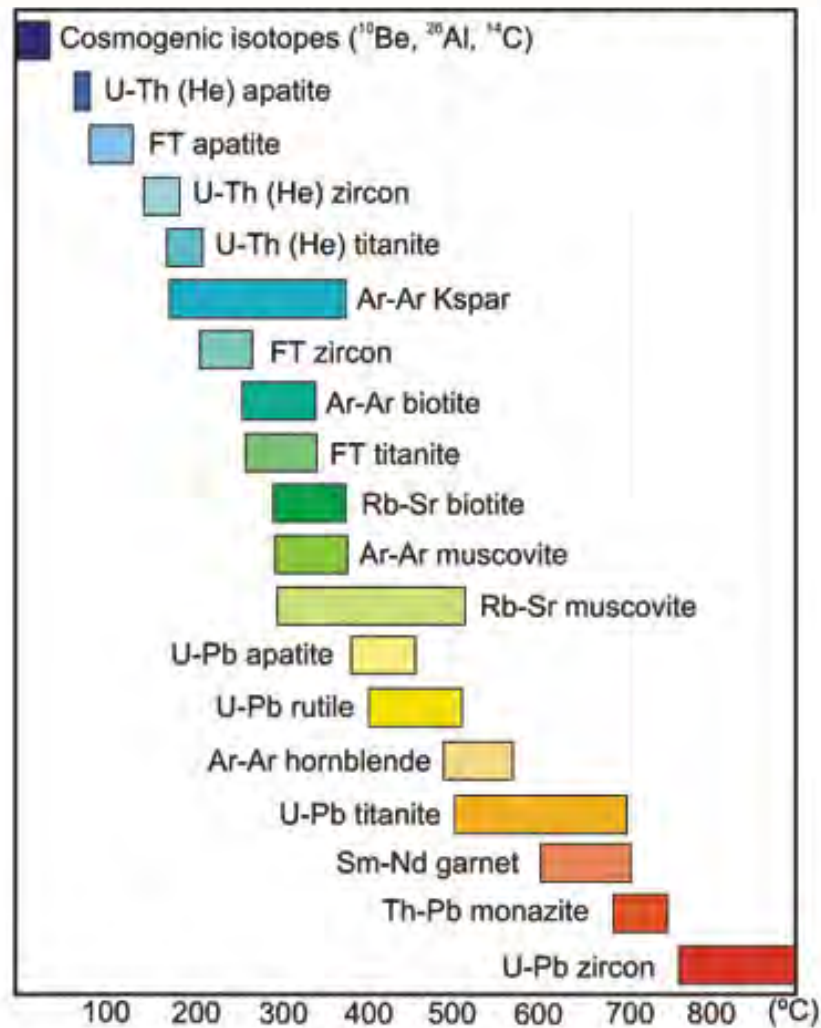


# Les supercontinents

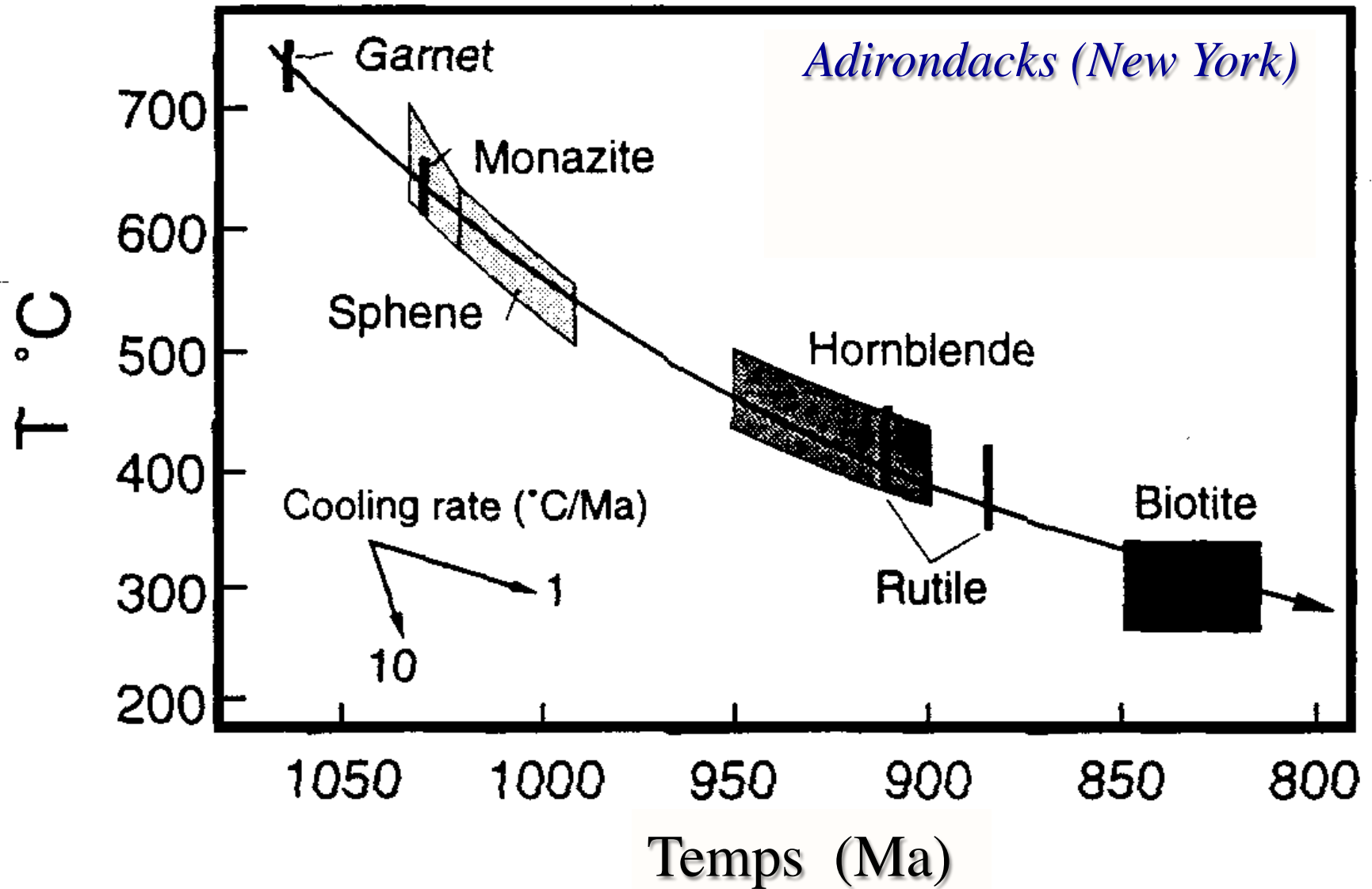
Rodinia  
≈ 750 Ma



# Les chronomètres sont des thermomètres

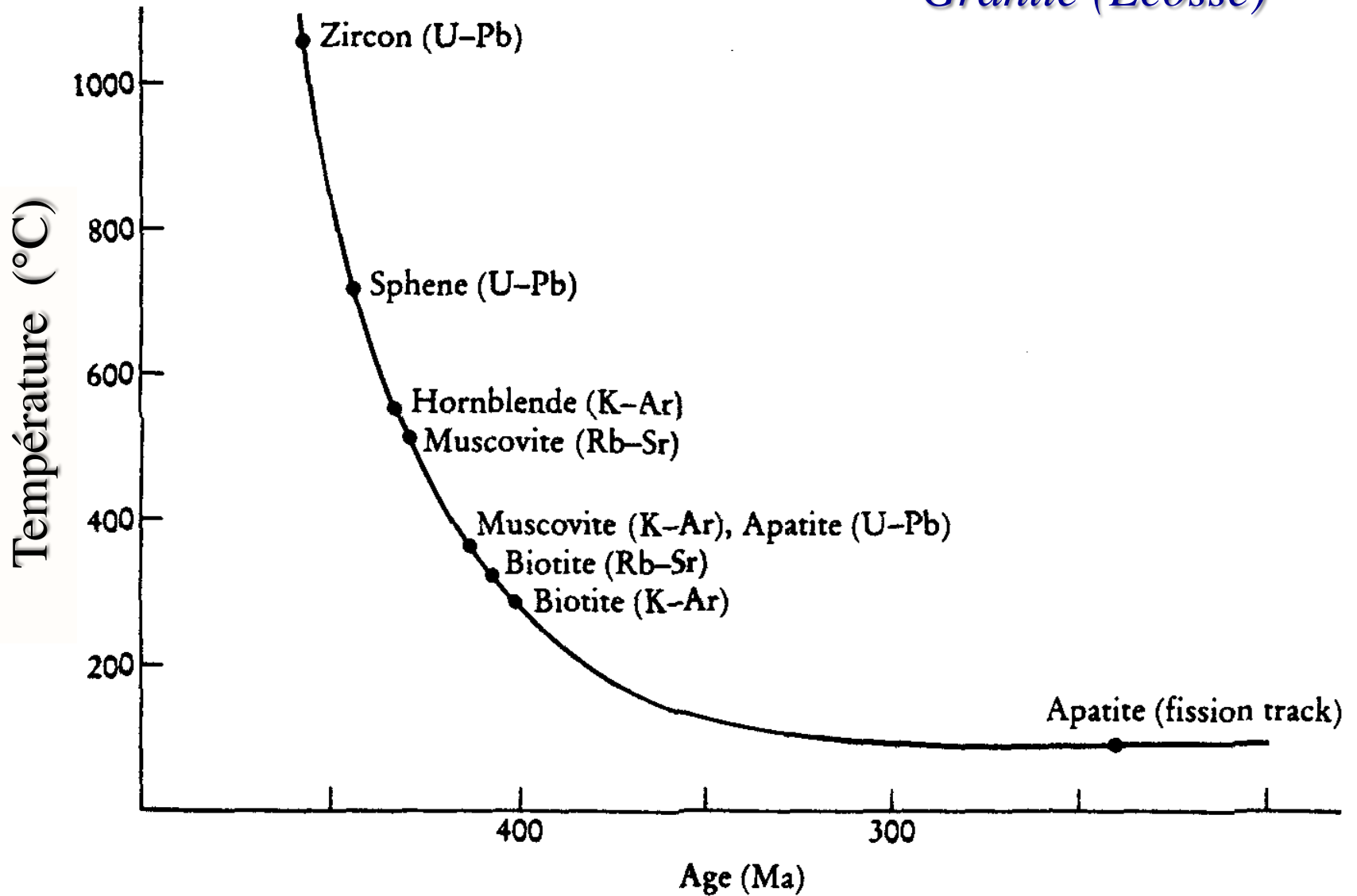


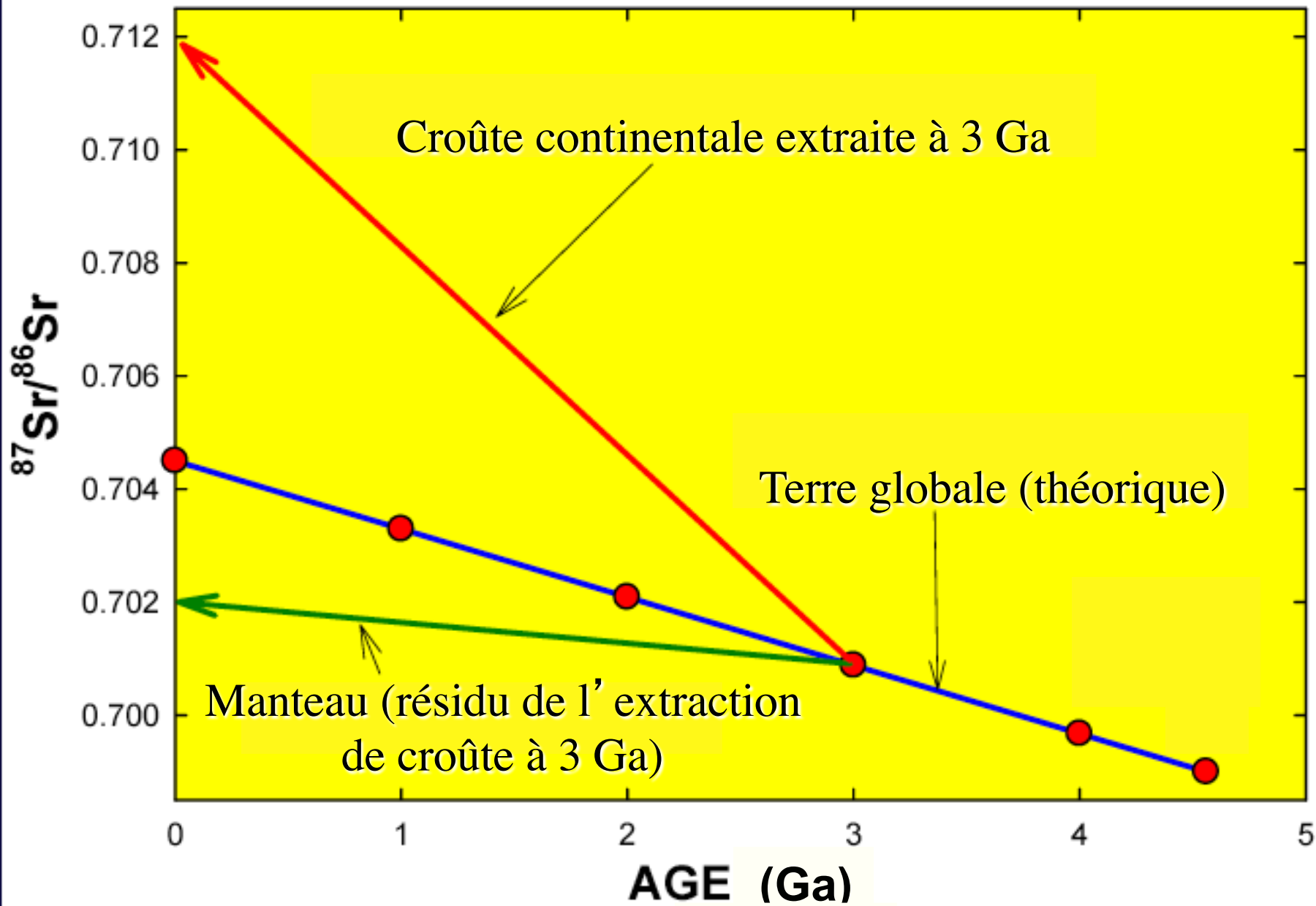
# Refroidissement des roches



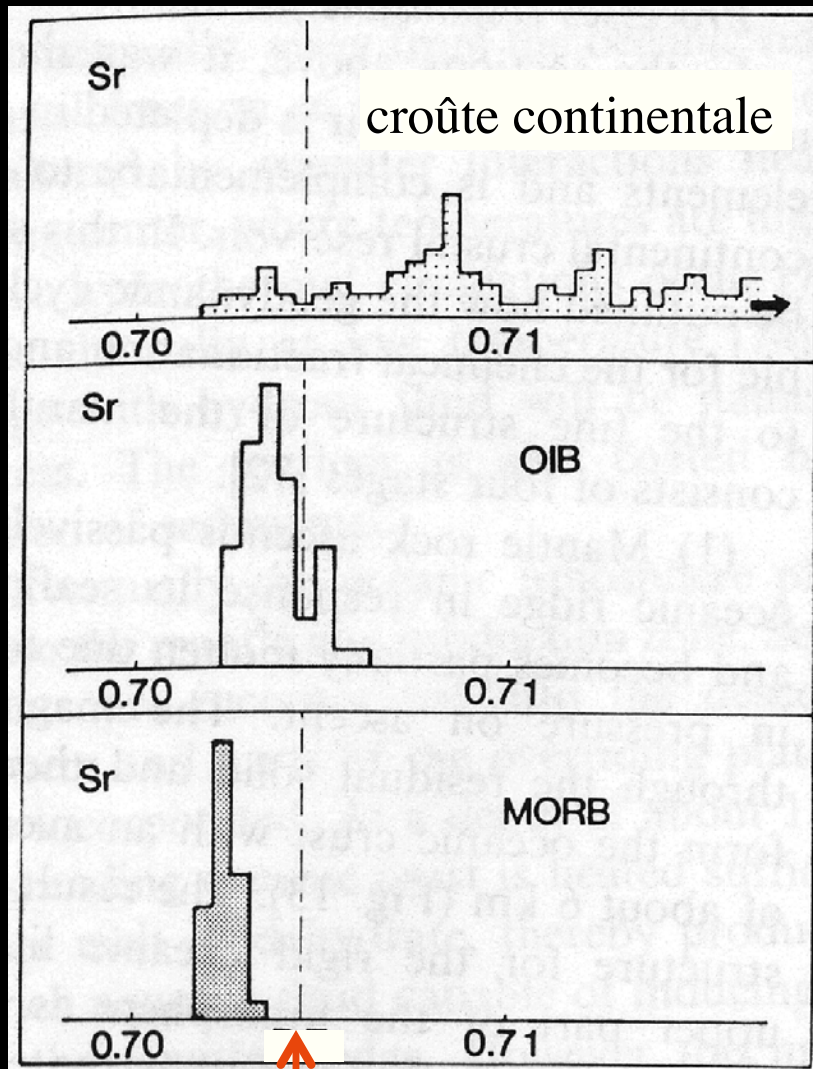


# Granite (Ecosse)





# Evolution chimique de la Terre

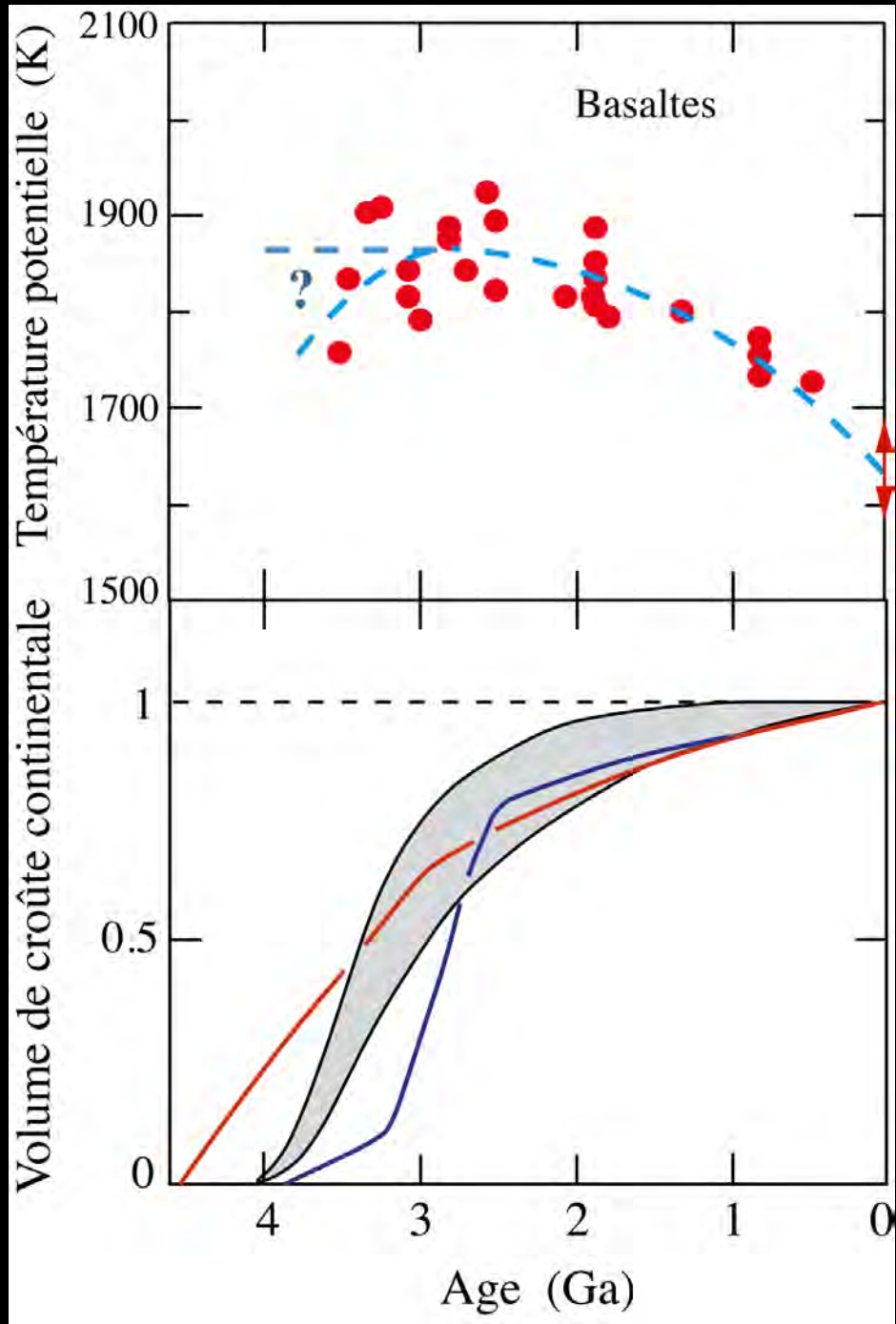


**OIB** = basalte d'île océanique  
(Hawaii, Réunion, etc...)

**MORB** = basalte de dorsale océanique

**Terre globale  
à l'âge actuel**



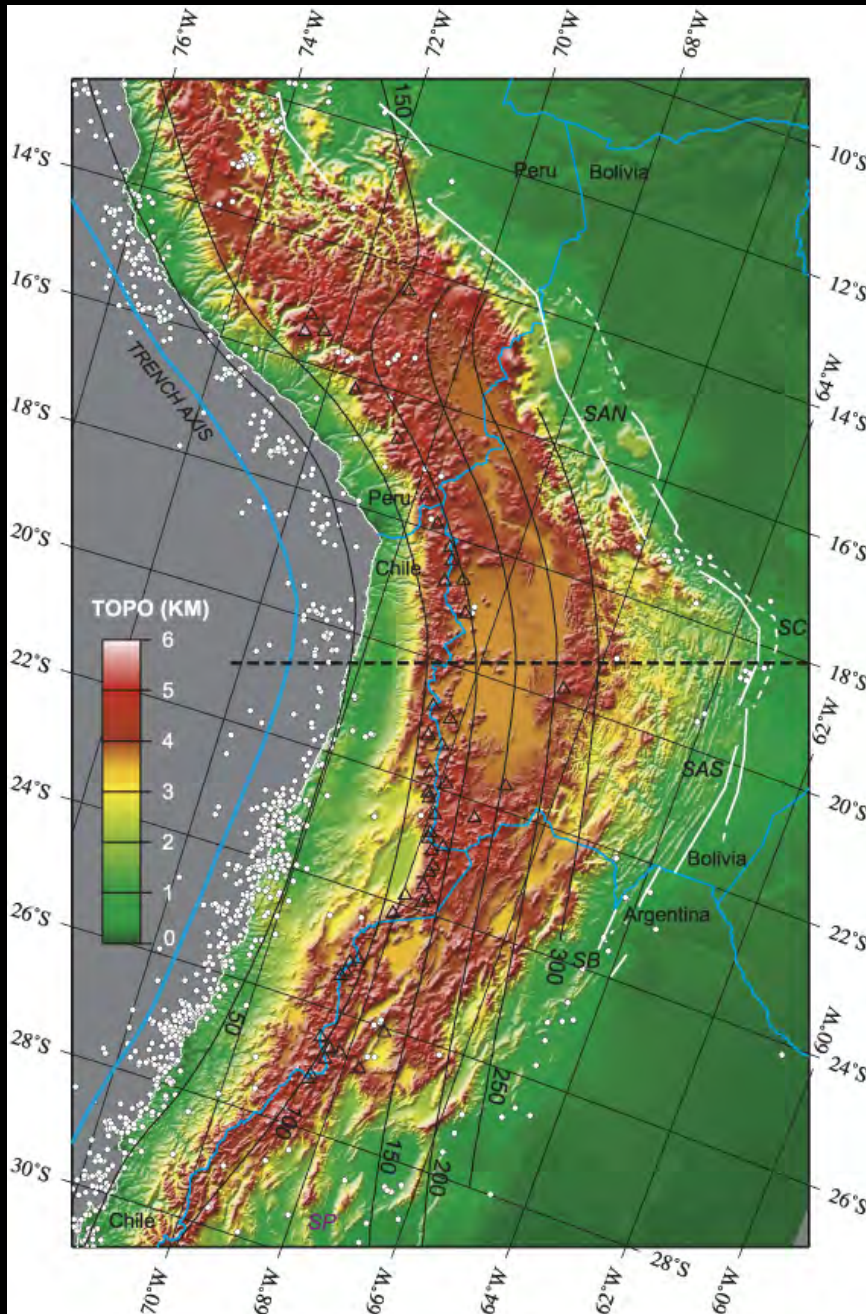


# La cordillère des Andes

Altitude ~ 6km

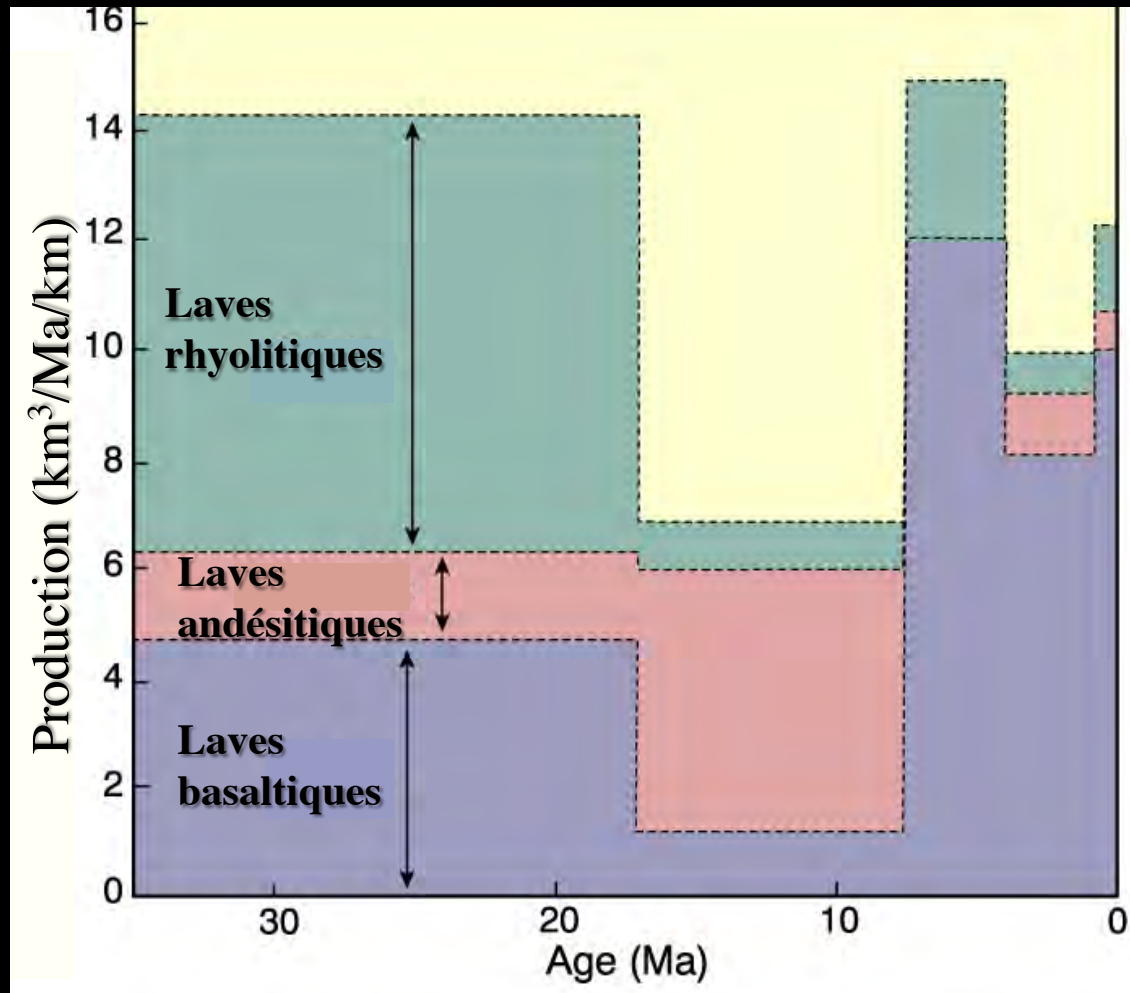
Croûte épaissie  
(60-70 km au lieu de 40 km)

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  
 $10/40 = 0.25 \text{ km}/\text{Ma}$   
 $= 25 \text{ km}$  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 km<sup>3</sup>/Ma/km



Taux de production total

≈

$50 \text{ km}^3/\text{Ma}/\text{km}$

soit

125 km de largeur  
ajoutée en 100 Ma.

≈ 1500 km en 1 Ga

Pour ≈ 55.000 km de subduction

**$3.2 \times 10^8 \text{ km}^2$  de continents en 4 Ga**

A comparer à

**$2.1 \times 10^8 \text{ km}^2$  de continents**

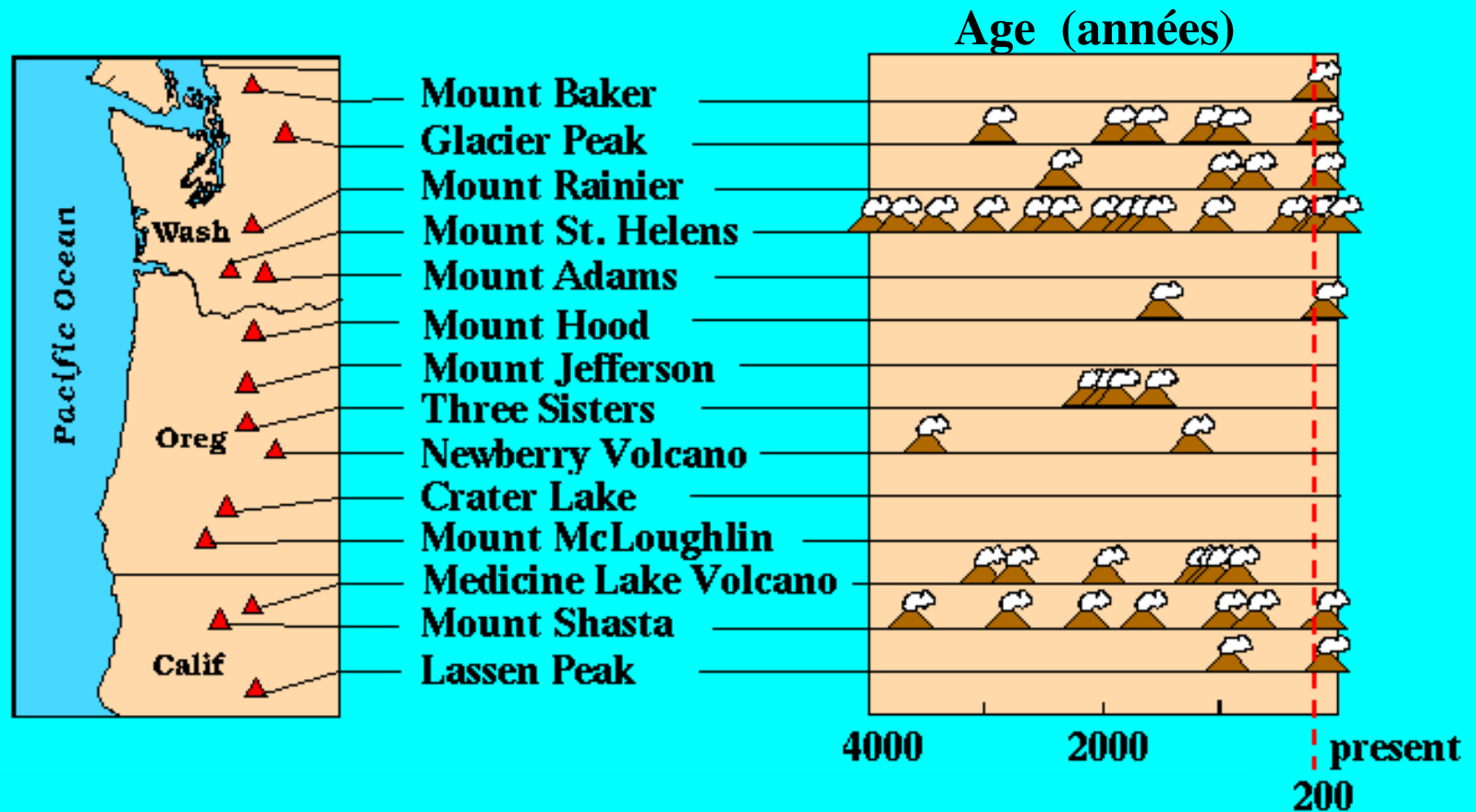
à l'heure actuelle





**FIN**

# Les volcans de la chaîne des Cascades

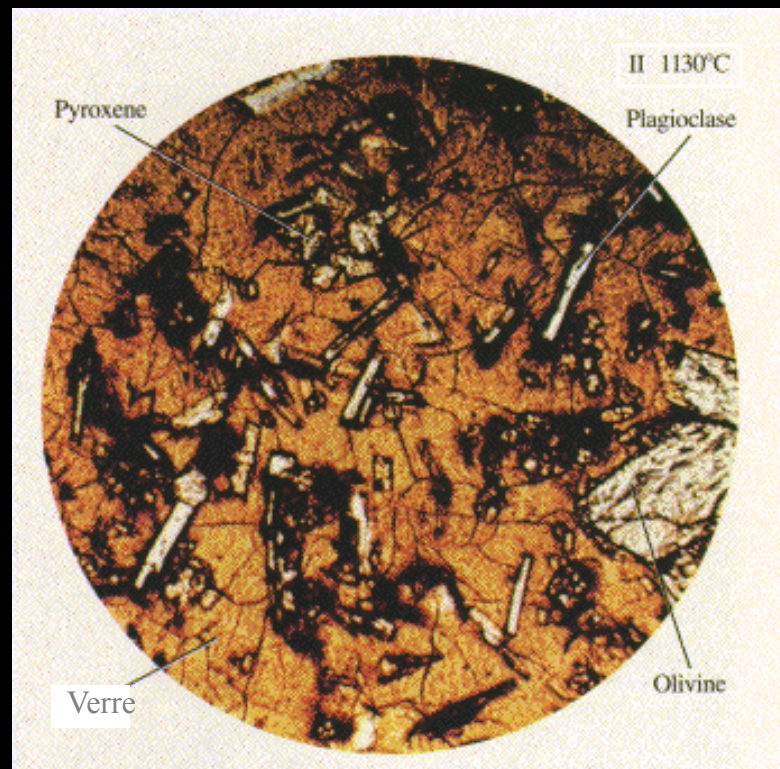




**Cristallisation** : chaque minéral a le **même** rapport  $\left[ \frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right]$  que le bain et un rapport  $\left[ \frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} \right]$  **différent**.

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



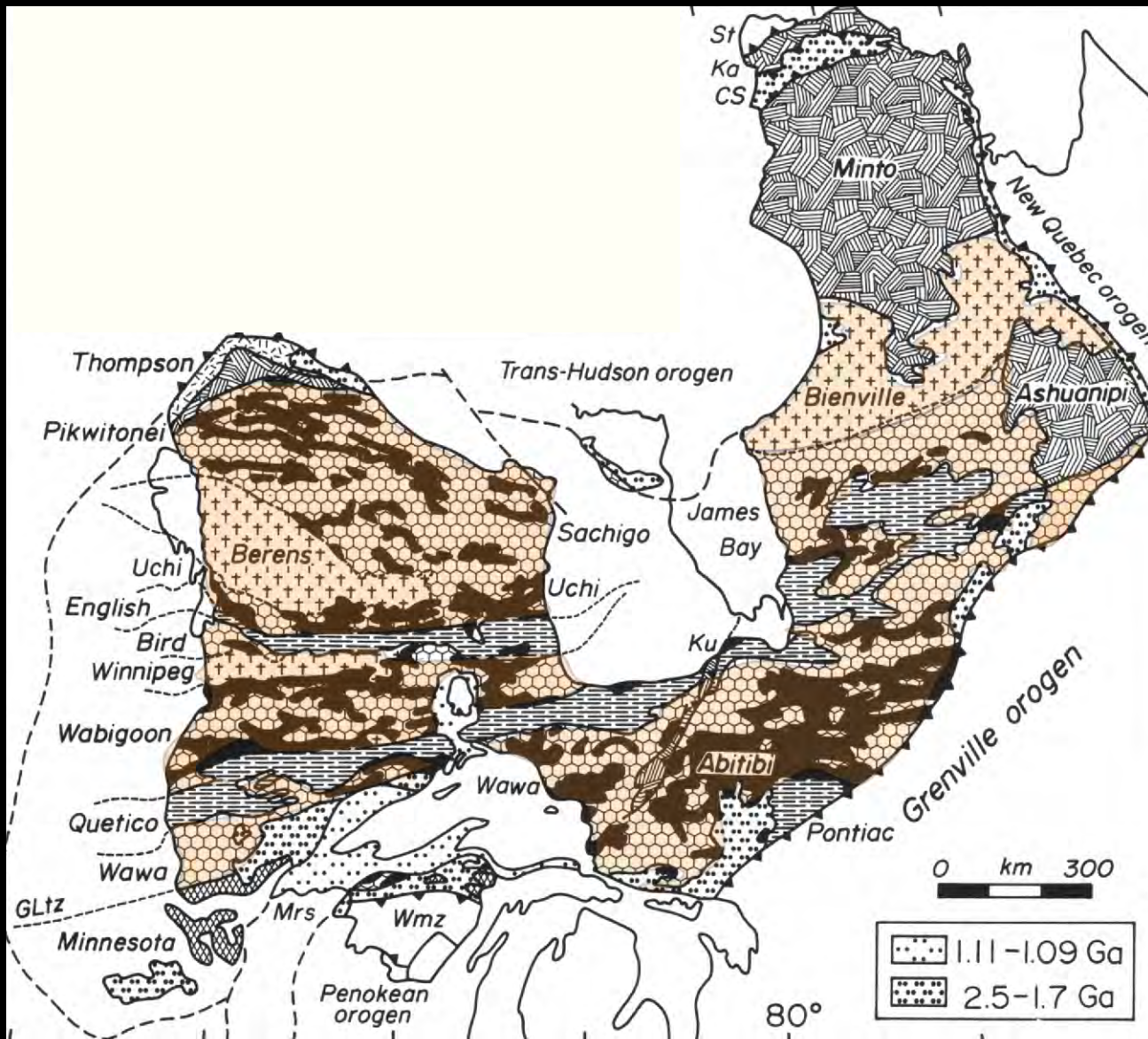


Conséquence : le rapport  $\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$  du bain change.

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

**Même principe à la fusion:**

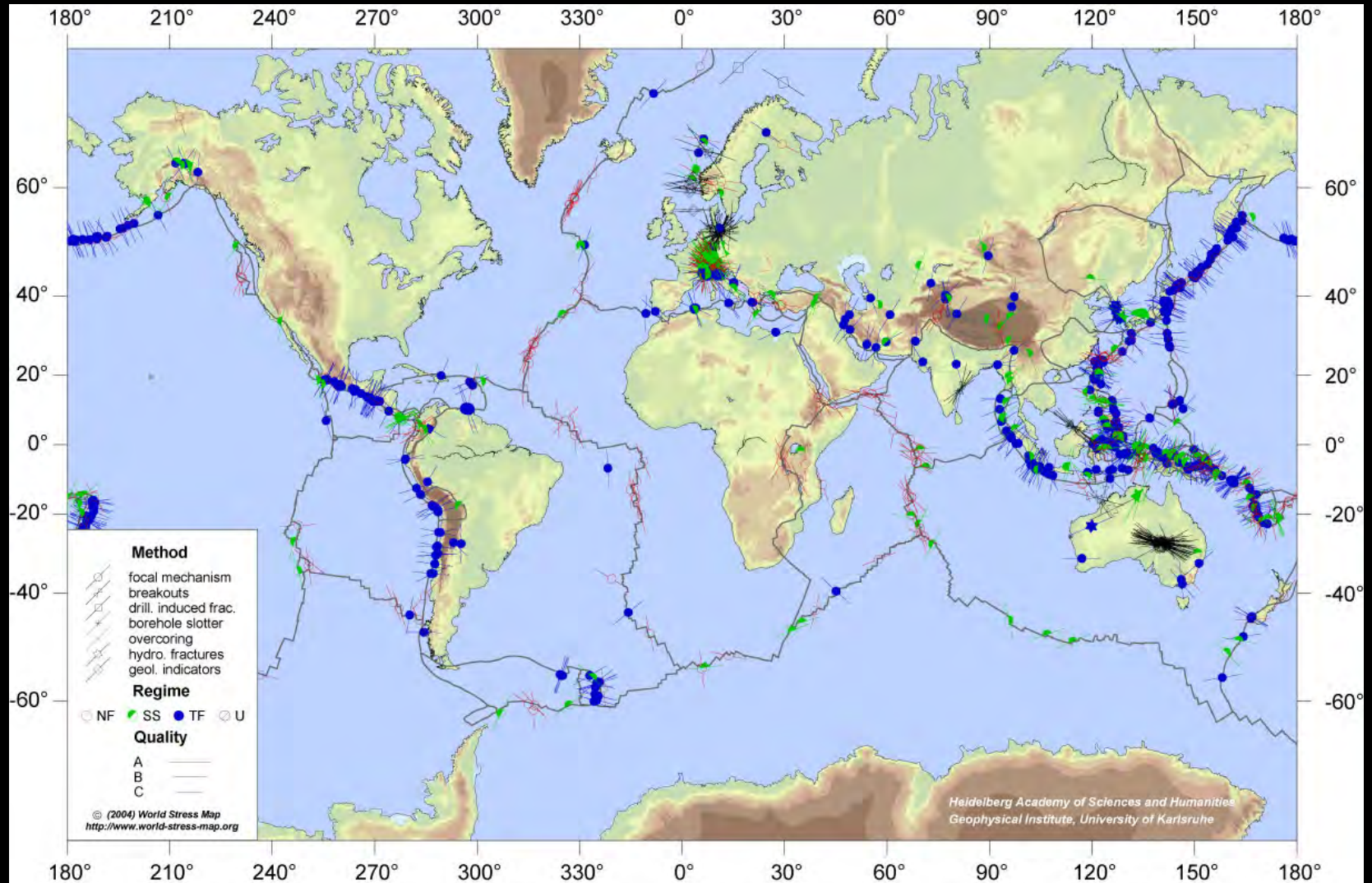
**le magma et le résidu solide ont des rapports différents.**



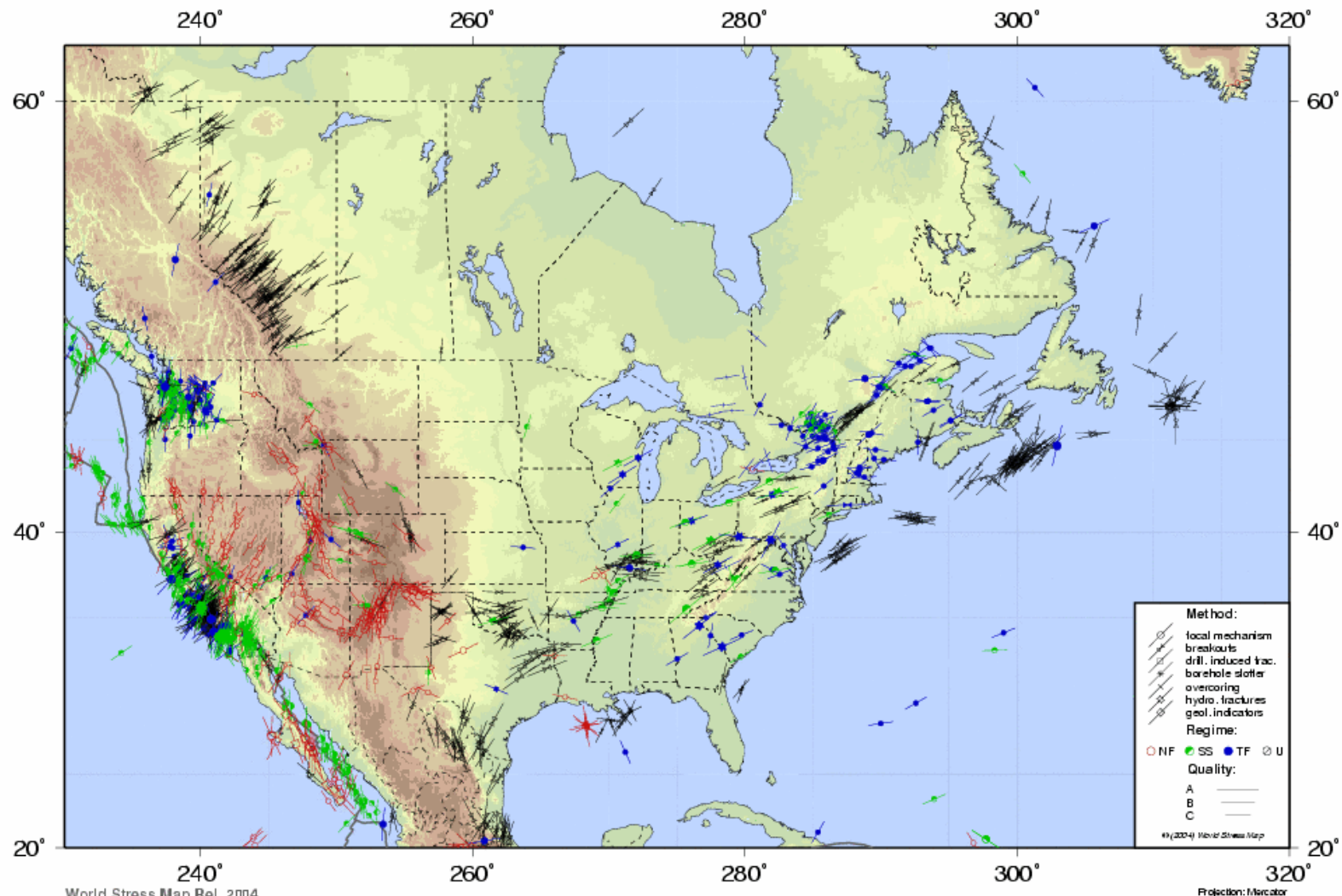
Province Supérieure (Canada)



# Intraplate stresses







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

© 1992-2004 World Stress Map

Projection: Mercator

