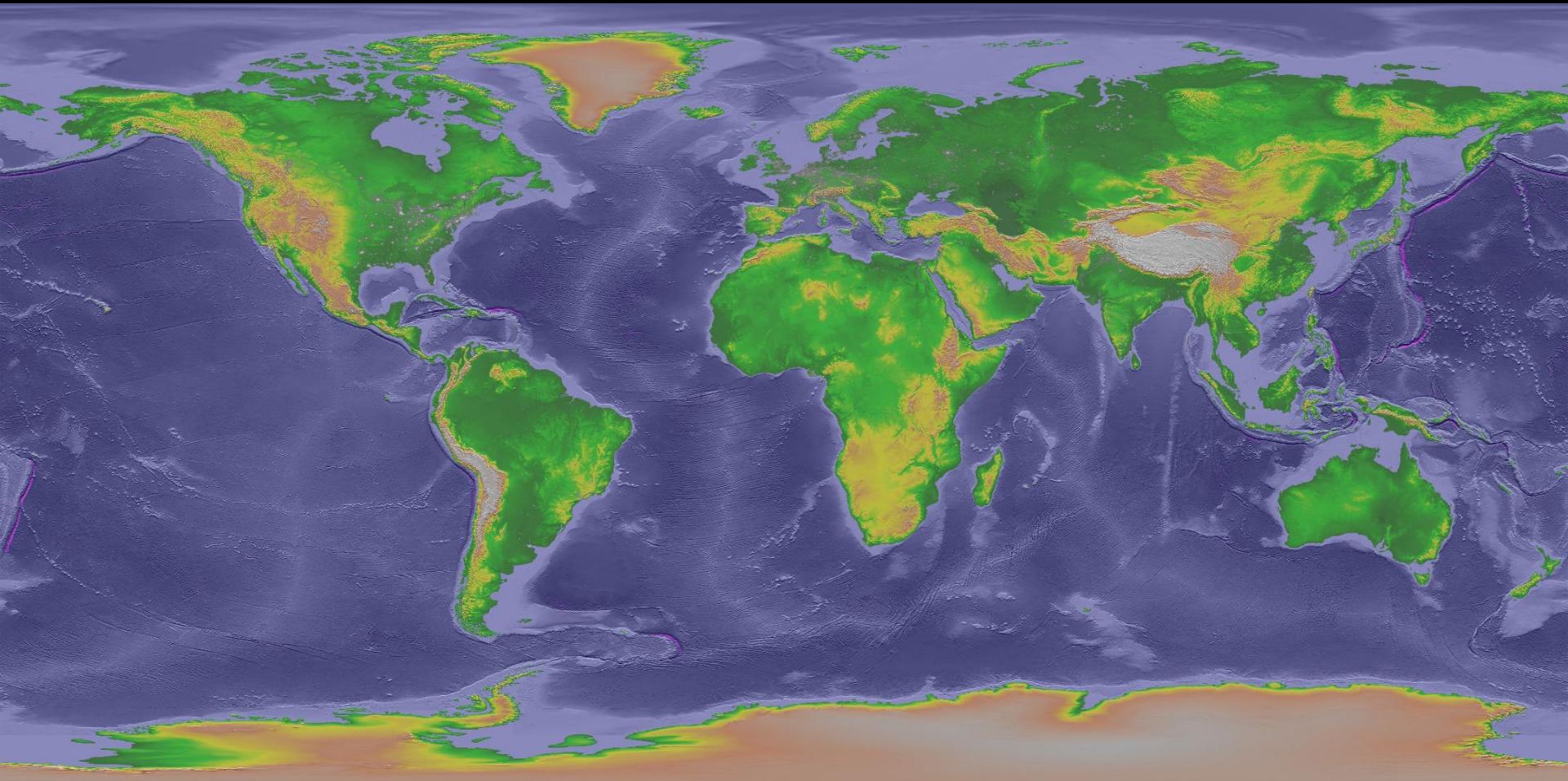


L1 Système Terre PCST & LDDGP



L1 Système Terre - Cours 3 à 6 : Géodynamique et Roches

I. La tectonique des plaques

1) Introduction - Historique

- *Notions de cristallographie et de minéralogie*

2) Frontières de plaques

a. Les frontières de plaques divergentes

- *Les roches magmatiques 1*
- *Les roches sédimentaires*

b. **Les frontières de plaques convergentes**

- *Les roches magmatiques 2*
- *Les roches métamorphiques*
- *Les roches : ressources géologiques*

c. **Les frontières de plaques décrochantes**

II. Cinématique des plaques

III. Moteur(s) des mouvements

3) b. Les frontières de plaques convergentes (suite)

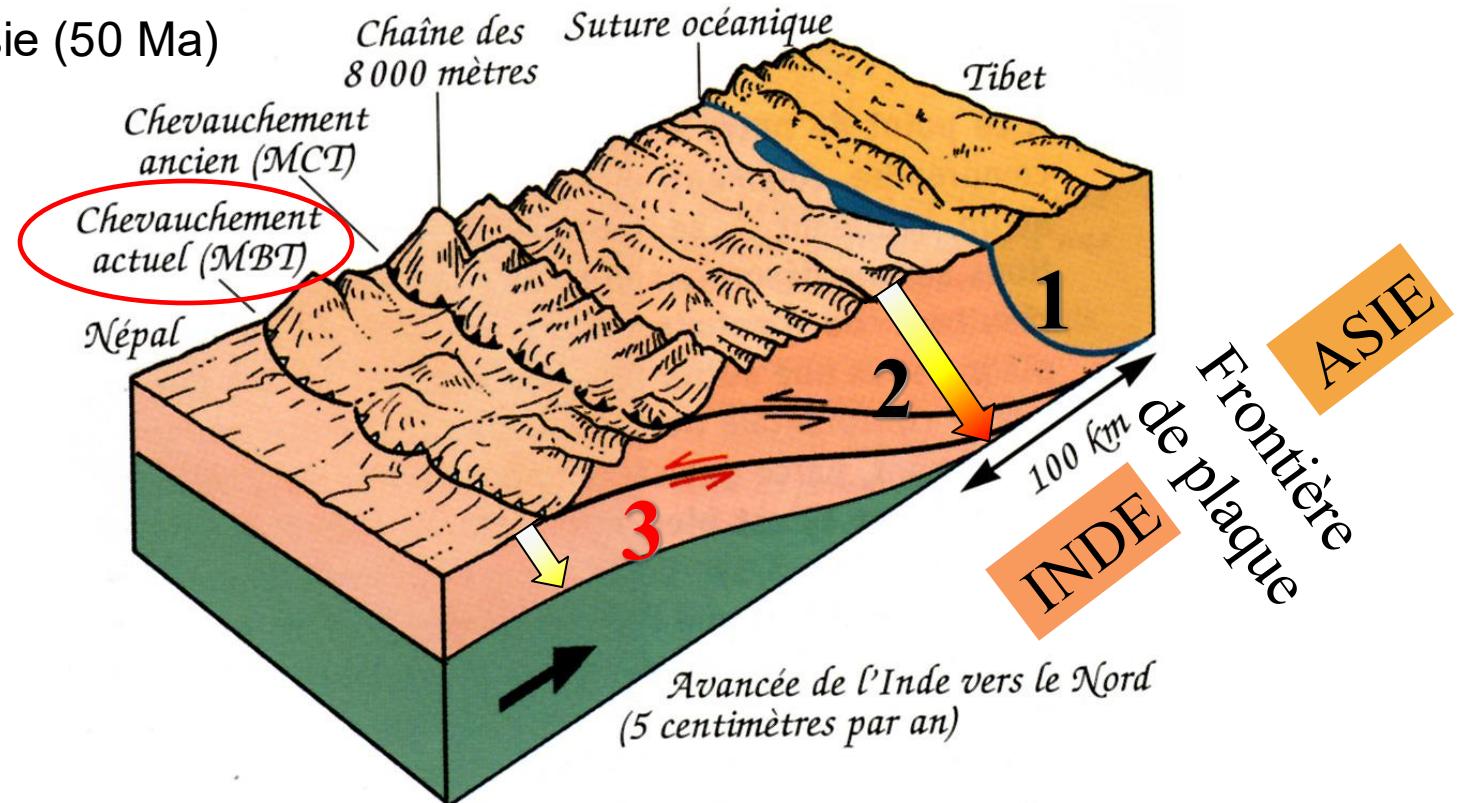
Rappel

A) Une partie de la convergence est accommodée par les grands chevauchements

1: Contact Inde-Asie (50 Ma)

2: MCT (20 Ma)

3: MBT (actuel)



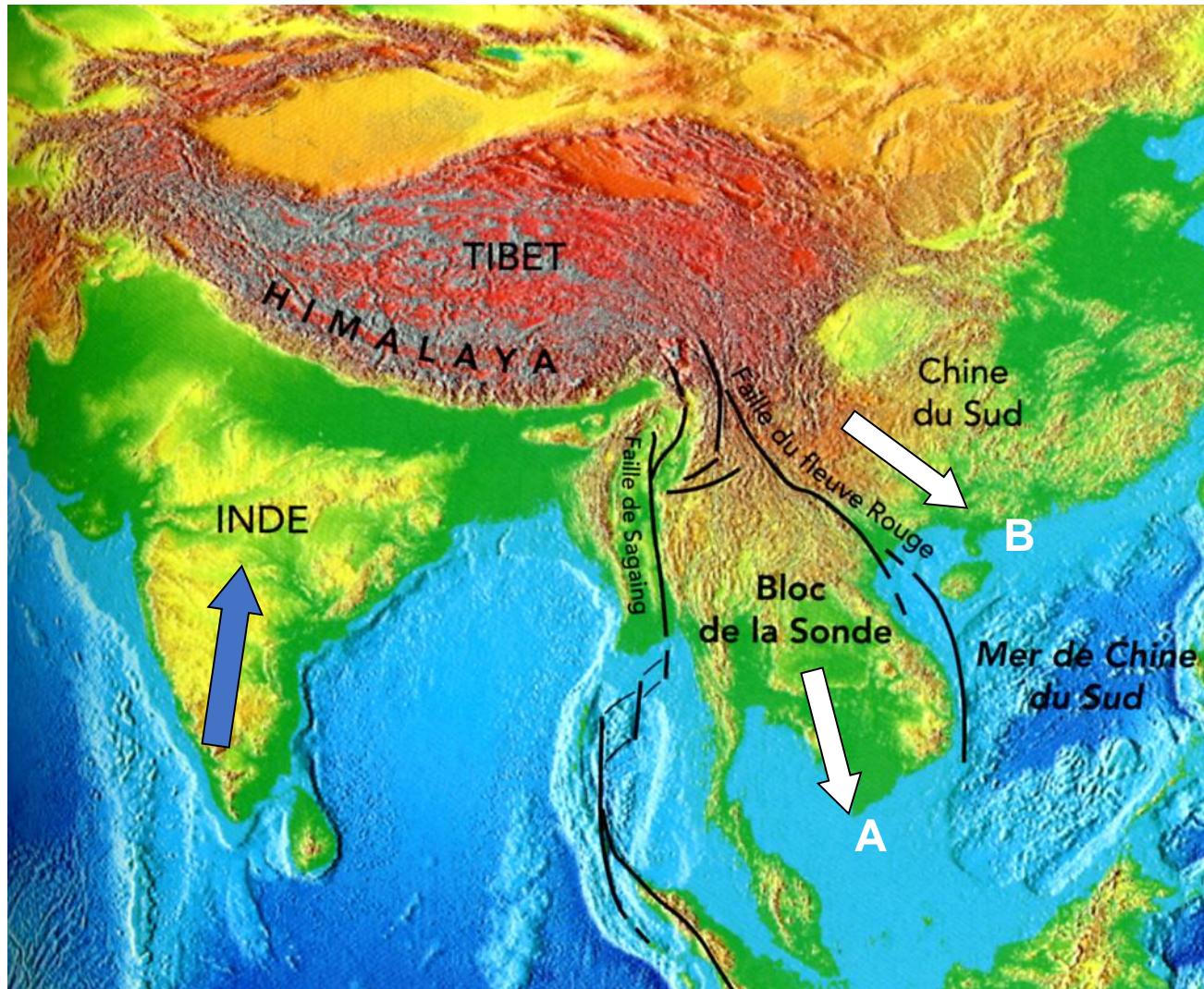
L'enfoncement de l'Inde sous le Tibet provoque de grands chevauchements successifs : MCT (-20 Ma) et MBT (actuel).

Les terrains se superposent :

=> épaisseissement crustal => P et T augmentent => Métamorphisme

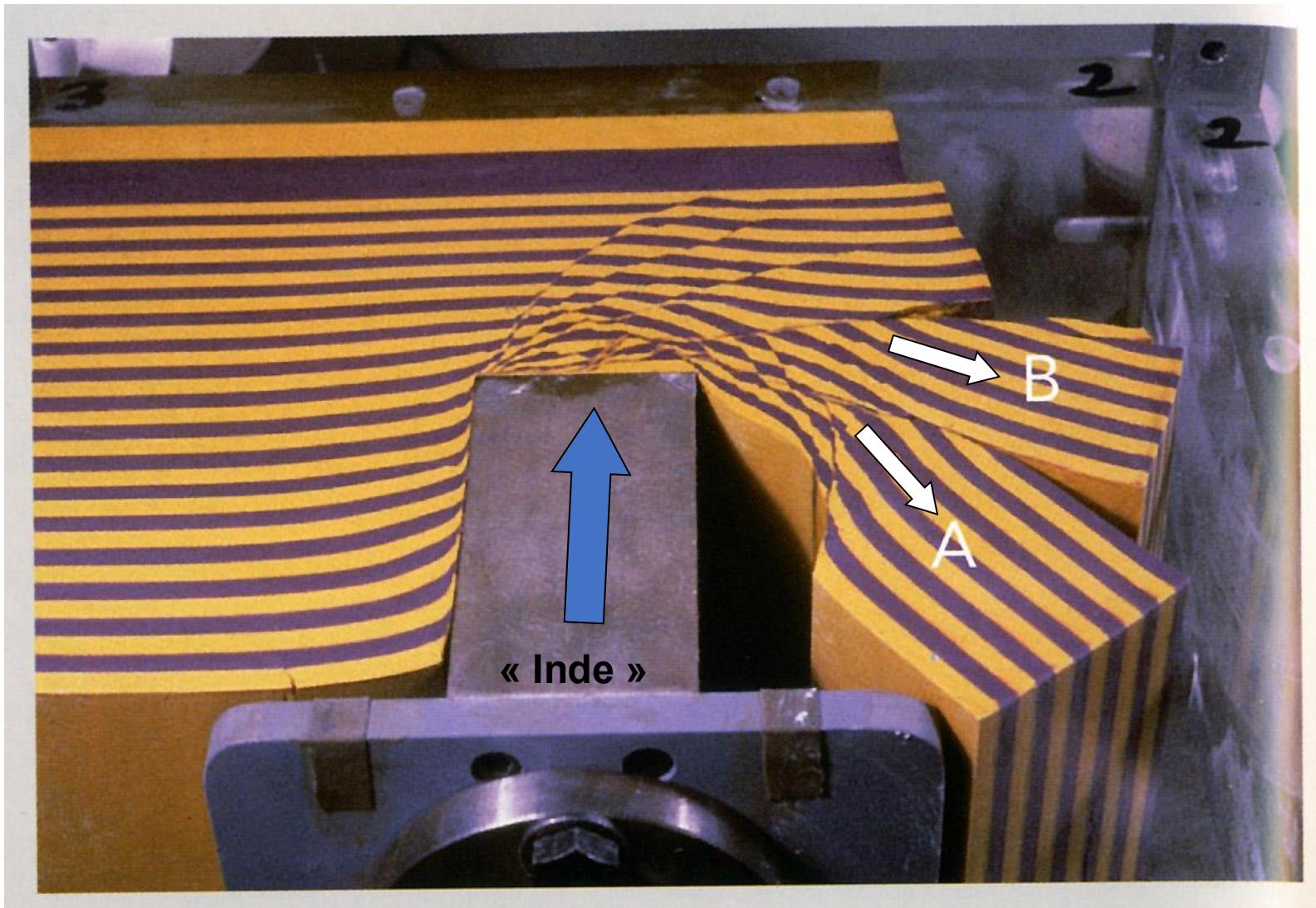
3) b. Les frontières de plaques convergentes

B) Une partie de la convergence Inde-Asie est accommodée par l'extrusion horizontale de l'Asie du Sud-Est



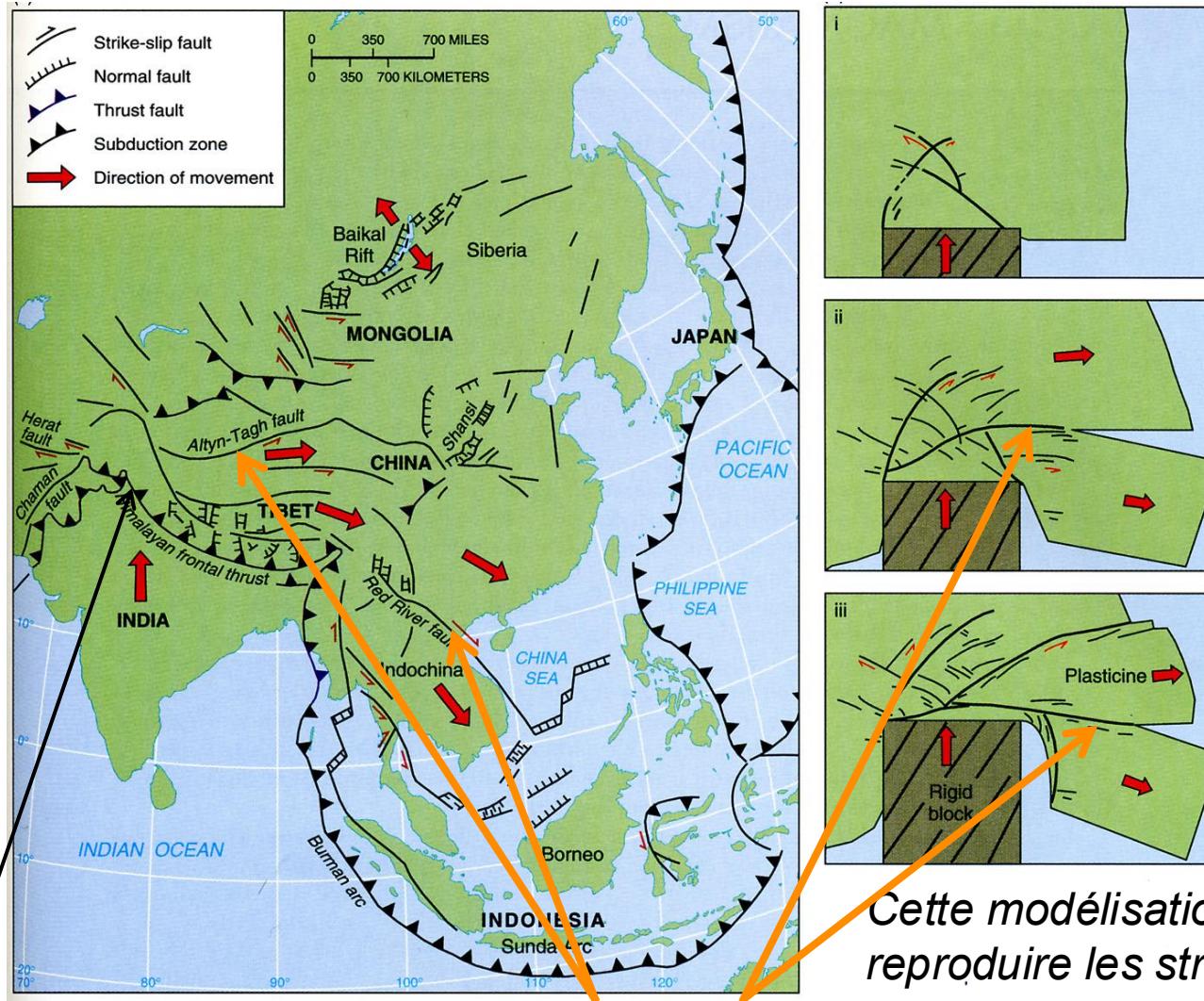
3) b. Les frontières de plaques convergentes

B) Une partie de la convergence Inde-Asie est accommodée par l'extrusion horizontale de l'Asie du Sud-Est



3) b. Les frontières de plaques convergentes

B) Une partie de la convergence Inde-Asie est accommodée par l'extrusion horizontale de l'Asie du Sud-Est



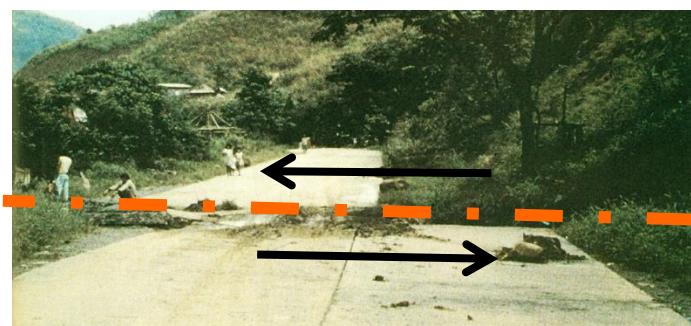
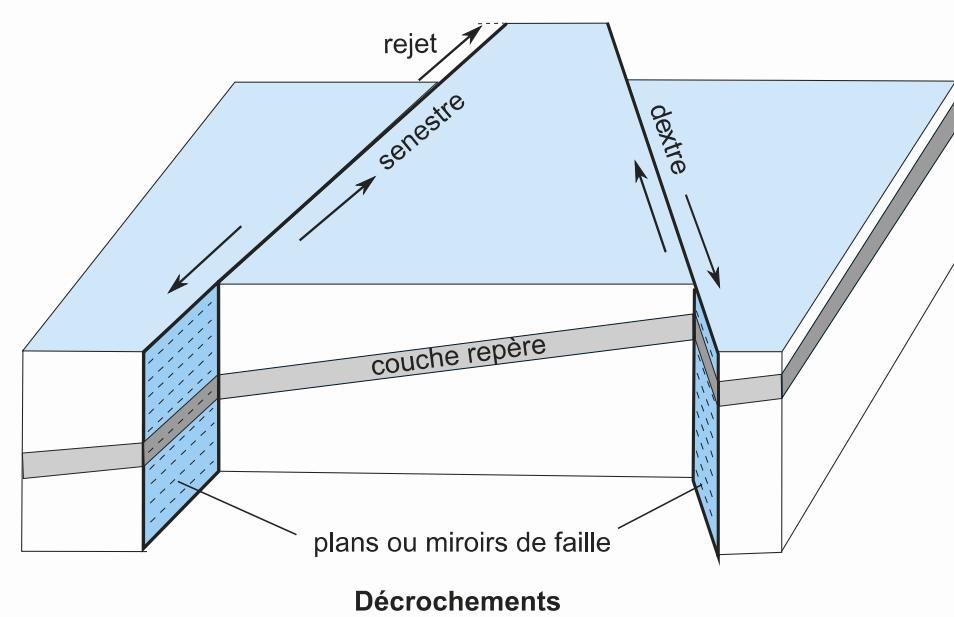
failles inverses et chevauchements

failles décrochantes

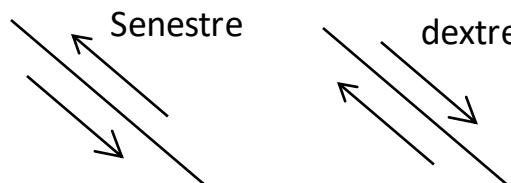
Cette modélisation simple permet de reproduire les structures tectoniques observées en Asie du Sud-Est.

3) c. Les frontières de plaques décrochantes

Failles décrochantes (ou décrochement)



Représentation en carte:



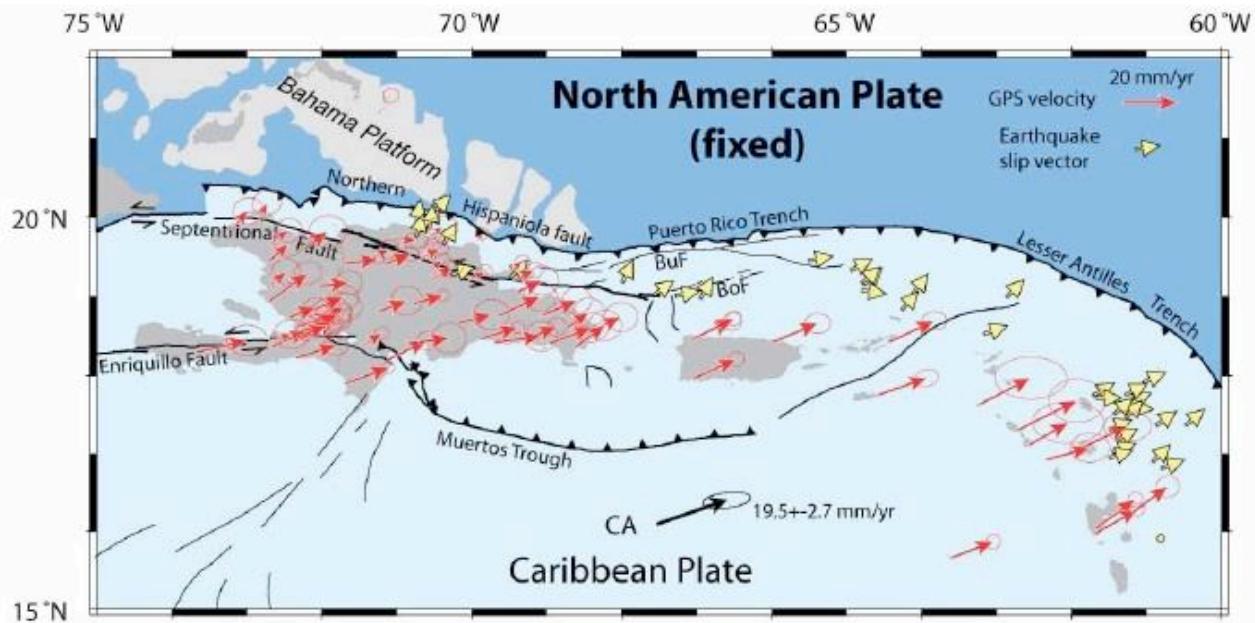
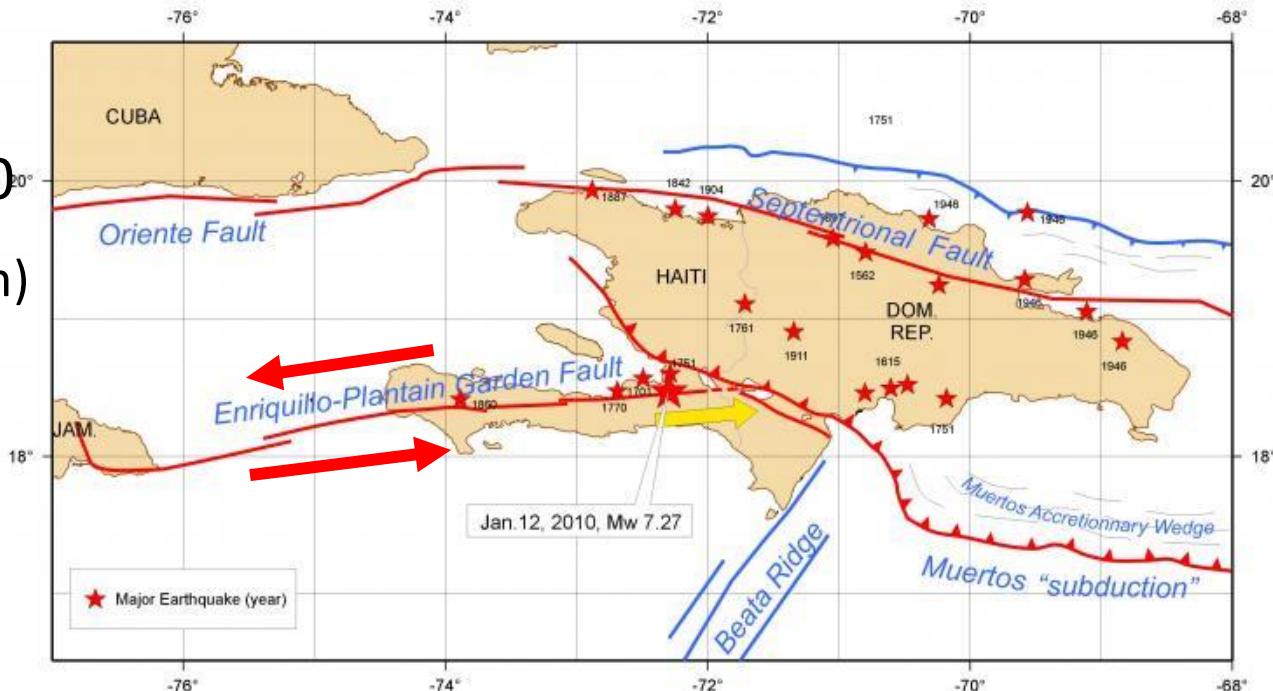
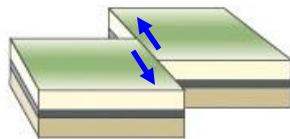
Haiti

Séisme du 12/01/2010

M=7.3 (Profondeur 10 km)

Déplacement de 1 à 2m,
sur 70 km de long

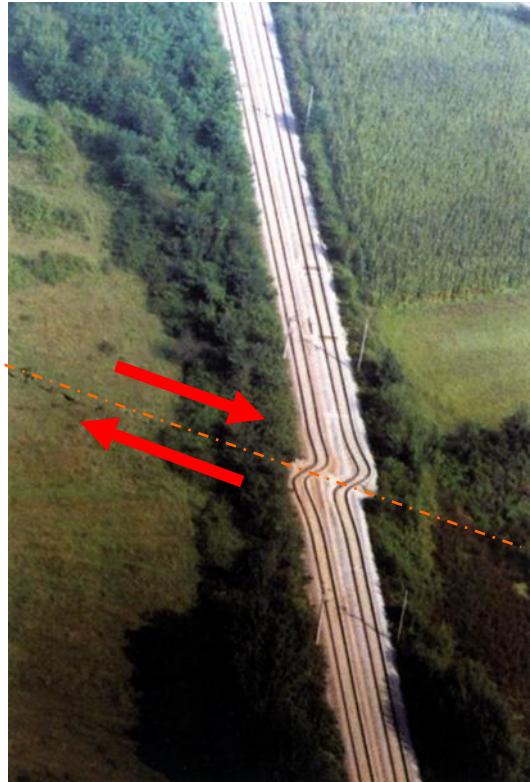
Faile de cisaillement
(décrochement)



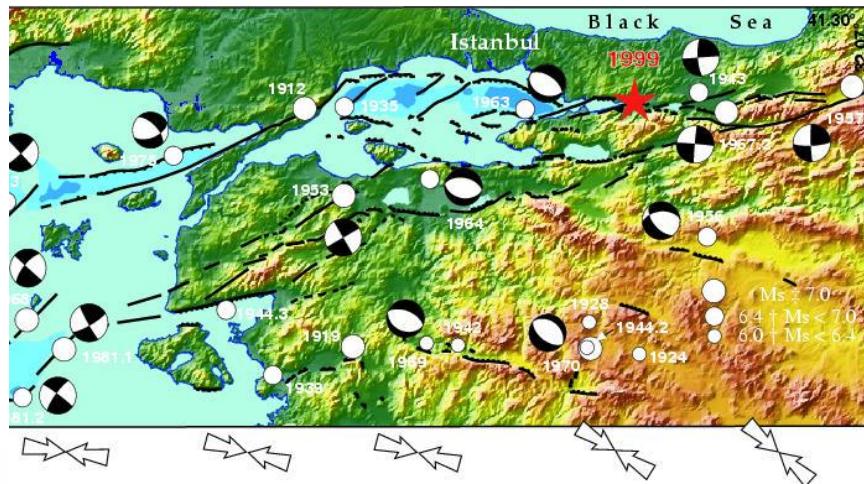
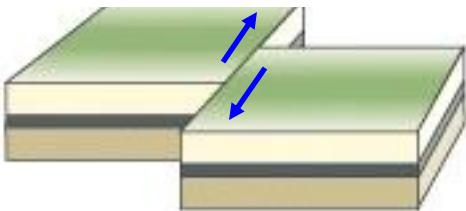
Carte des déplacements enregistrés par le réseau GPS en rouge pour la plaque Caraïbe, par rapport à la plaque Amérique (considérée comme fixe).

Séisme d' Izmit (Turquie, 1999)

Magnitude: 7,6



Faile de cisaillement
(décrochement)



3) c. Les frontières de plaques décrochantes

Failles décrochantes (ou décrochement)

Exemple: Faille de San Andréas, USA.

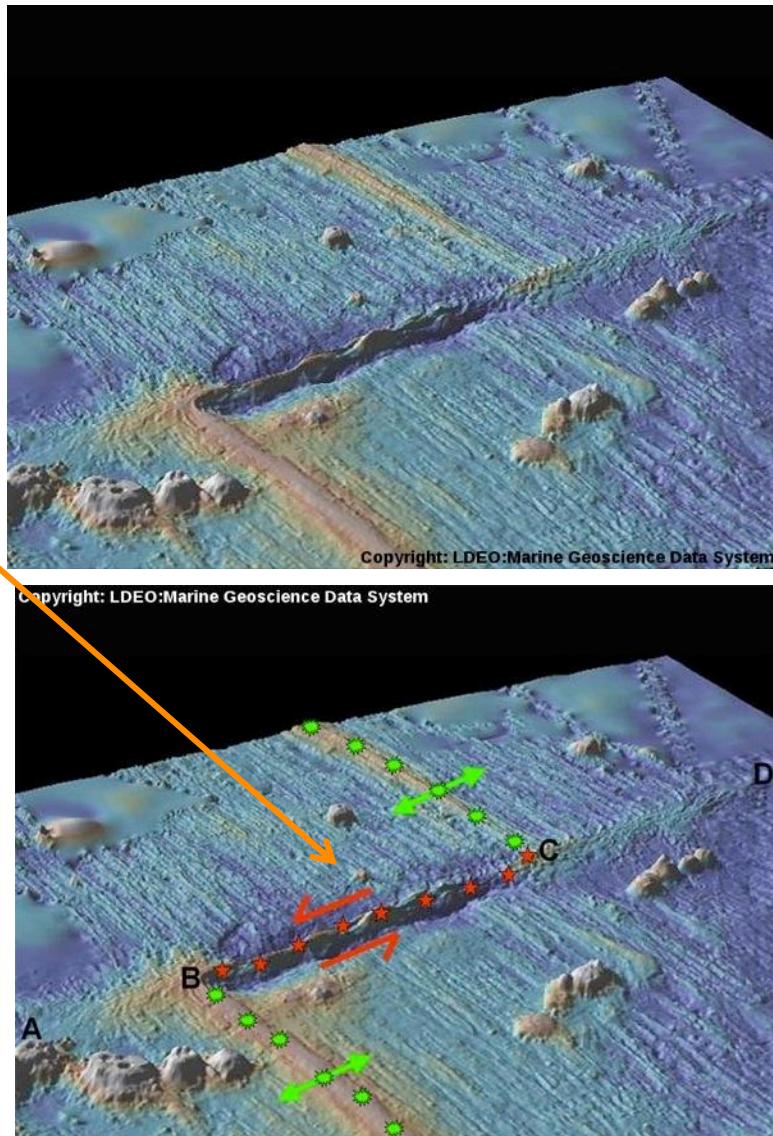
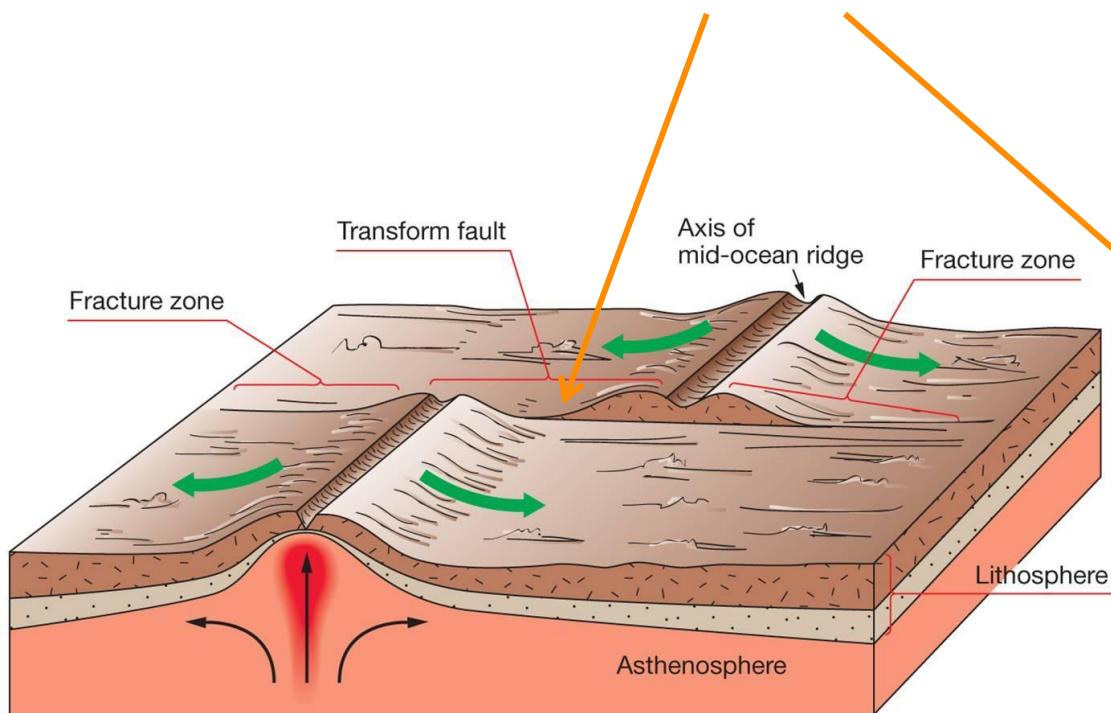
1300km de long, en fonctionnement depuis 30Ma



3) c. Les frontières de plaques décrochantes

Failles décrochantes (ou décrochement)

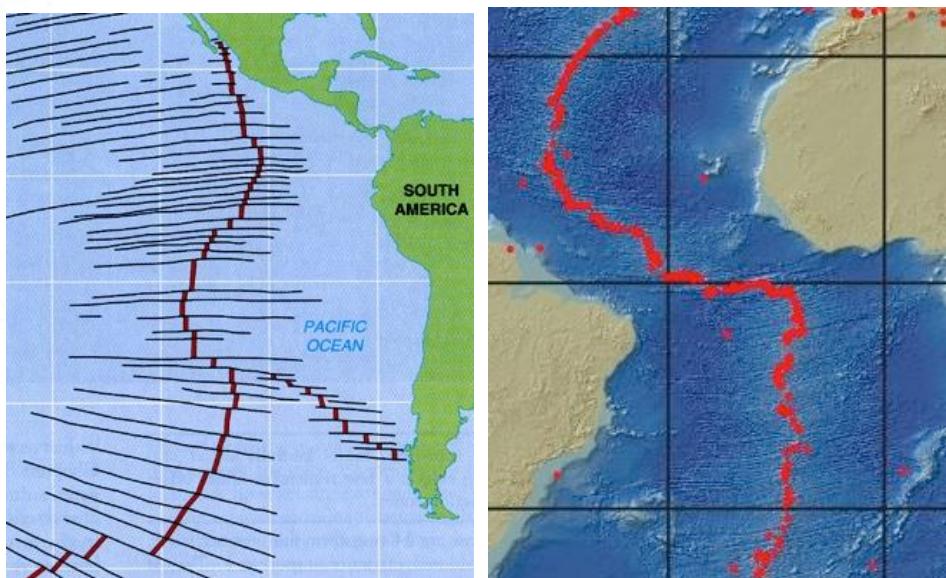
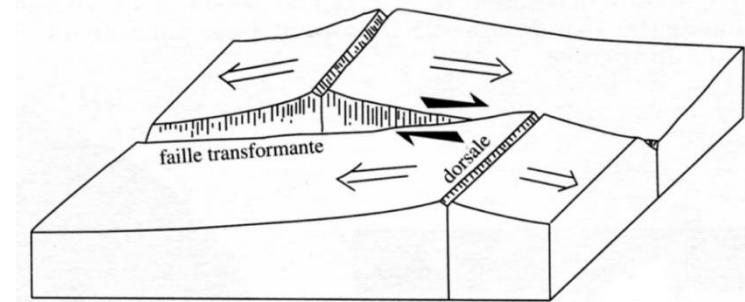
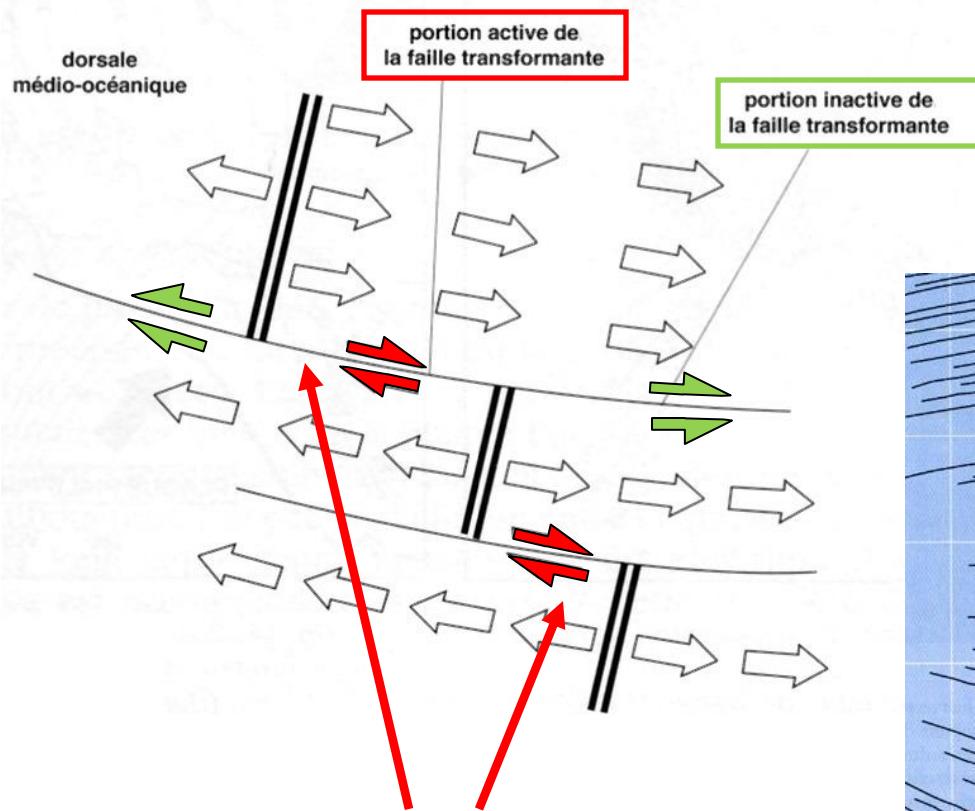
En domaine océanique, elles sont les relais des différents segments de la dorsale:
ce sont les **failles transformantes**



3) c. Les frontières de plaques décrochantes

Failles décrochantes (ou décrochement)

Les failles transformantes



Localisation des séismes importants

L1 Système Terre - Cours 3 à 6 : Géodynamique et Roches

I. La tectonique des plaques

1) Introduction - Historique

➤ *Notions de cristallographie et de minéralogie*

2) Frontières de plaques

a. Les frontières de plaques divergentes

➤ *Les roches magmatiques 1*

➤ *Les roches sédimentaires*

b. Les frontières de plaques convergentes

➤ *Les roches magmatiques 2*

➤ *Les roches métamorphiques*

➤ *Les roches : ressources géologiques*

c. Les frontières de plaques décrochantes

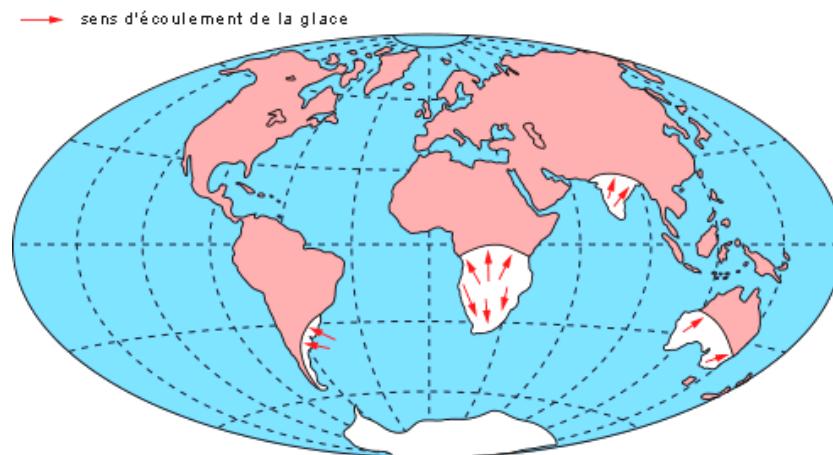
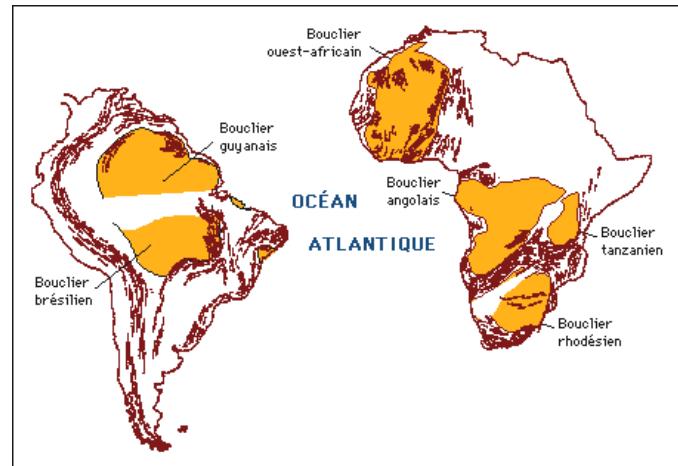
II. Cinématique des plaques

III. Moteur(s) des mouvements

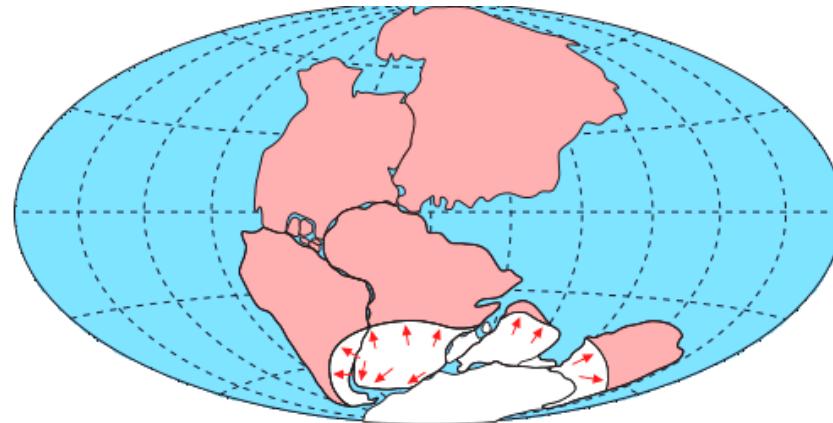
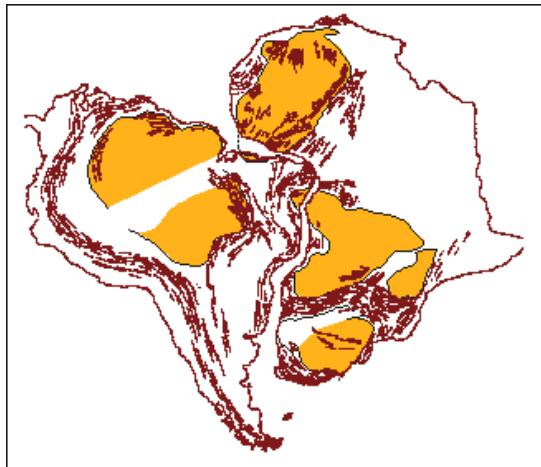
II. Cinématique des plaques

C'est l'étude du mouvement des plaques, actuel et dans le passé

Actuel



Pangée



Elle permet de retrouver la position des continents dans le passé

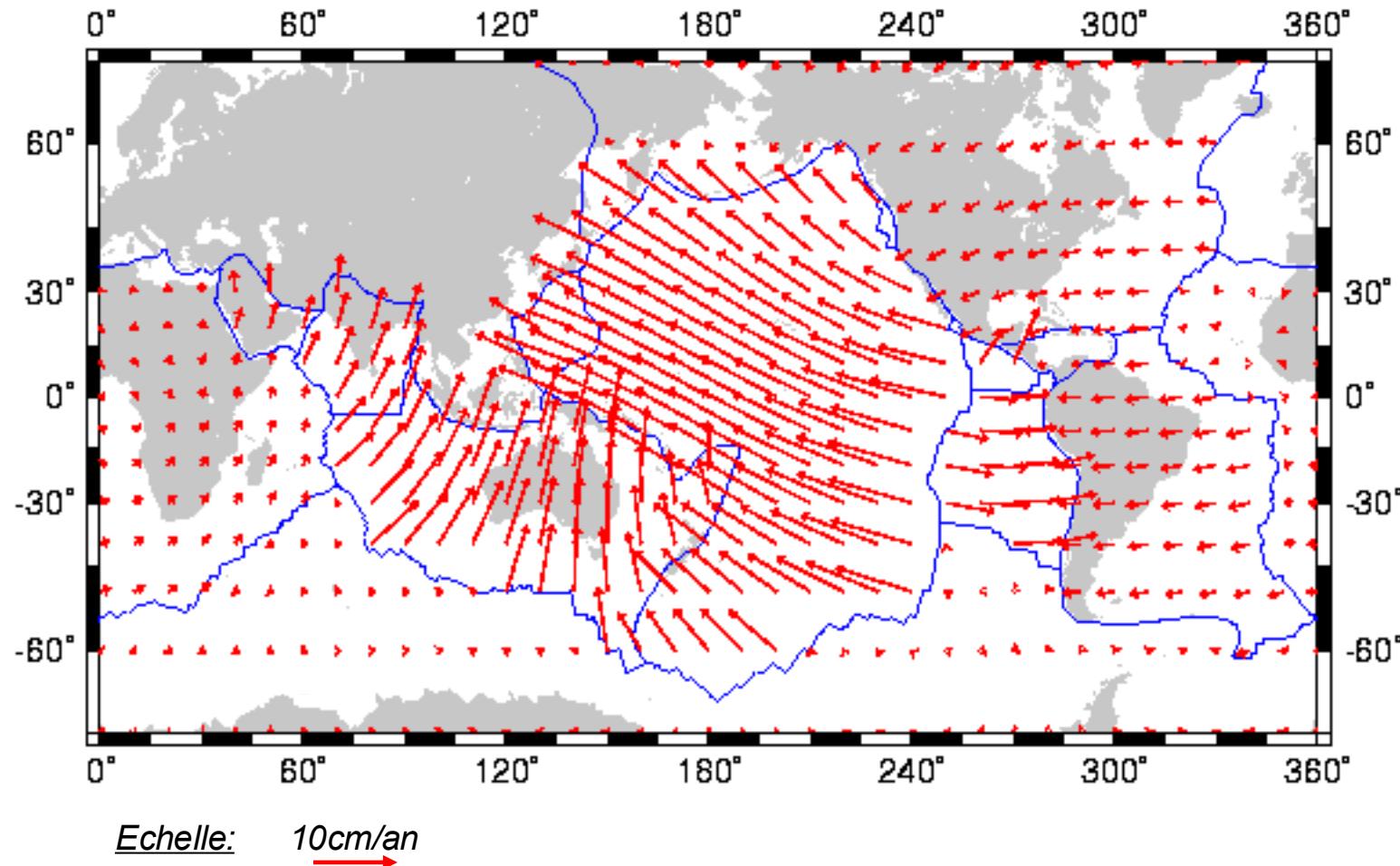
II. Cinématique des plaques

On peut mesurer ou reconstruire le mouvement des plaques par différentes approches:

- 1) La mesure directe par GPS.**

II. 1) Mesures GPS

Mouvement **actuel** des plaques par rapport à la plaque Eurasie (supposée fixe)



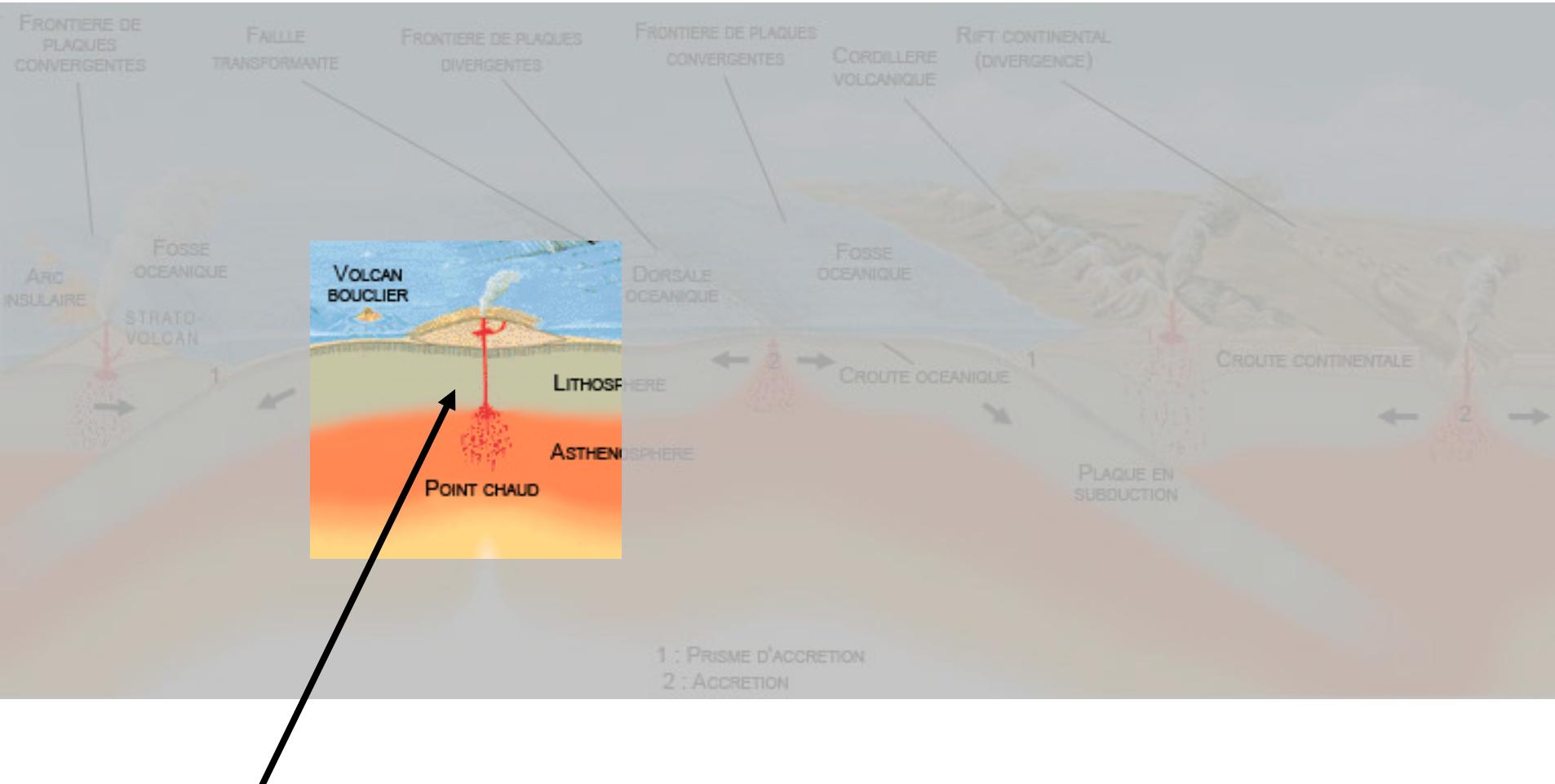
II. Cinématique des plaques

On peut mesurer ou reconstruire le mouvement des plaques par différentes approches:

- 1) La mesure directe par GPS.
- 2) **L'étude des points chauds (fixes par rapport à une lithosphère qui se déplace).**

II. 2) Les points chauds

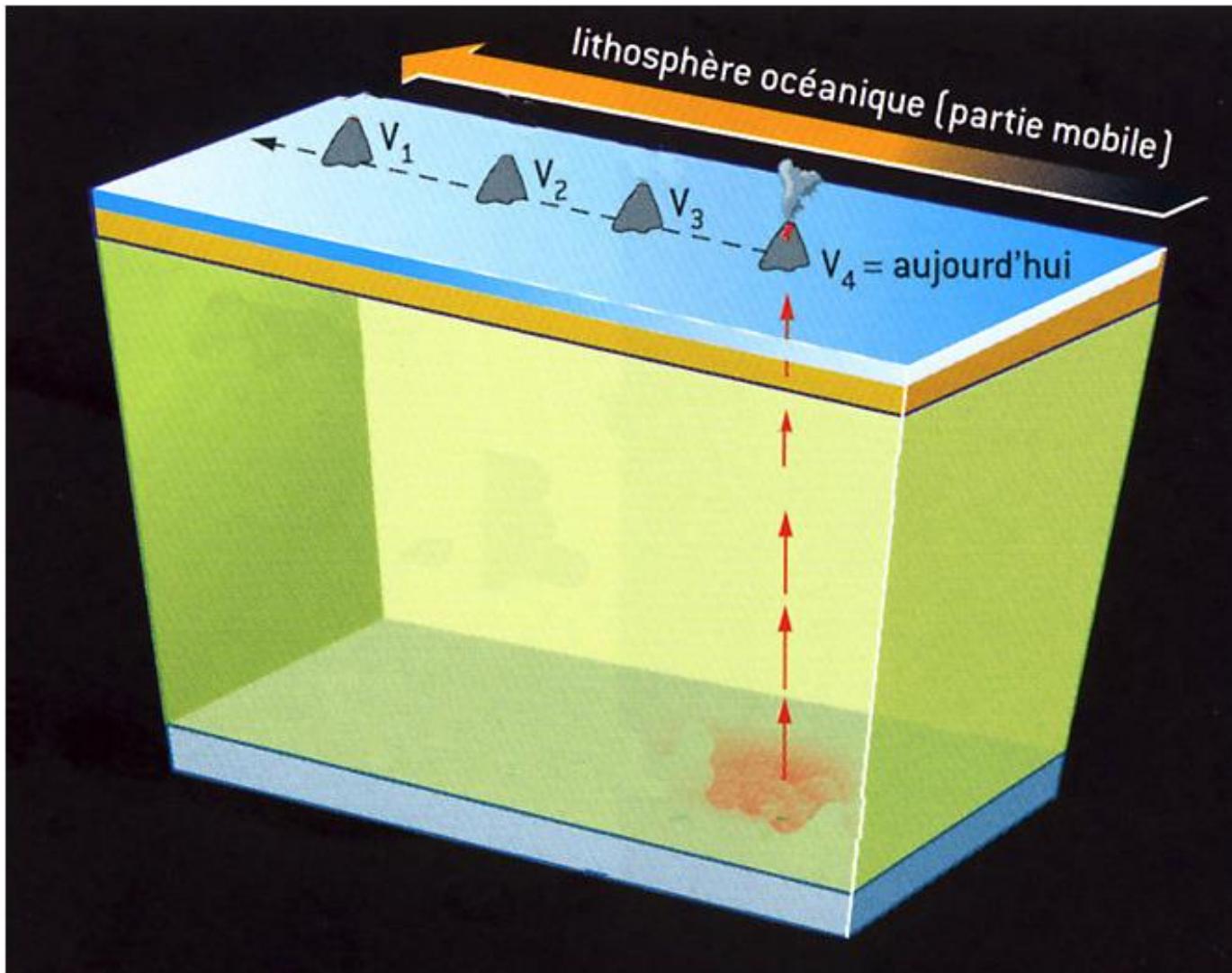
Il existe aussi du volcanisme hors des frontières des plaques tectoniques



Volcanisme intra-plaque

II. 2) Les points chauds

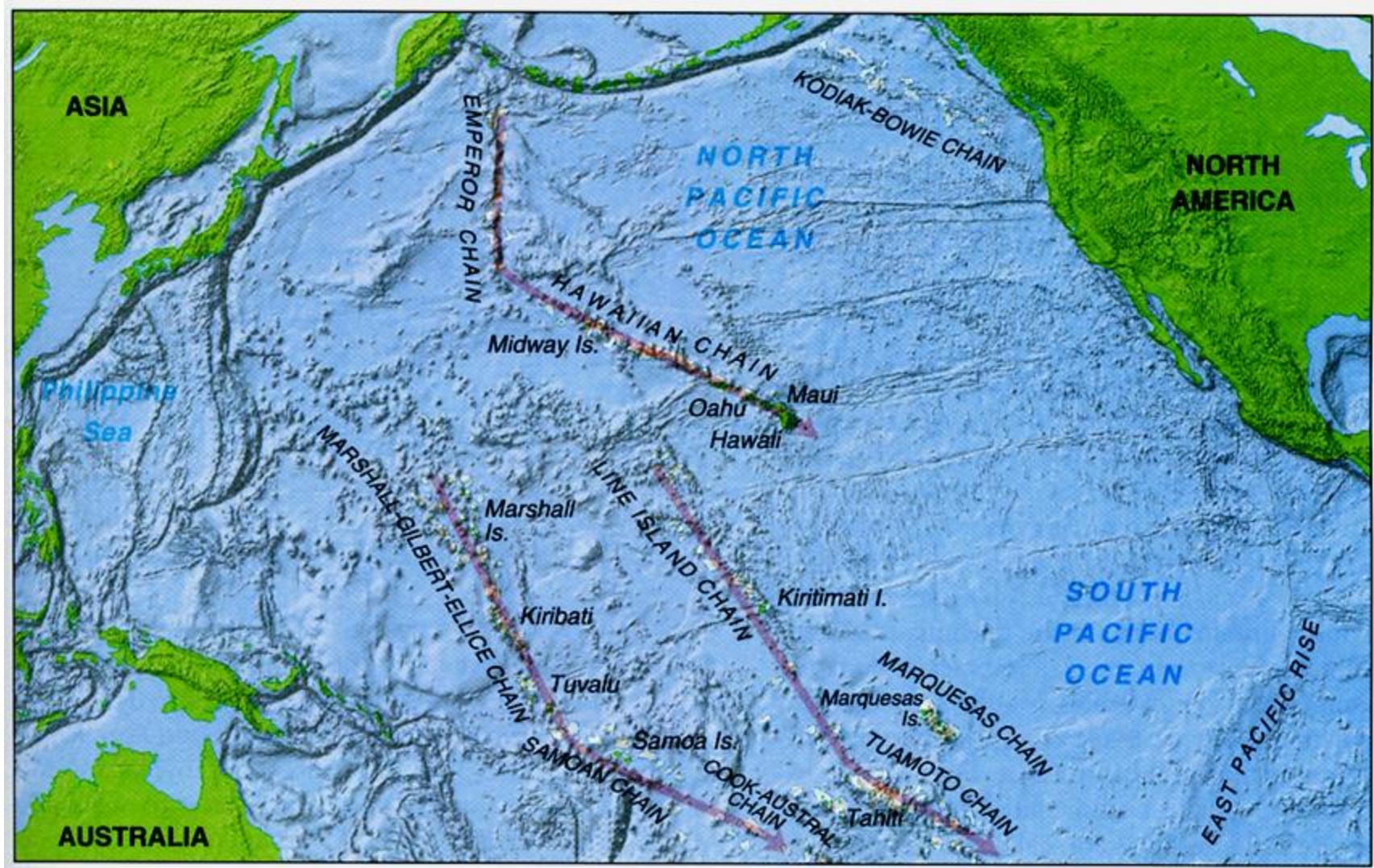
La source des points chauds est profonde et **fixe** par rapport à la lithosphère océanique qui se déplace



II. 2) Les points chauds

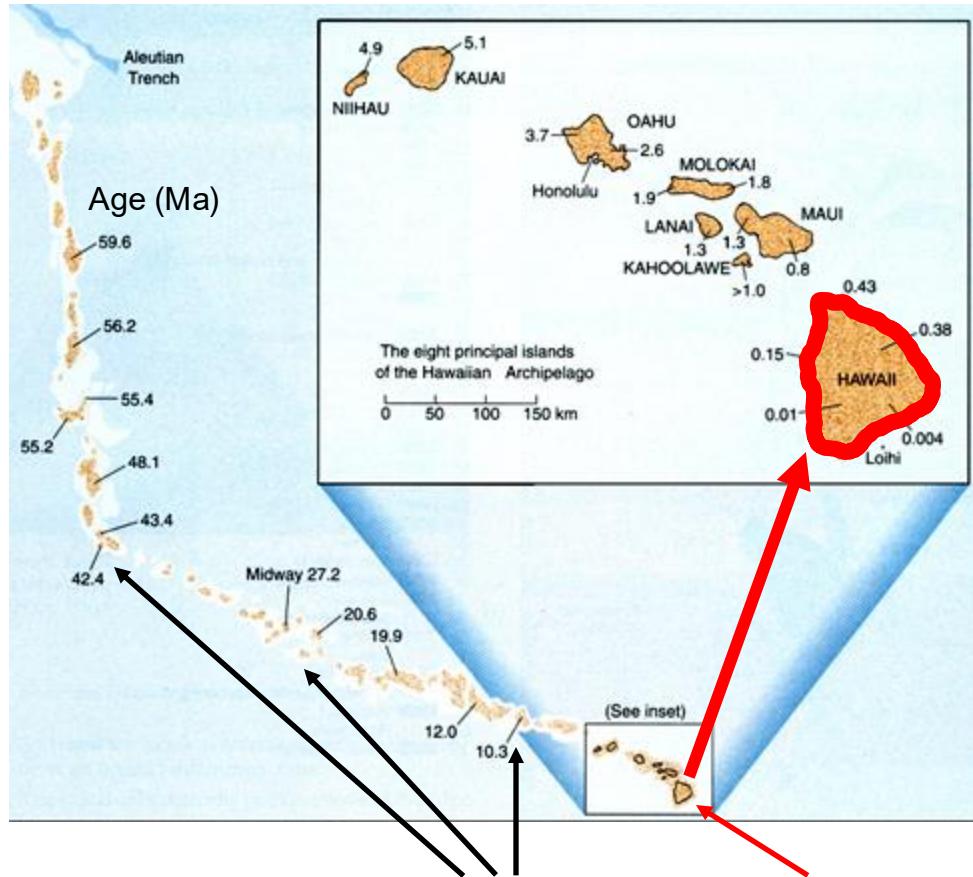
Alignements des îles volcaniques dans le Pacifique

-> présence de plusieurs points chauds



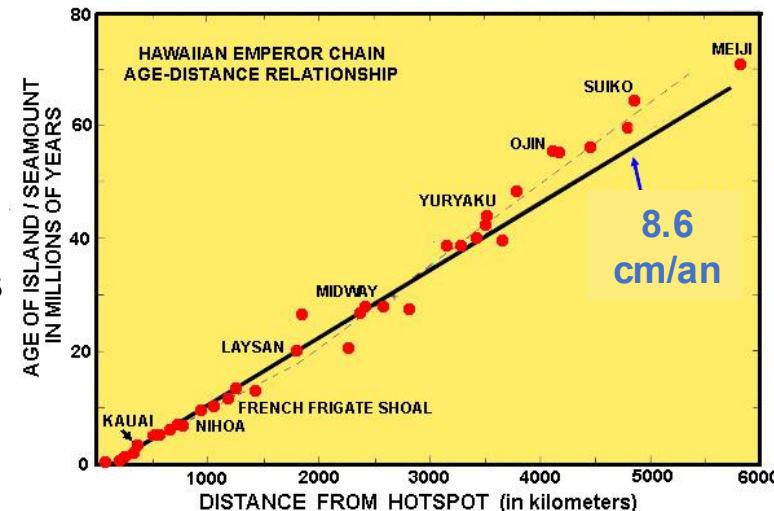
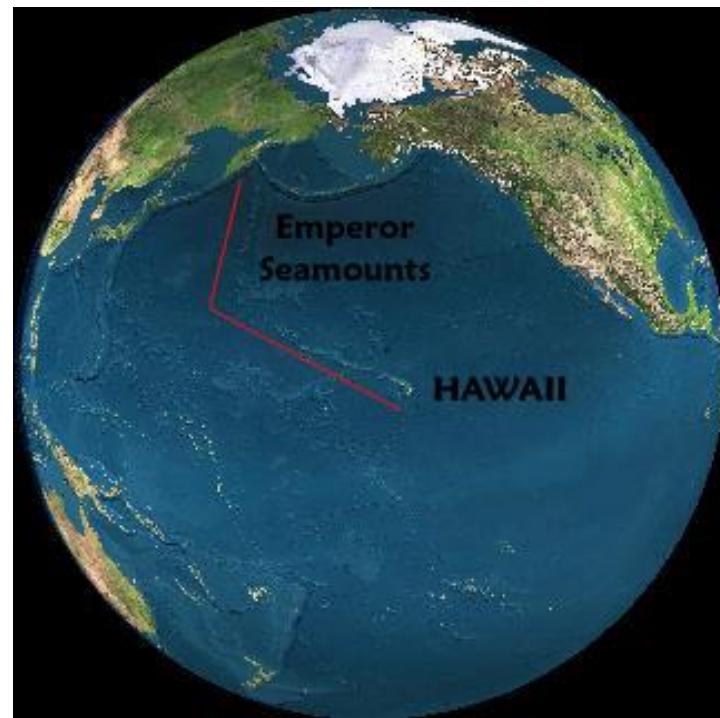
II. 2) Les points chauds

Exemple de l'archipel Hawaii - Empereur



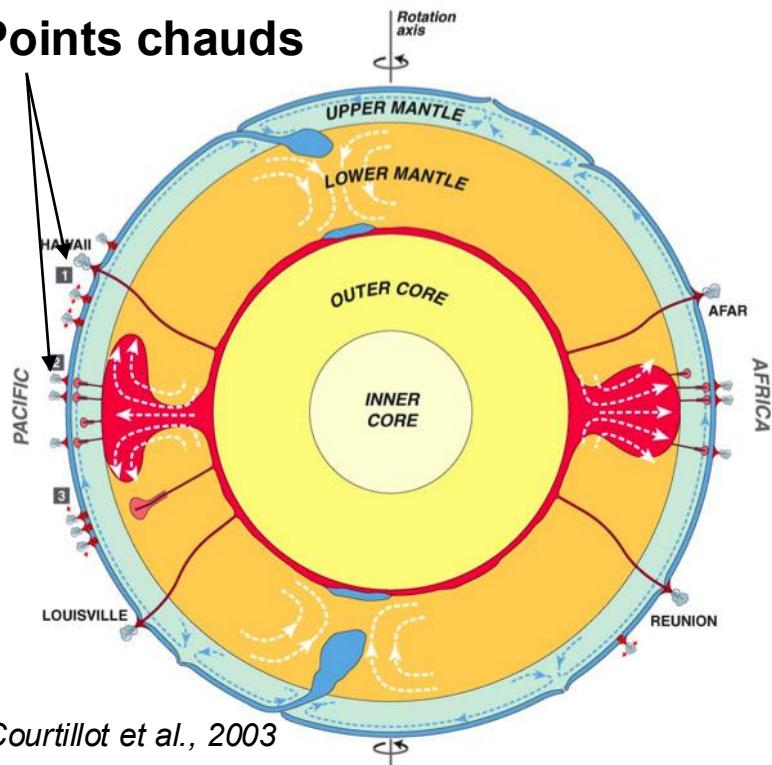
Plus les îles sont éloignées du volcan **actif**, plus les volcans sont vieux.

-> On peut calculer la vitesse de la lithosphère.



II. 2) Les points chauds

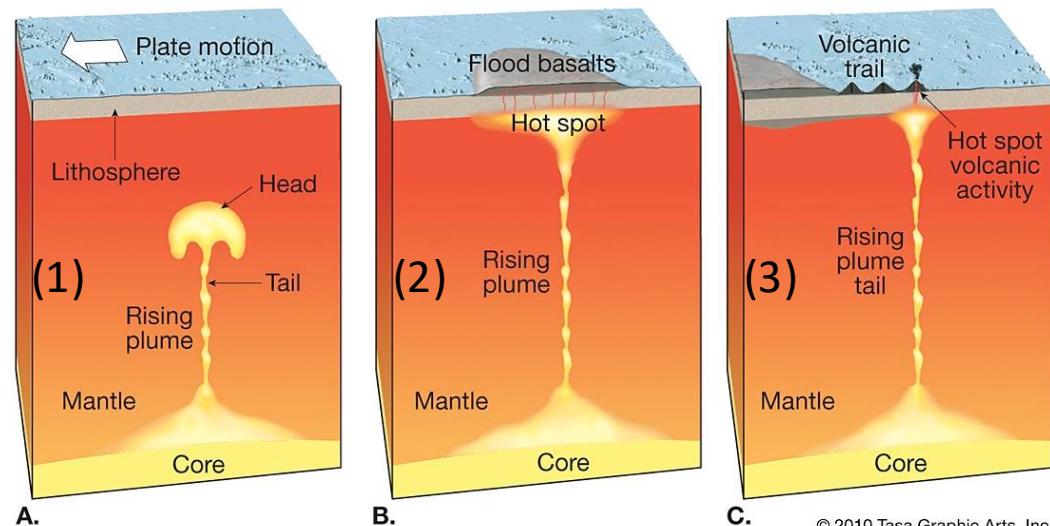
Points chauds



Courtillot et al., 2003

Anomalie de température (plus élevée) au niveau du manteau

- Ascension d'un panache mantellique (1)
- Production massive de magma de type basalte (2)

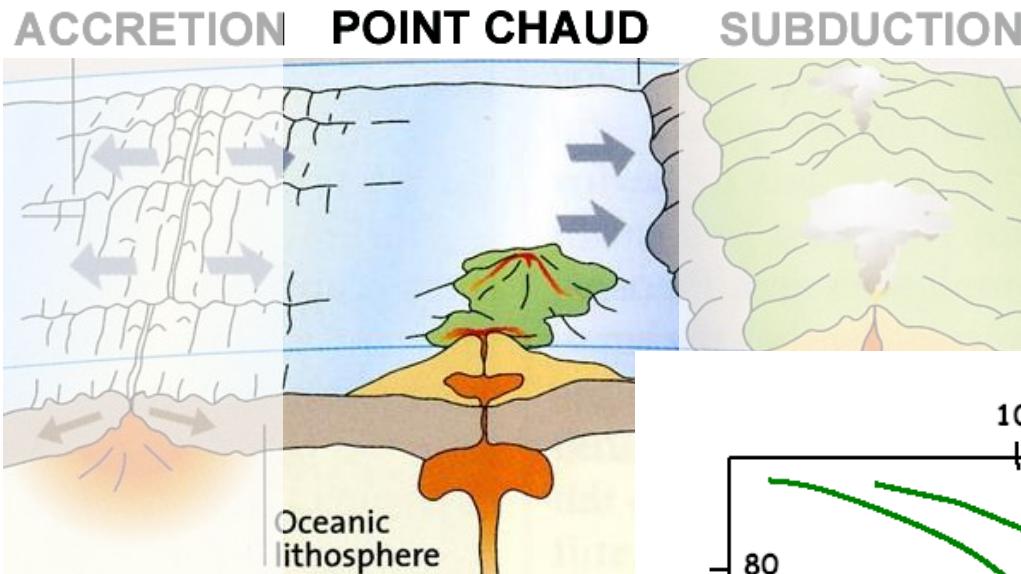


© 2010 Tasa Graphic Arts, Inc.

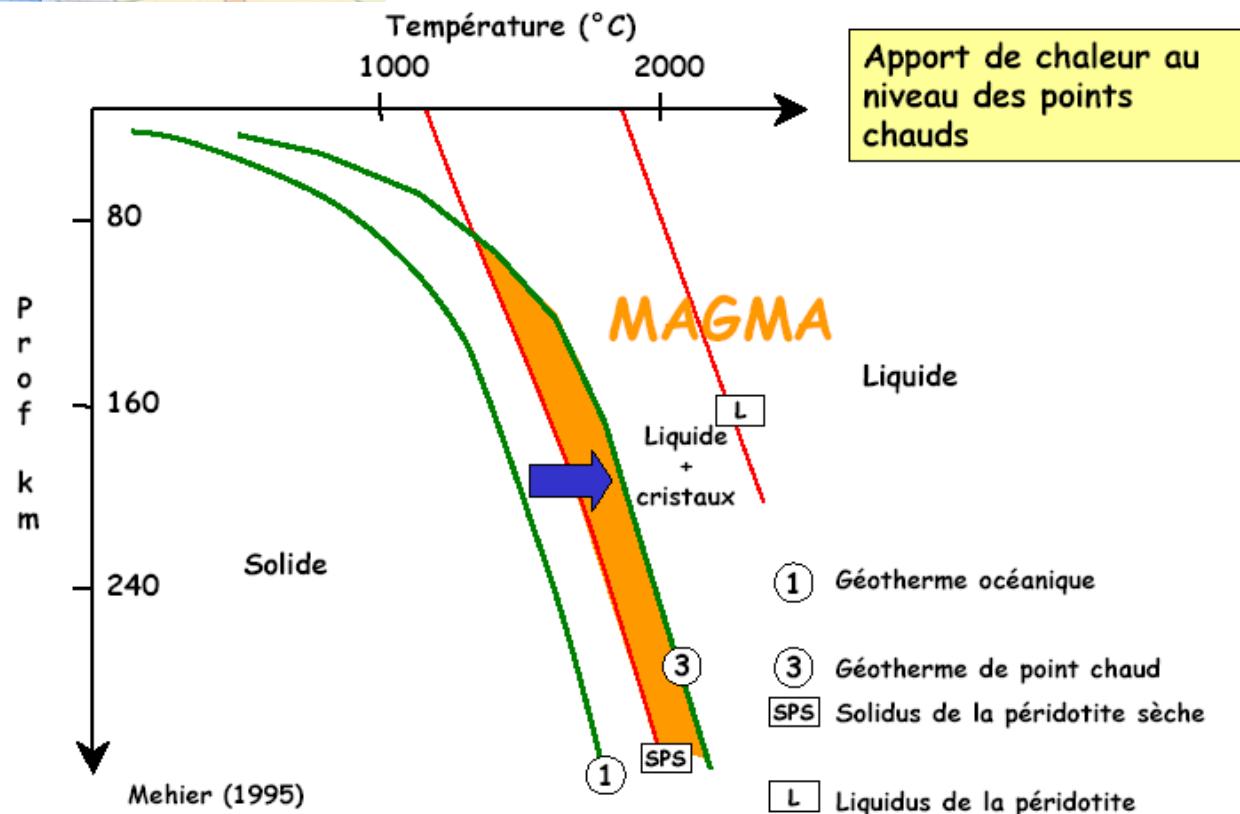
- Ensuite, formation d'une chaîne de volcans

-> Roches magmatiques

1) Roches magmatiques (plutoniques et volcaniques)

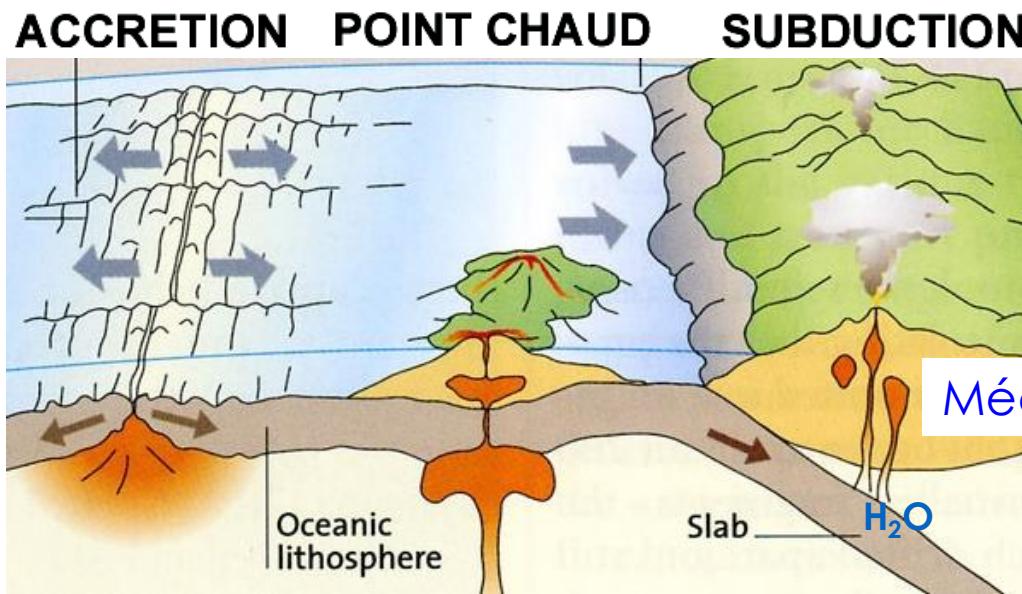


En contexte de points chauds



Fusion des roches du manteau par apport de chaleur

-> Roches magmatiques (rappel)



Mécanisme n°1

Mécanisme n°2

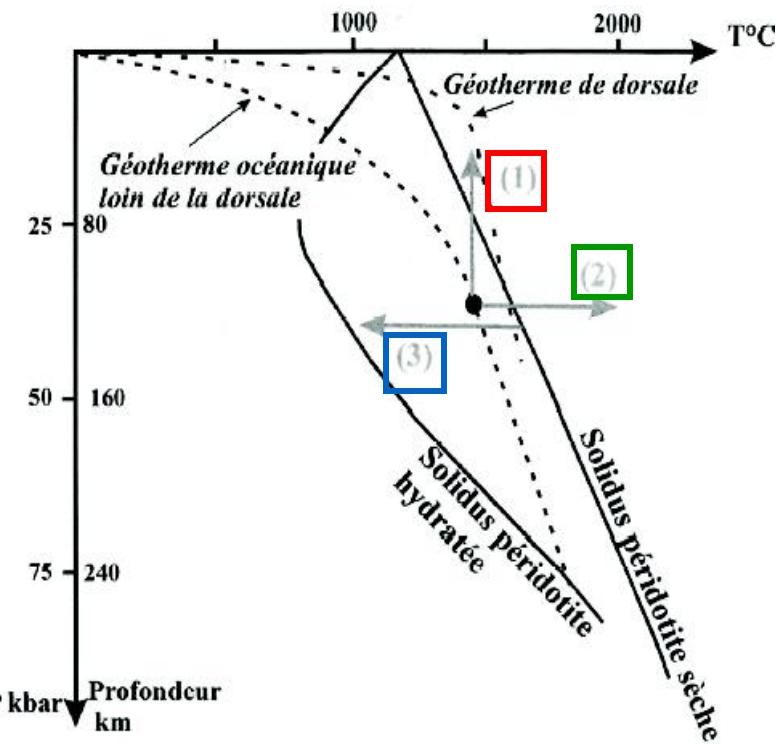
#1 **Décompression adiabatique** : sous les dorsales, les roches subissent une décompression à $T^\circ\text{C}$ cte → vers 75 km de prof. il y a fusion partielle

#2 **Anomalie thermique** : Au niveau des points chauds la $T^\circ\text{C}$ est anormalement élevée

#3 **Abaissement du point de fusion par hydratation** : Dans les zones de subduction, la péridotite hydratée fond à plus faible $T^\circ\text{C}$

Les différents mécanismes de fusion partielle des péridotites en fonction du contexte géodynamique

Mécanisme n°3



II. Cinématique des plaques

On peut mesurer ou reconstruire le mouvement des plaques par différentes approches:

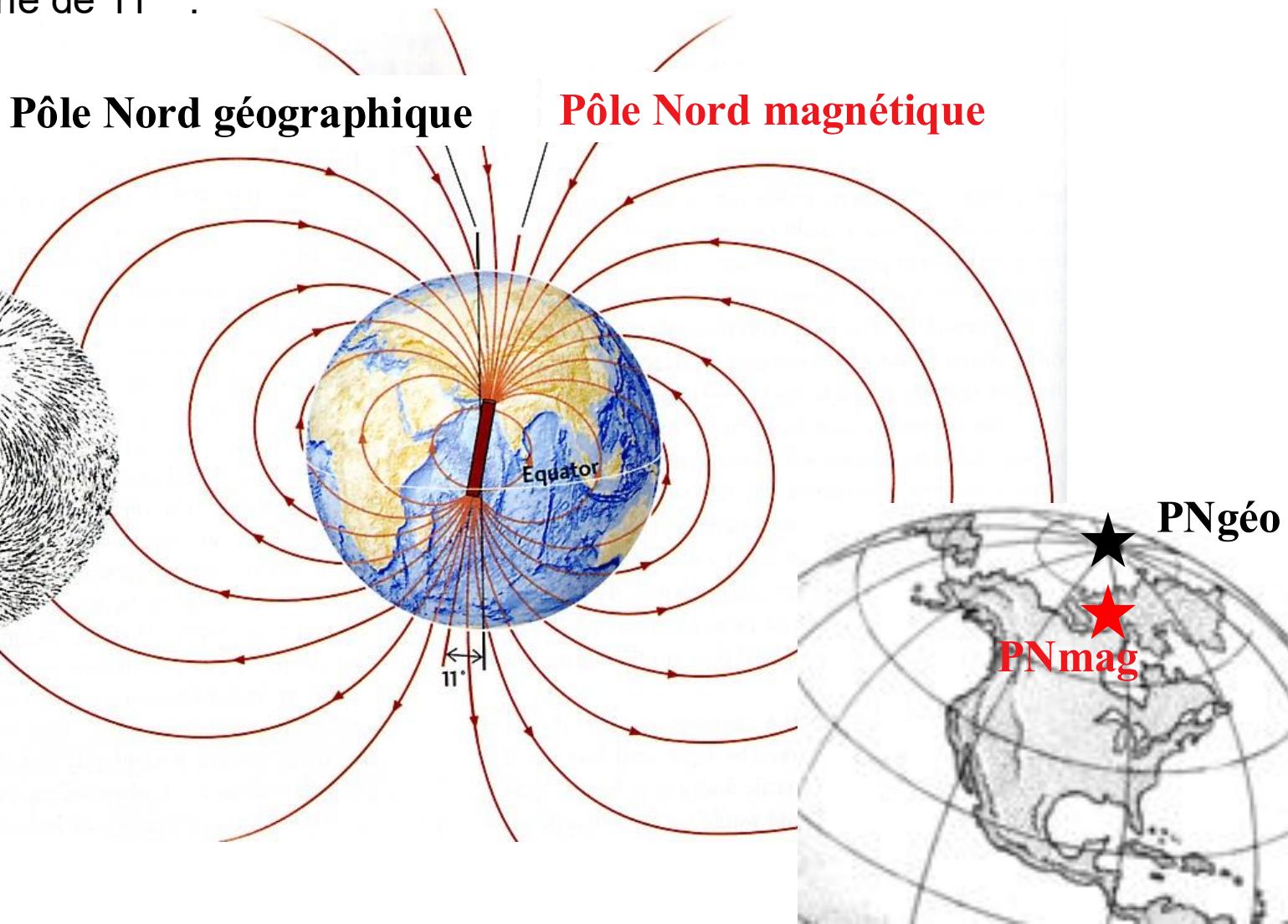
- 1) La mesure directe par GPS.
- 2) L'étude des points chauds (fixes par rapport à une lithosphère qui se déplace).
- 3) **Les mesures des anomalies magnétiques enregistrées par les basaltes de la croûte océanique.**

=> a permis à la théorie de Wegener d'être acceptée dans les années 1960

II. 3) Les anomalies magnétiques

Le champ géomagnétique

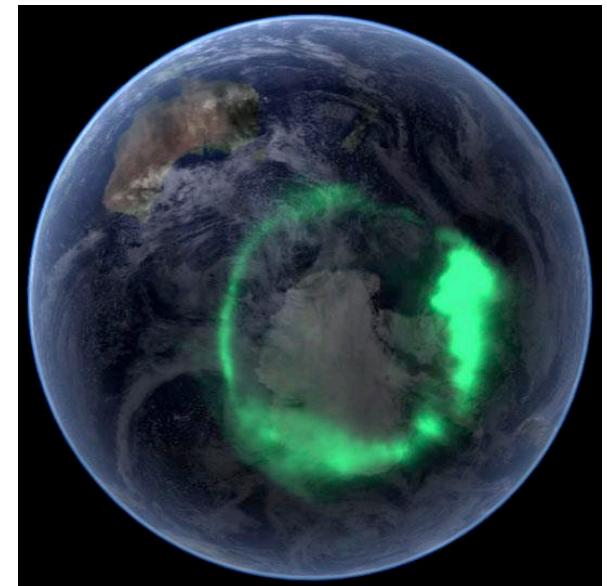
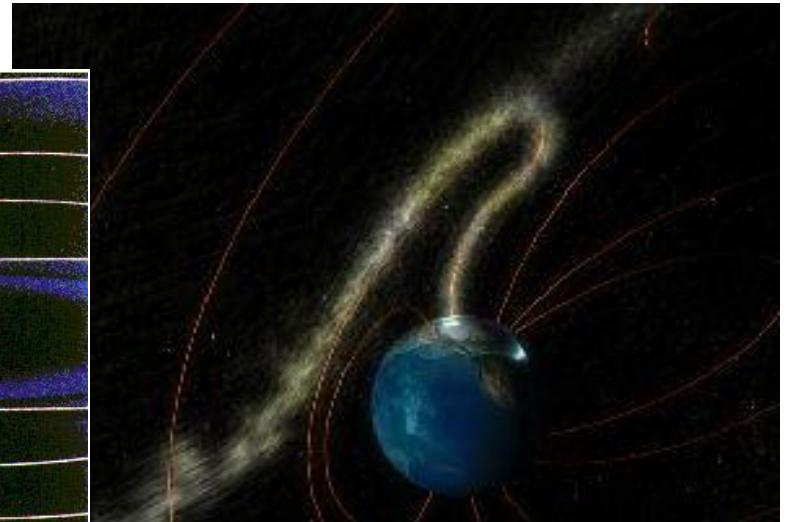
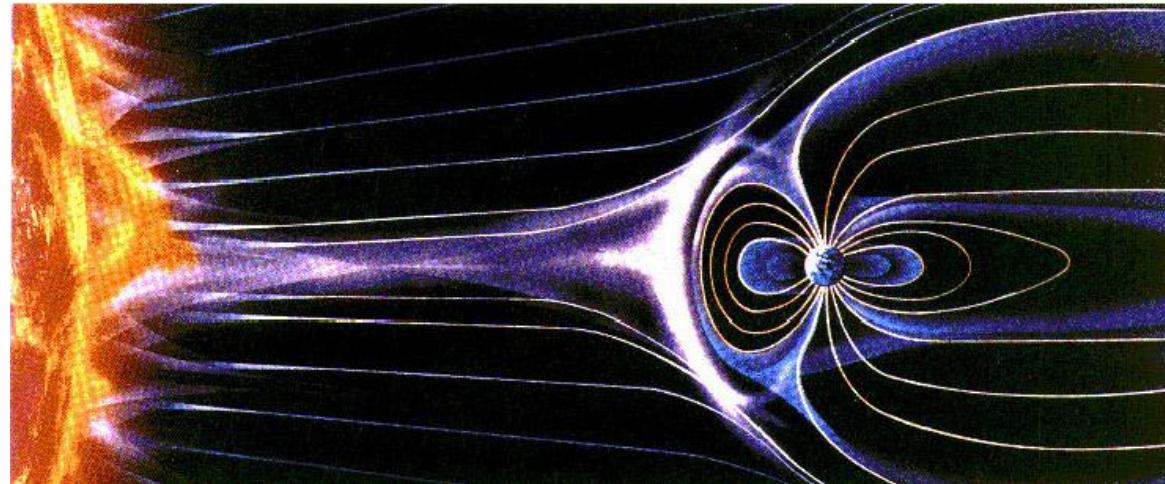
Aujourd’hui, il a la structure d’un dipôle magnétique placé au centre de la Terre et incliné de 11° .



II. 3) Les anomalies magnétiques

Le champ géomagnétique

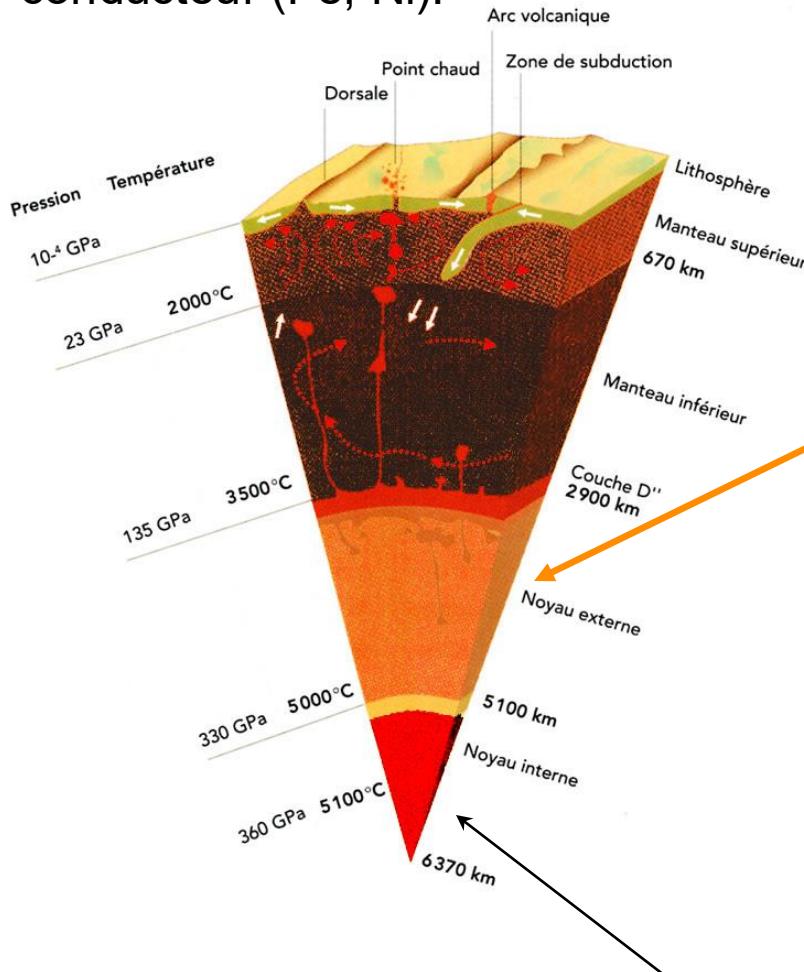
Sa structure dipolaire favorise la présence des aurores boréales et australes à haute latitude lors des fortes activités du vent solaire.



II. 3) Les anomalies magnétiques

Le champ géomagnétique

Il est principalement produit dans le noyau externe, par la convection du fluide conducteur (Fe, Ni).



Noyau externe (liquide)

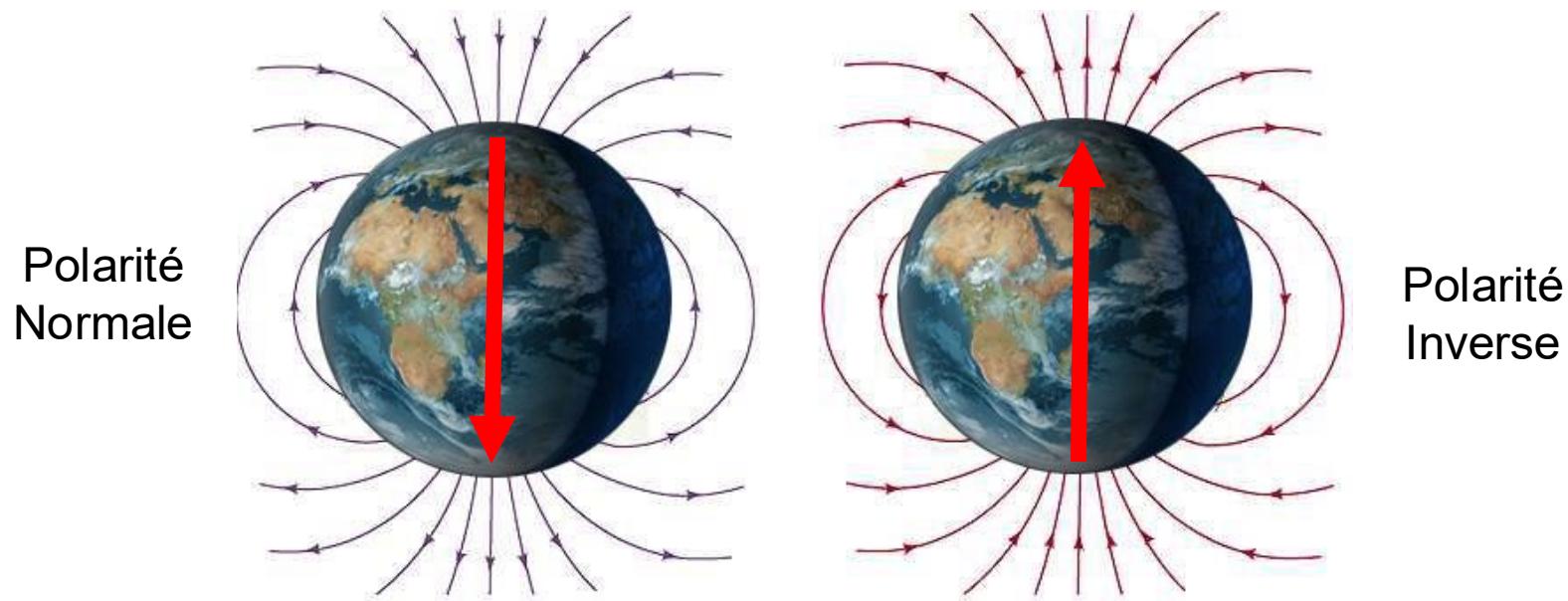


Noyau interne (solide)

II. 3) Les anomalies magnétiques

Le champ géomagnétique

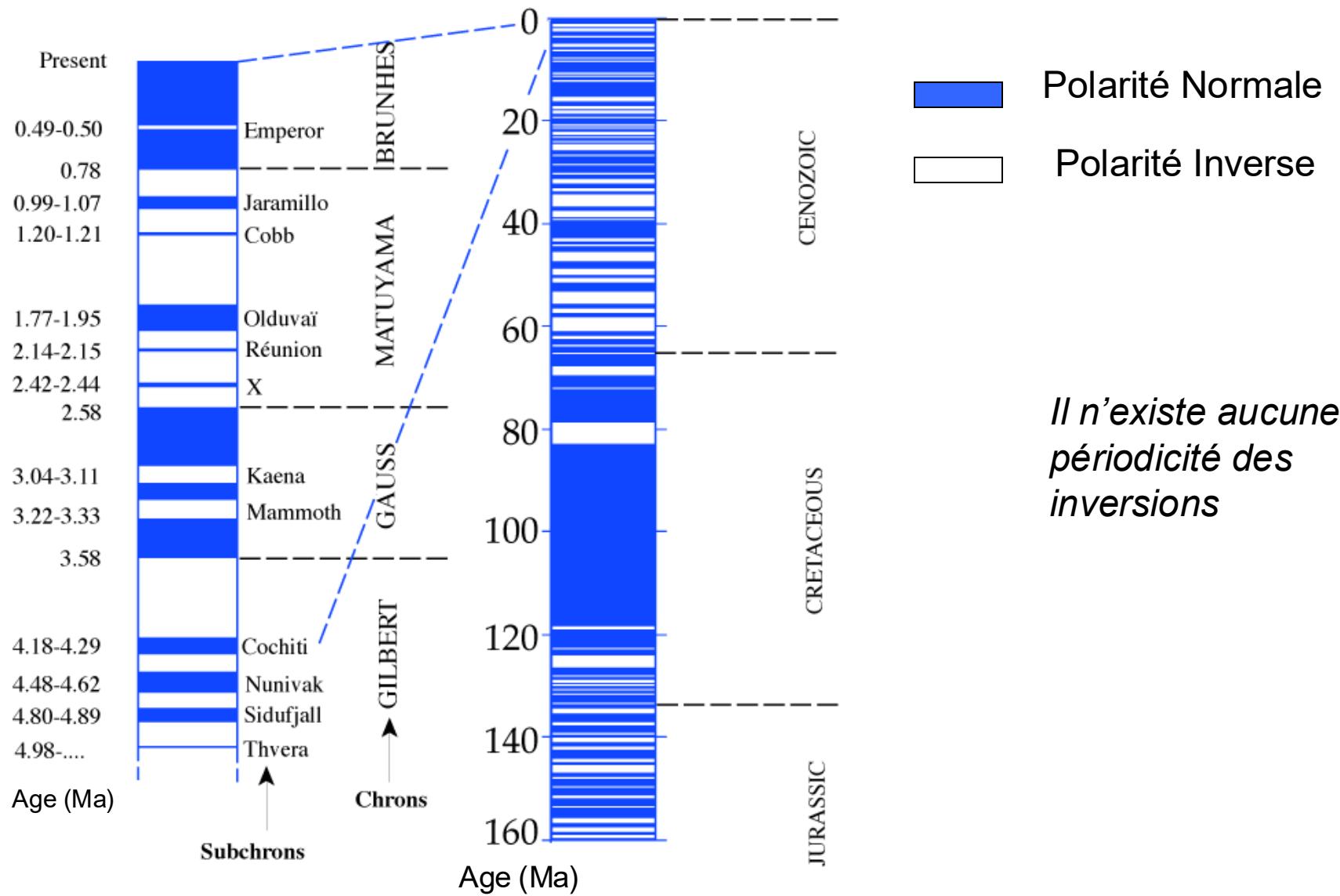
- Moyenné sur des milliers d'années, le champ magnétique terrestre est équivalent à celui créé par un dipôle axial centré.
-> *Les pôles magnétique et géographique sont confondus.*
- Il subit parfois des inversions complètes de sa polarité.



*Dernière inversion du champ : 780 000 ans
Il n'existe pas de périodicité des inversions*

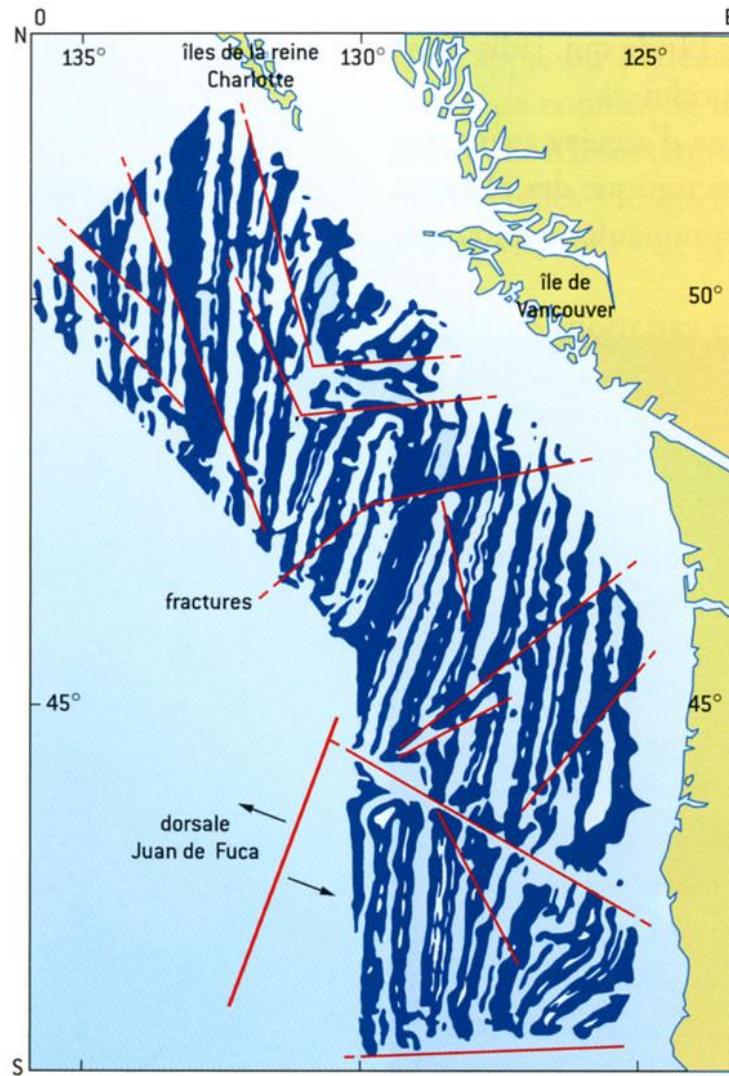
II. 3) Les anomalies magnétiques

Echelle des inversions paléomagnétiques depuis 160 Ma.

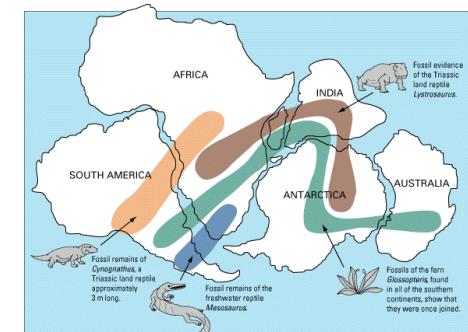


II. 3) Les anomalies magnétiques

Enregistrées dans la croûte océanique, Vine & Matthews (1963) observent des successions d'anomalies magnétiques dites en « Peau de zèbre »



-> C'est cette observation qui permettra à la théorie de Wegener de s'imposer !

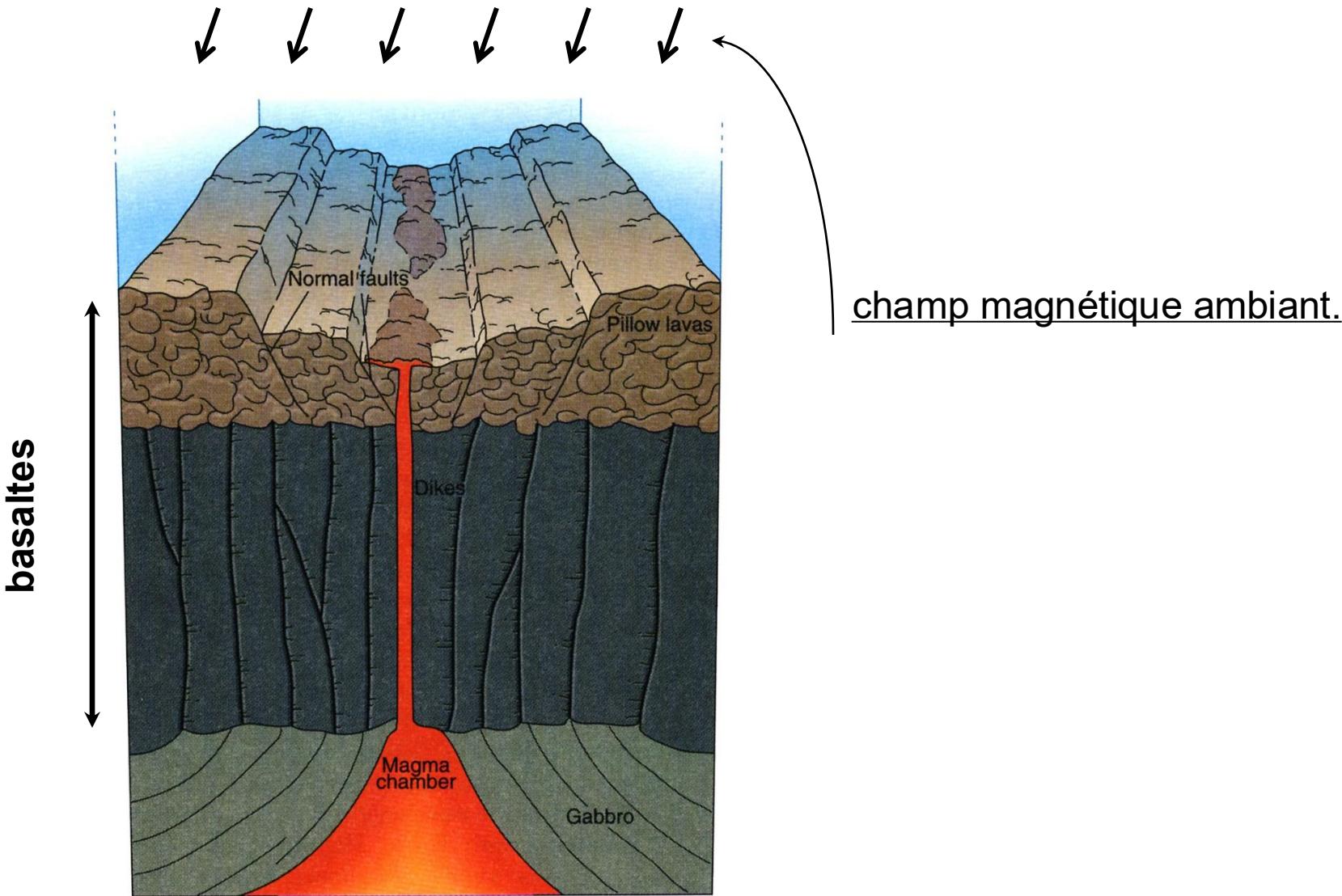


Alfred Wegener (1912)

(voir 3^e cours)

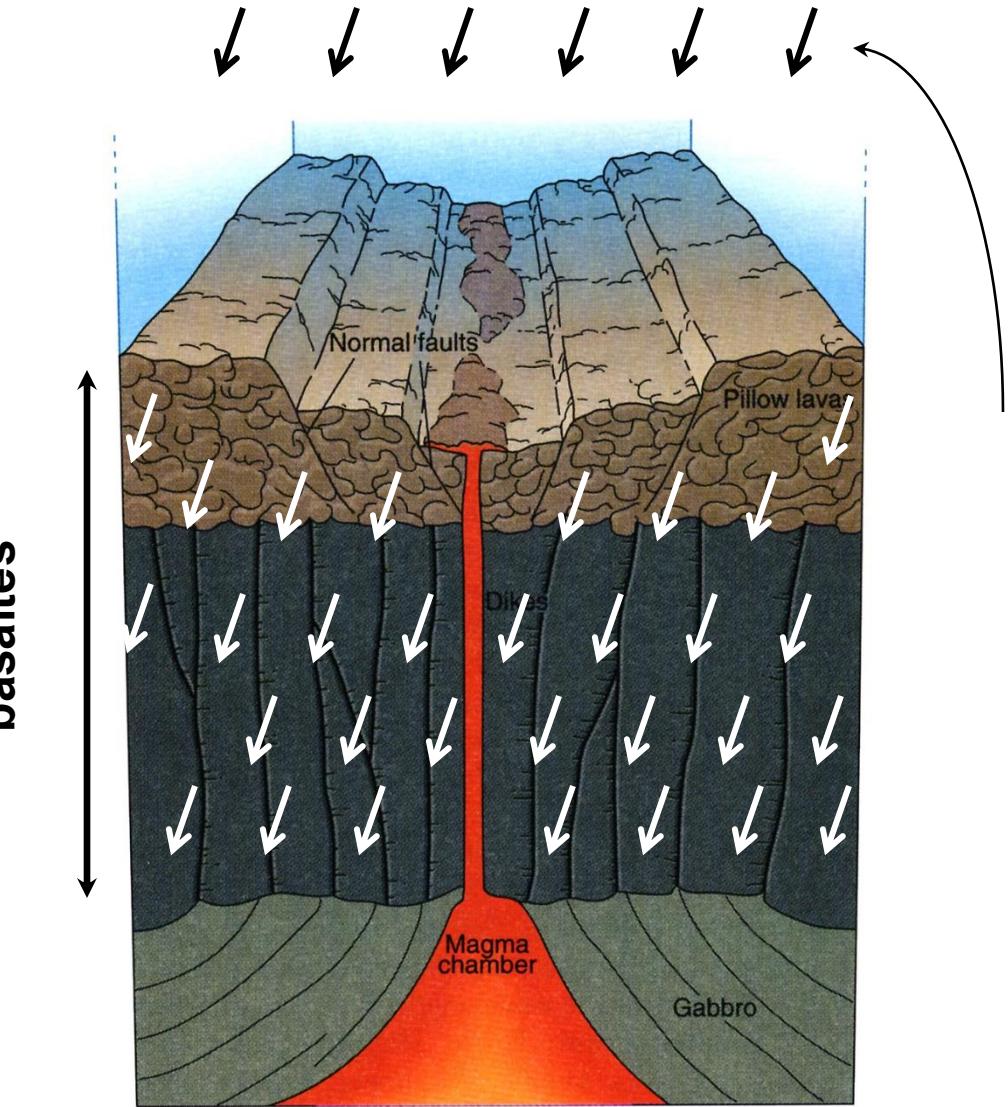
II. 3) Les anomalies magnétiques

Origine des anomalies magnétiques : en se refroidissant au niveau des dorsales, les basaltes figent le champ magnétique ambiant de l'époque.



II. 3) Les anomalies magnétiques

Origine des anomalies magnétiques : en se refroidissant au niveau des dorsales, les basaltes figent le champ magnétique ambiant de l'époque.



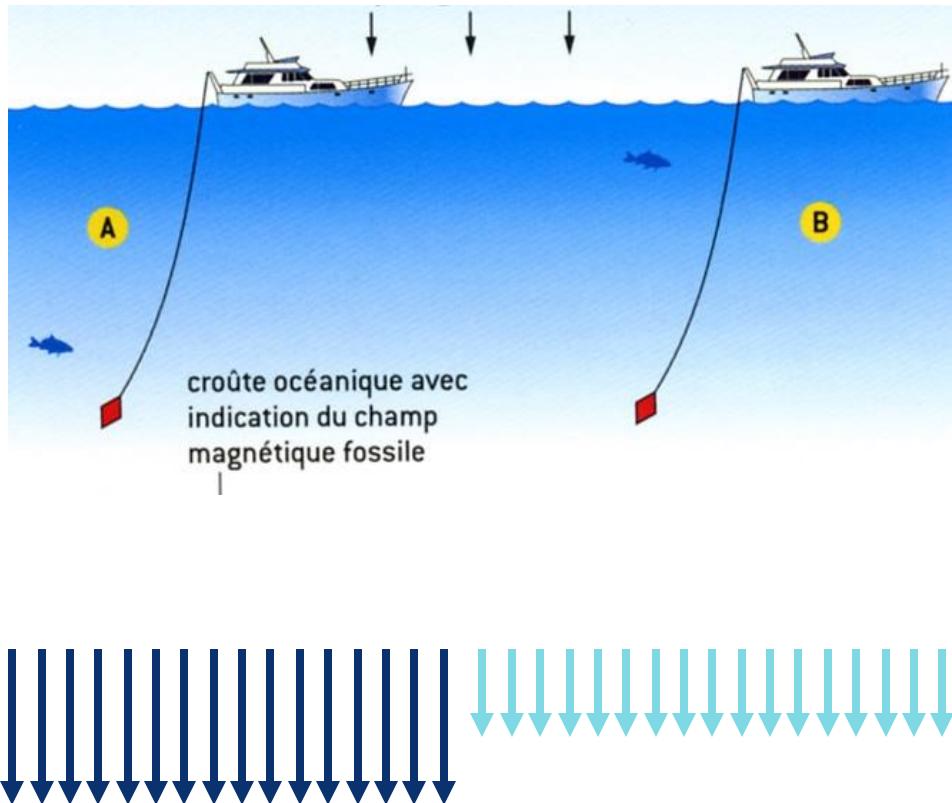
Ils acquièrent une aimantation



orientée dans la direction du
champ magnétique ambiant.

Cette aimantation est conservée dans le temps (> 100 Ma).

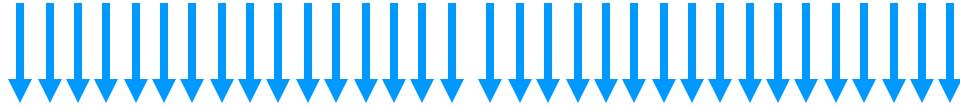
Les anomalies magnétiques océaniques



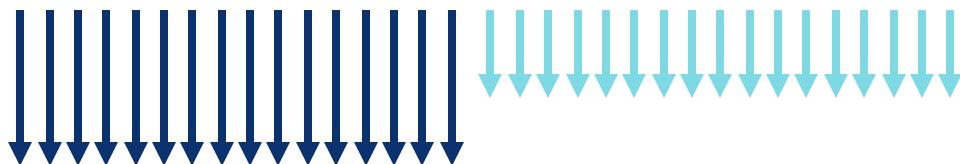
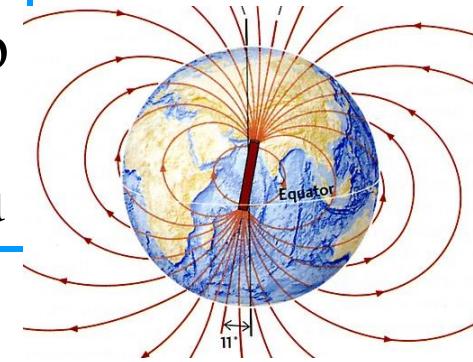
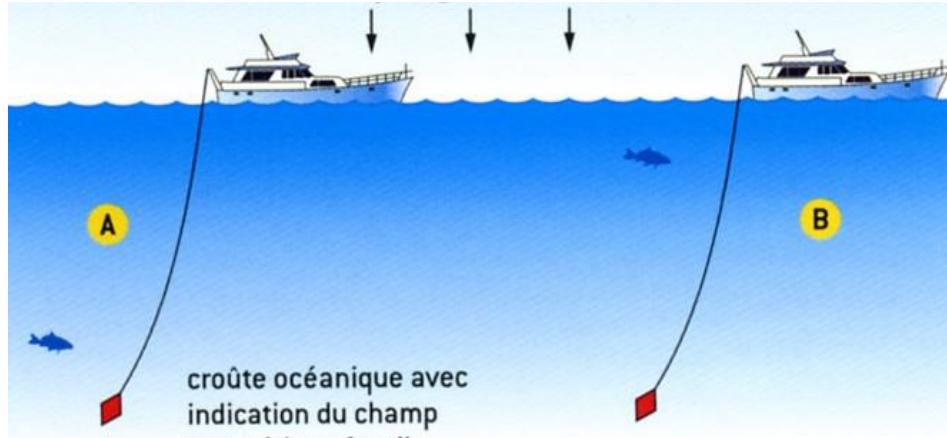
On « balade » un magnétomètre au fond de l'océan et on mesure l'intensité du champ magnétique terrestre

<= Champ mesuré différent des valeurs attendues !

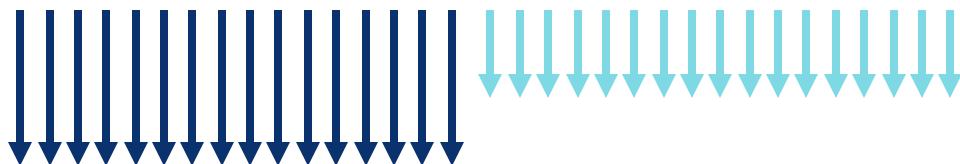
Les anomalies magnétiques océaniques



Valeur du champ magnétique ambiant attendu



Champ supérieur au champ ambiant :
Anomalie positive



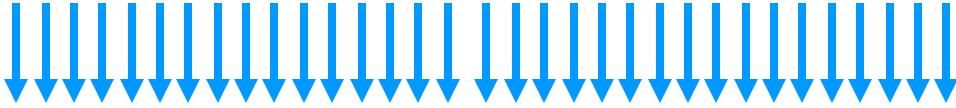
Champ inférieur au champ ambiant :
Anomalie négative

<= Champs mesurés différents

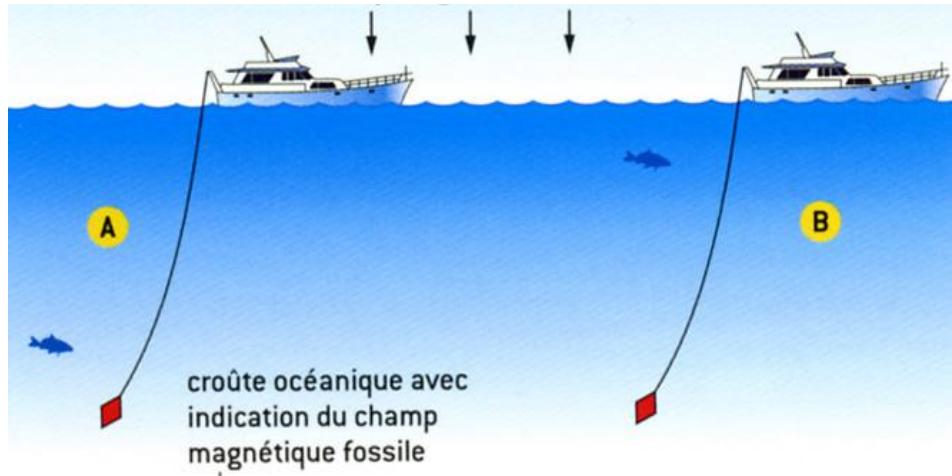
des valeurs attendues

ou

Les anomalies magnétiques océaniques



Valeur du champ magnétique ambiant attendu



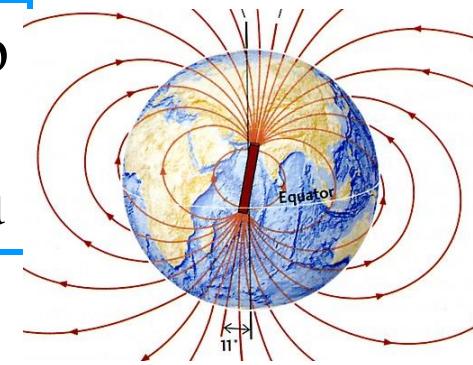
+

Champ magnétique fossile de la croûte océanique ↓ ou ↑
(les laves des dorsales ont enregistré le champ magnétique qui existait lors de leur refroidissement)

= Champ mesuré

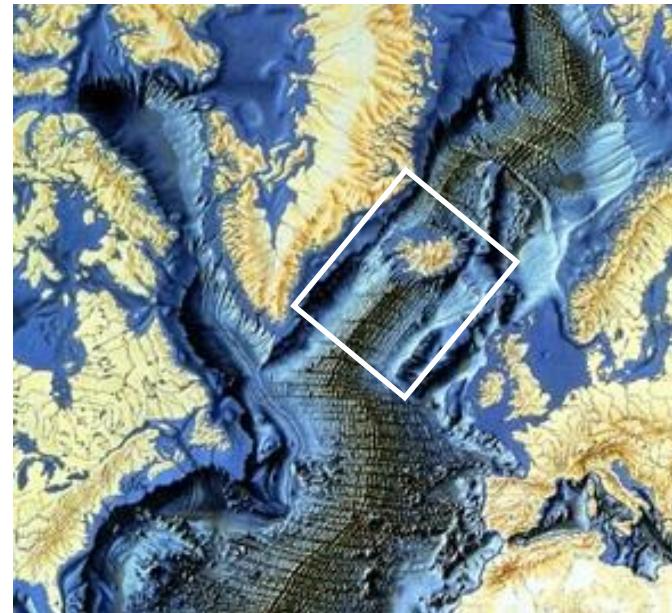
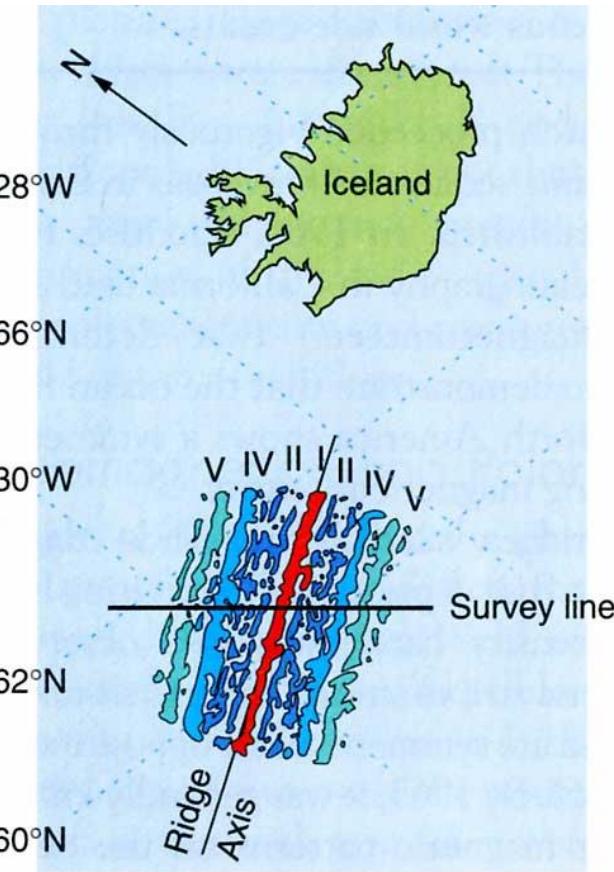
Champ supérieur au champ ambiant :
Anomalie positive

Champ inférieur au champ ambiant :
Anomalie négative

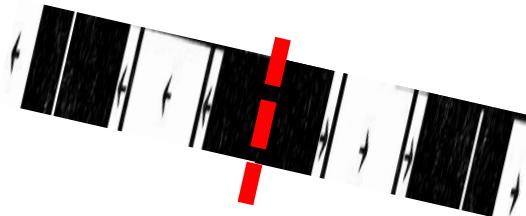


II. 3) Les anomalies magnétiques

Anomalies magnétiques mesurées au sud de l'Islande



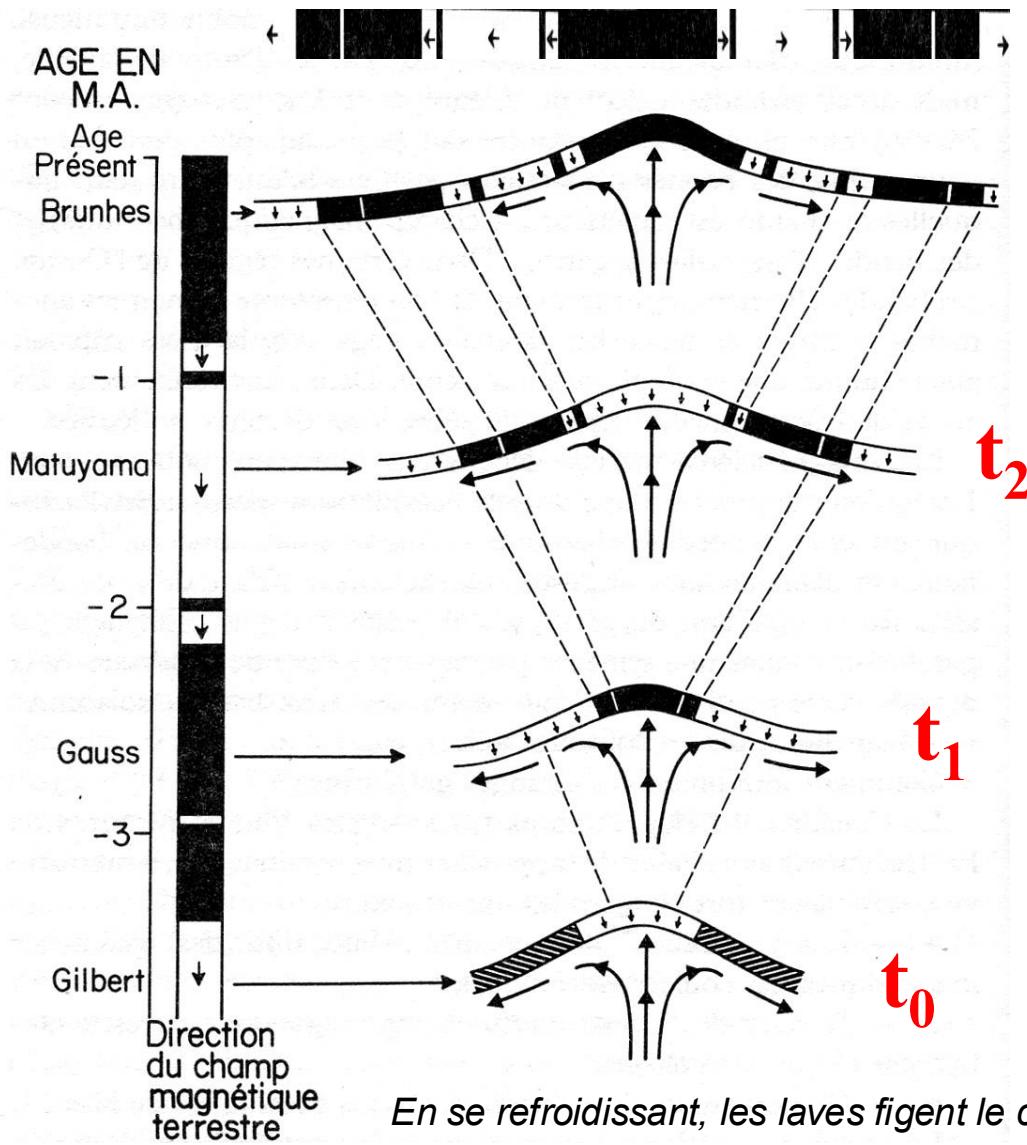
Les anomalies se répartissent symétriquement, de part et d'autre de l'axe de la dorsale.



=> La croûte océanique est produite au niveau de la dorsale et s'épanche de chaque côté symétriquement: **les plaques tectoniques ont des mouvements horizontaux**

II. 3) Les anomalies magnétiques

Mises en place des anomalies magnétiques depuis 4 Ma



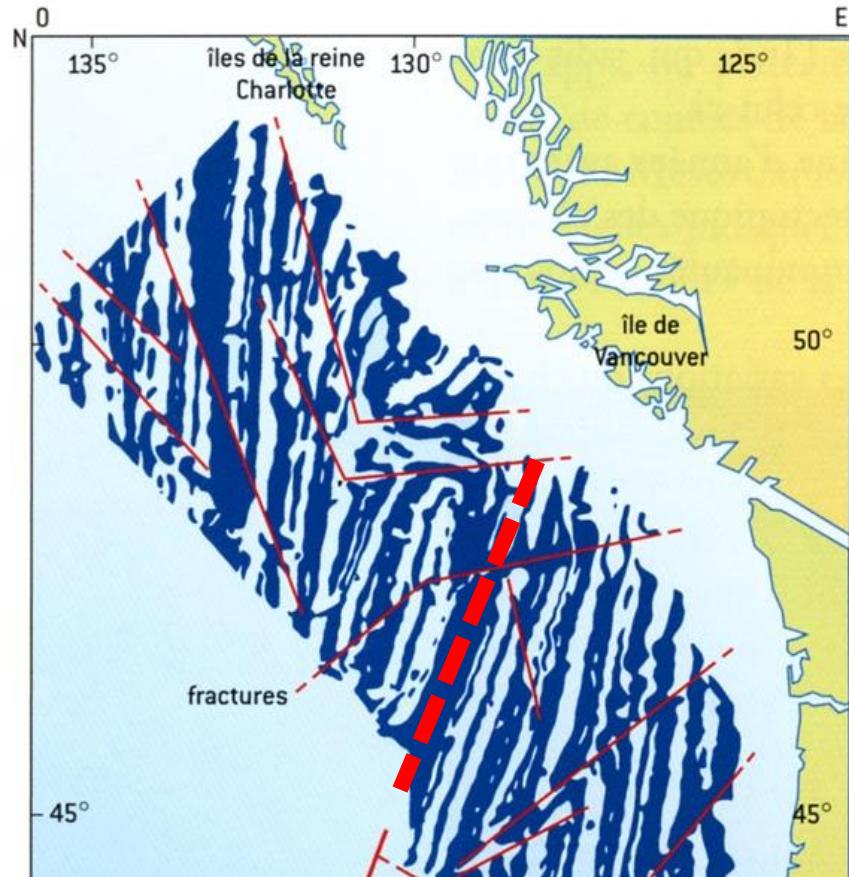
← en plan (vue de haut)

t_3 (actuel)

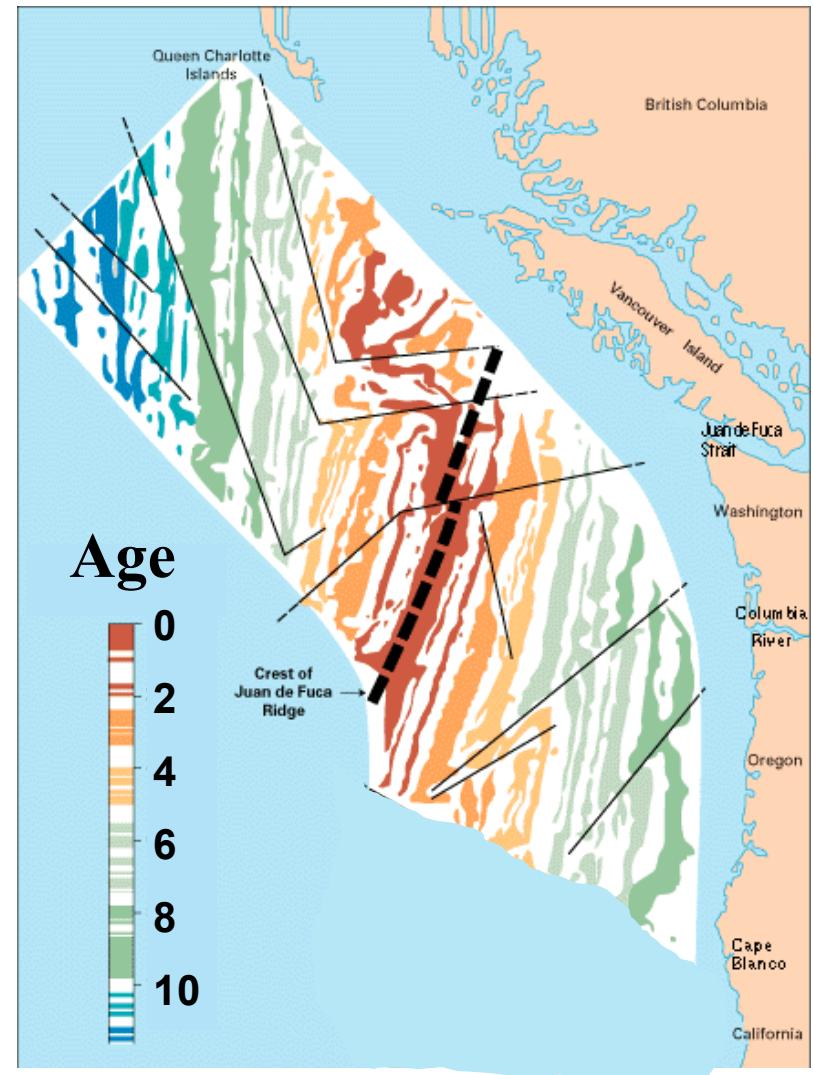
=> La croûte océanique est produite au niveau de la dorsale et s'épanche de chaque côté symétriquement:
les plaques tectoniques ont des mouvements horizontaux

II. 3) Les anomalies magnétiques

Anomalies magnétiques de Vine et Matthews



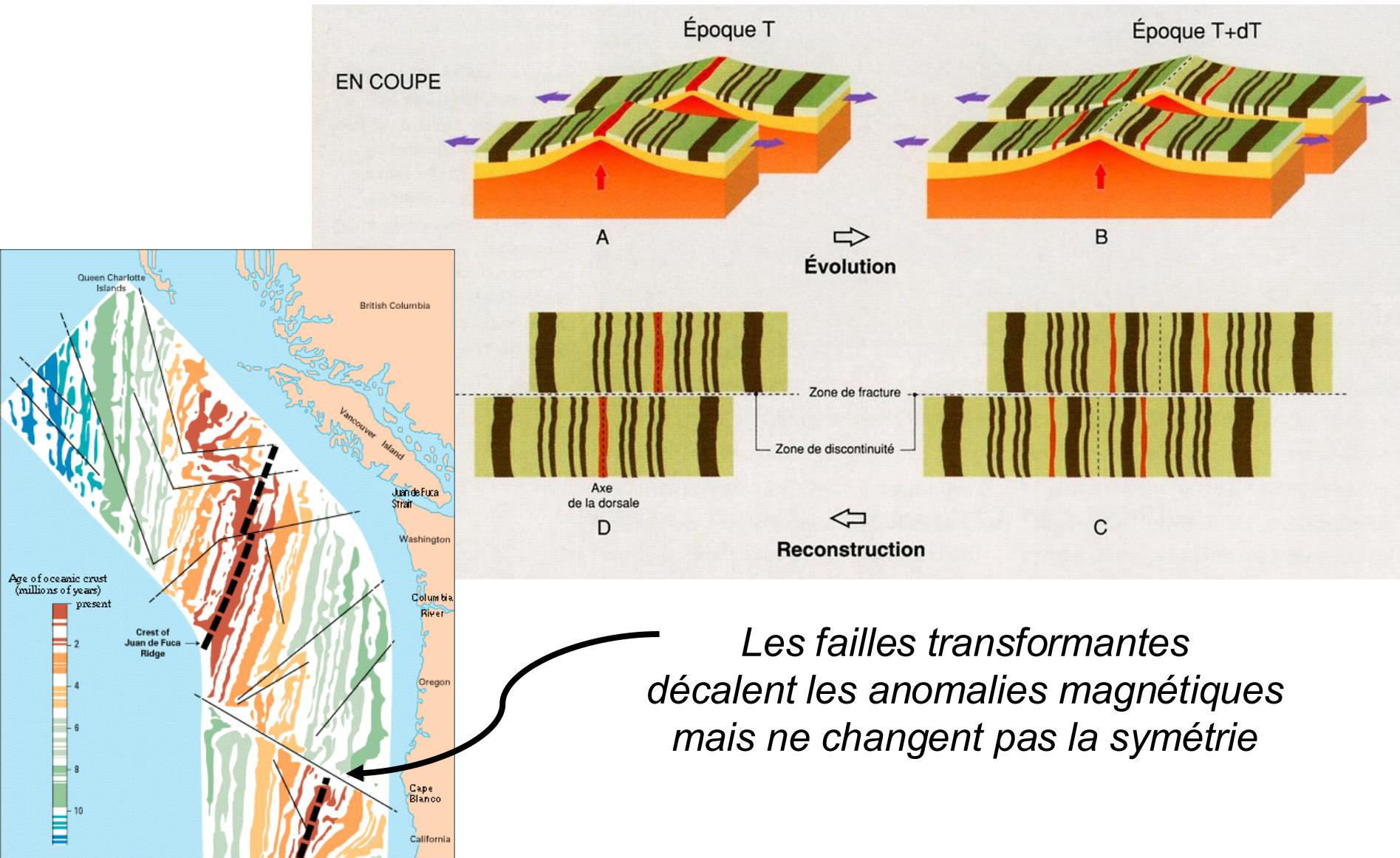
Mesures



Interprétation

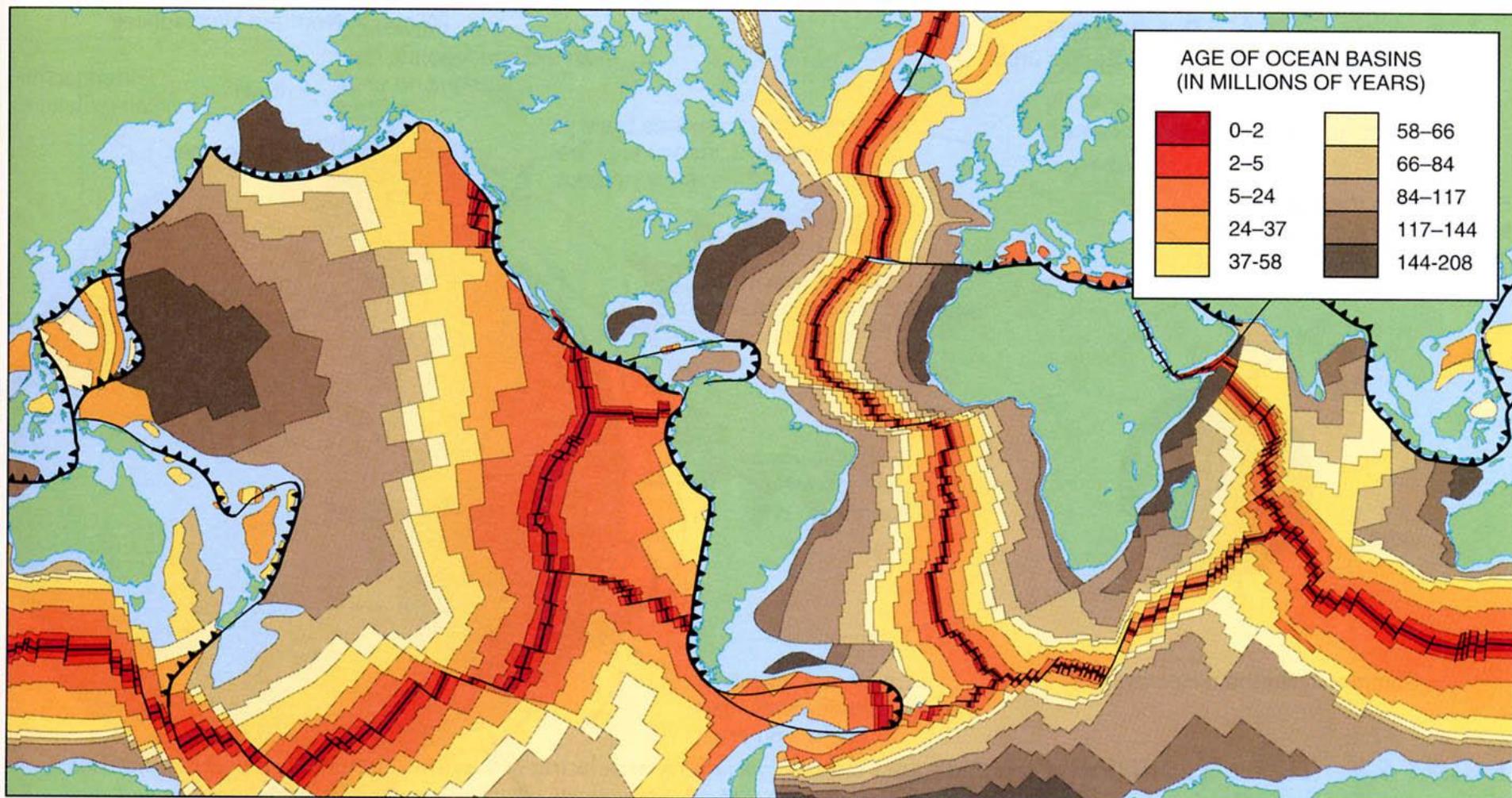
II. 3) Les anomalies magnétiques

Anomalies magnétiques et failles transformantes



II. 3) Les anomalies magnétiques

Grace aux anomalies magnétiques, on obtient l'âge de la croûte océanique

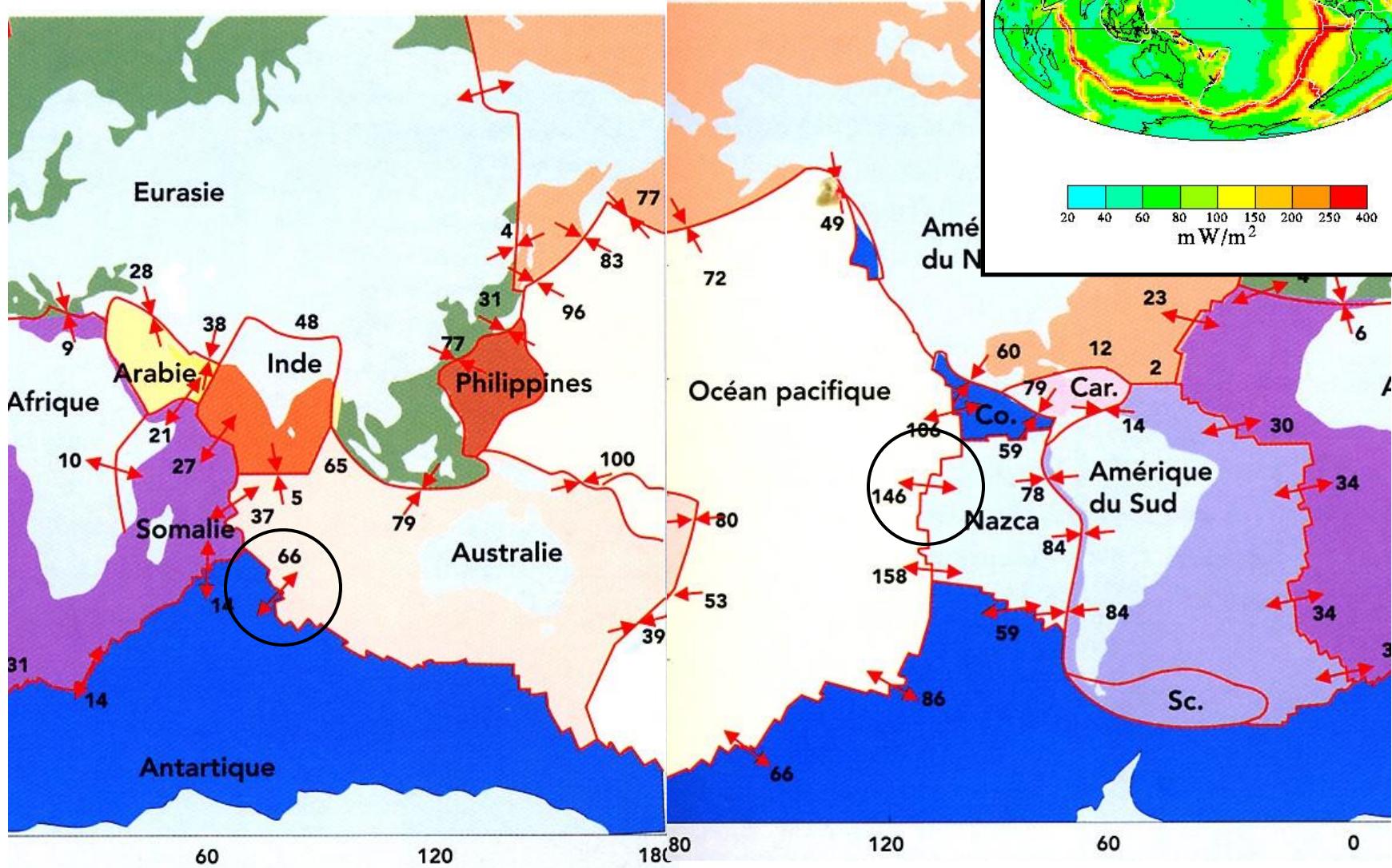


La plus vieille croûte océanique est âgée de 200 Ma

→ La lithosphère océanique est recyclée dans le manteau

II. La cinématique des plaques – Mouvements des continents

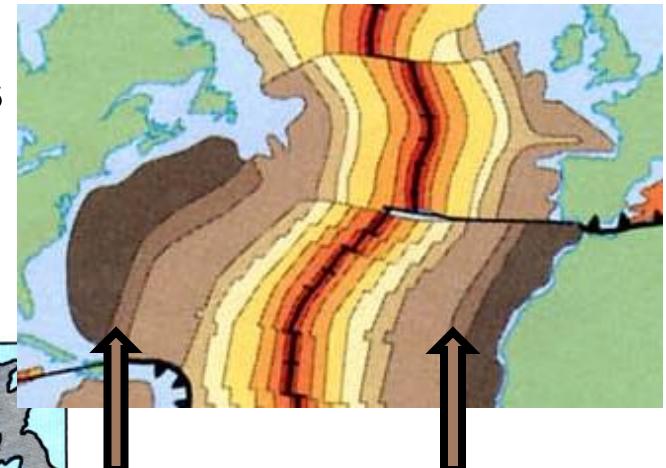
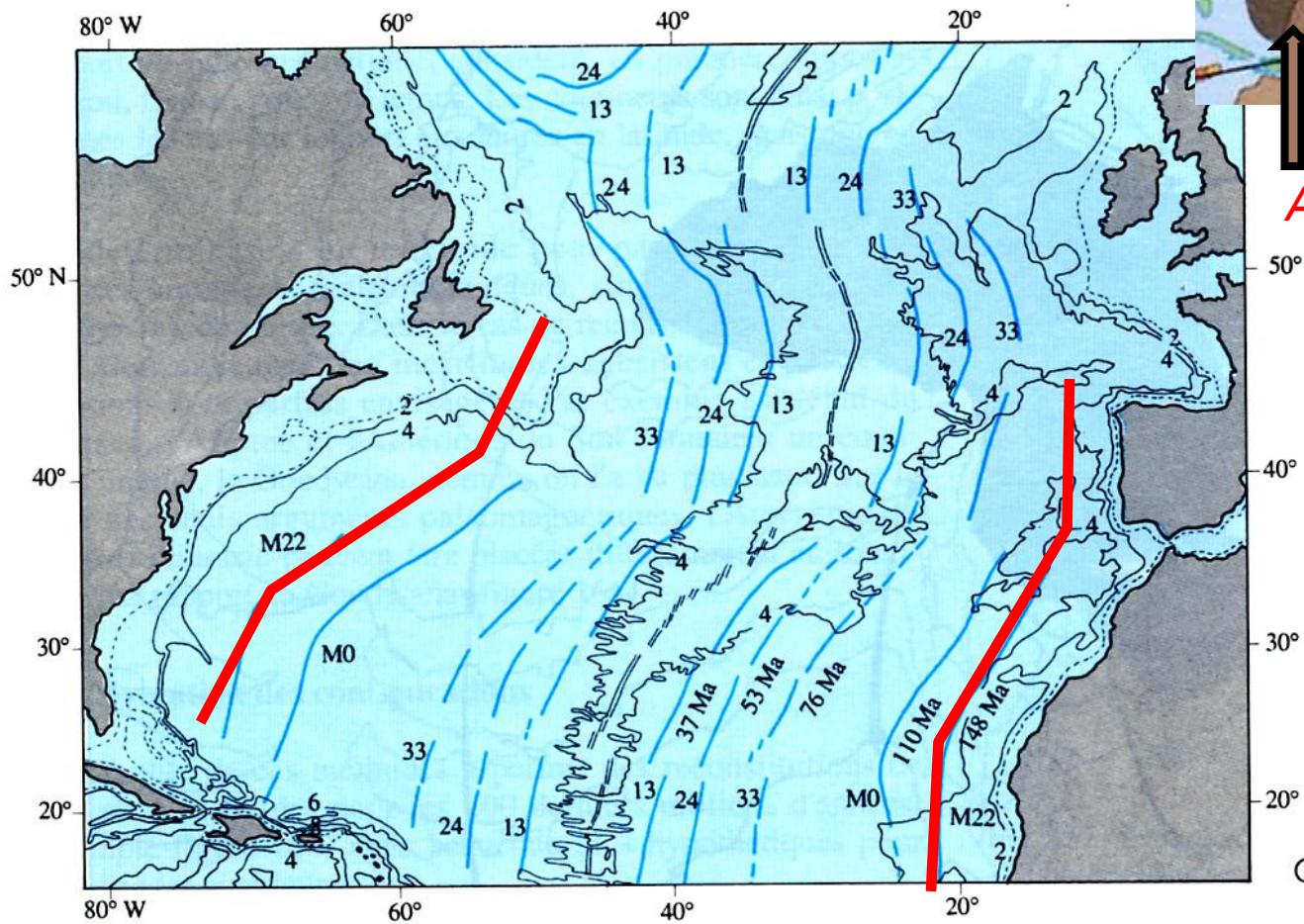
Et, on peut en déduire les vitesses des plaques (ici en mm/an) et les comparer au flux de chaleur.



II. La cinématique des plaques – Mouvements des continents

Les anomalies magnétiques permettent de reconstruire la position passée des continents

Exemple de l'Atlantique Nord



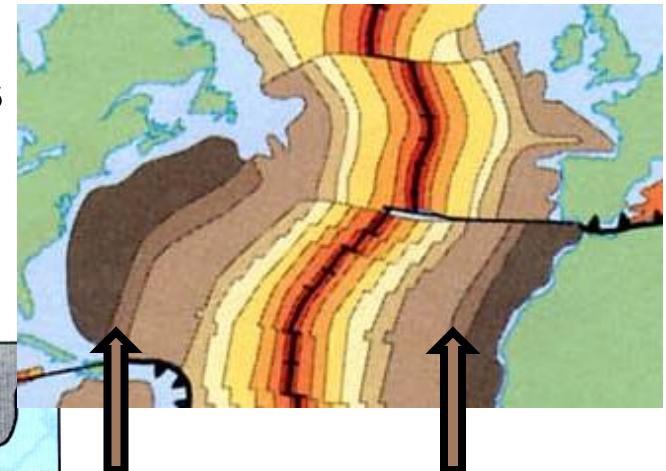
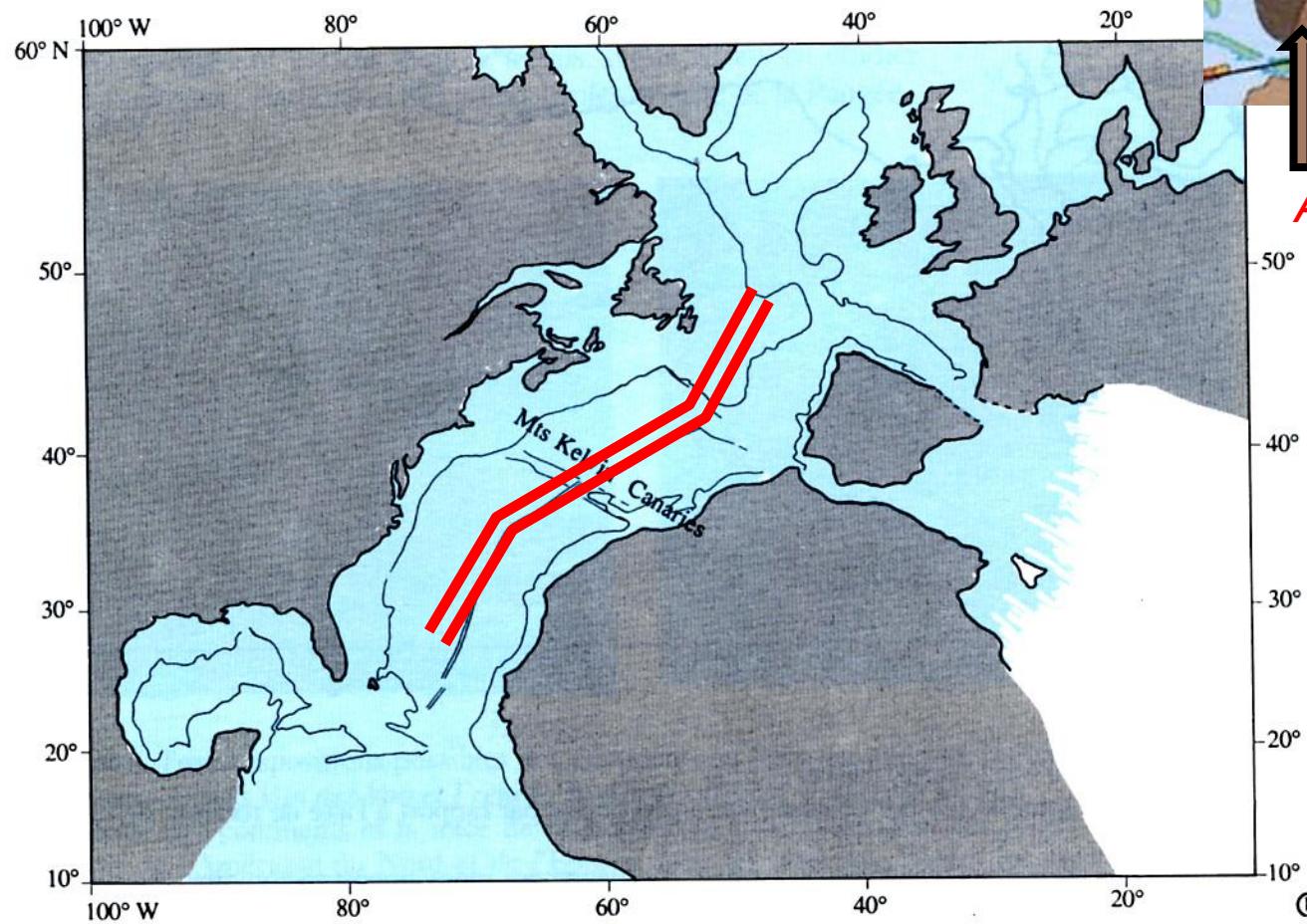
Anomalie M22 (148 Ma)

Position des continents aujourd'hui

II. La cinématique des plaques – Mouvements des continents

Les anomalies magnétiques permettent de reconstruire la position passée des continents

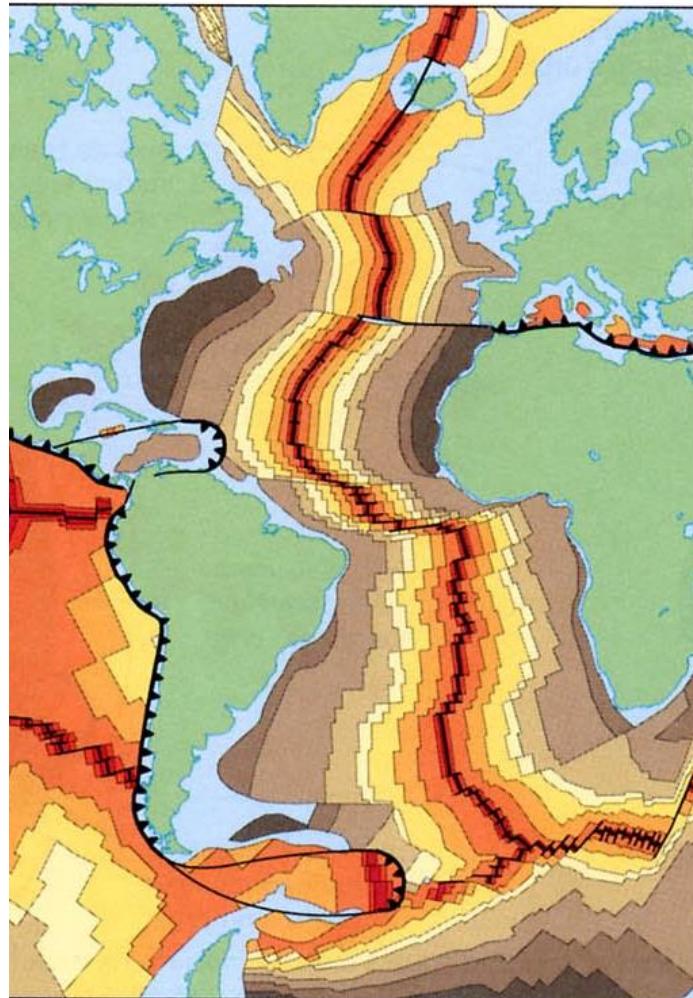
Exemple de l'Atlantique Nord



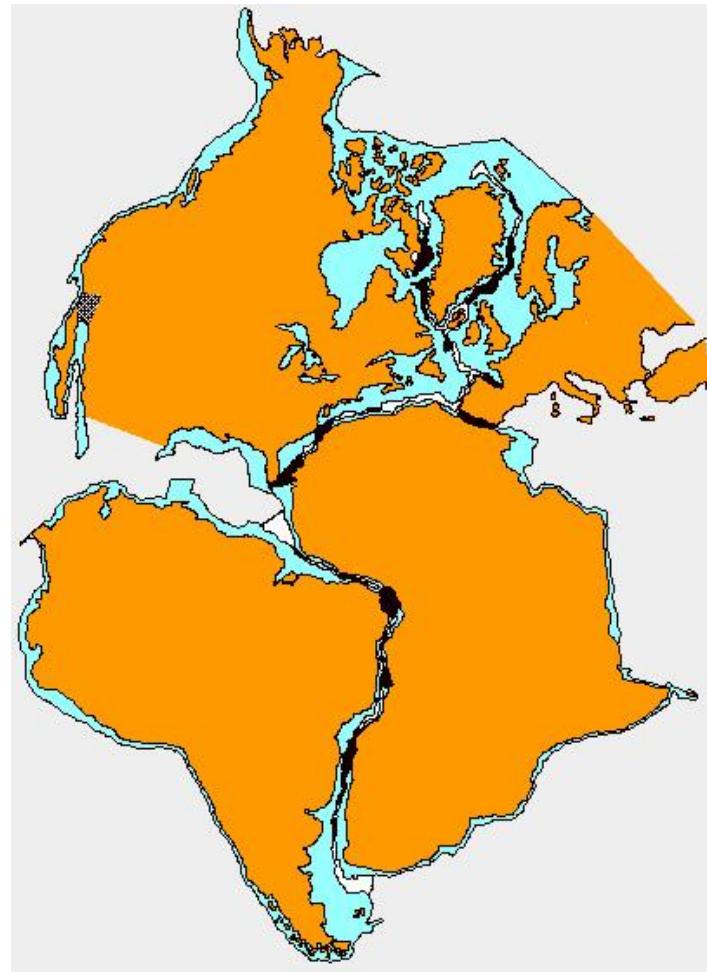
Position des continents il y a 148 Ma

II. La cinématique des plaques – Mouvements des continents

Les anomalies magnétiques permettent de reconstruire la position passée des continents: **fermeture de l'Océan Atlantique.**



Présent



Il y a 200 Ma

II. La cinématique des plaques – Mouvements des continents

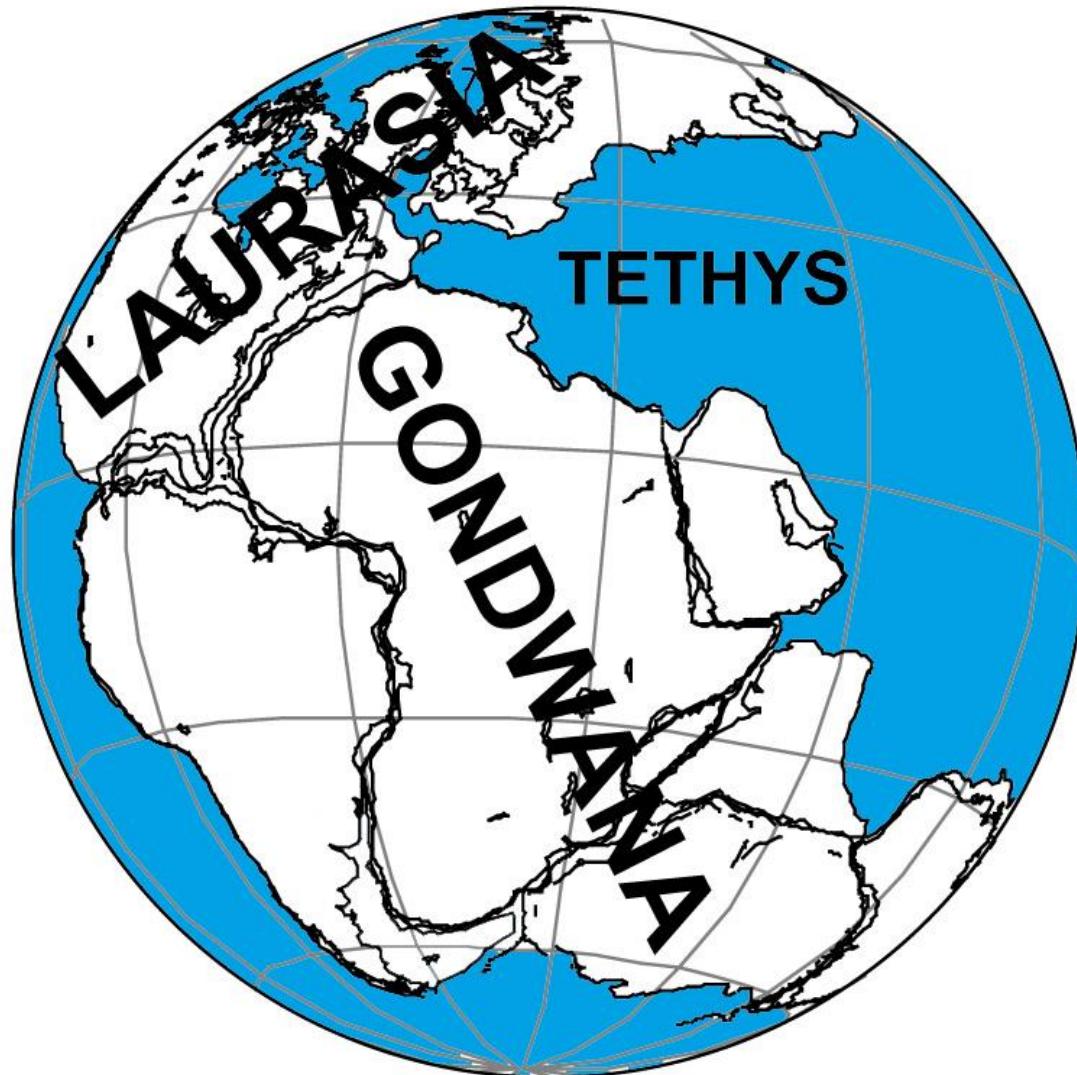
Les anomalies magnétiques permettent de reconstruire la position passée des continents: **il y 250 Ma**, tous les continents étaient regroupés pour former **la Pangée**.

Pangée:

Laurasie (Nord)

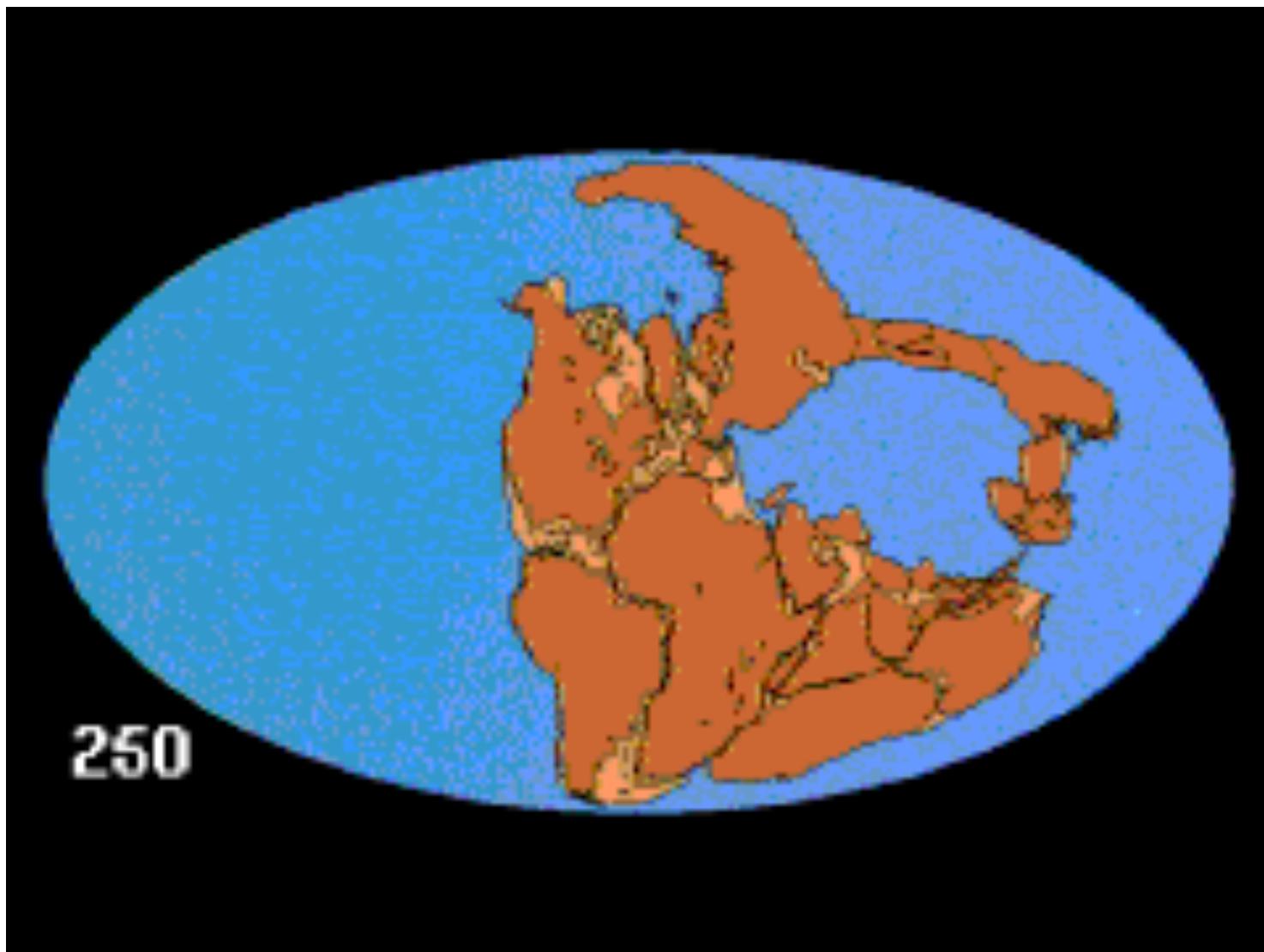
+

Gondwana (Sud)



II. La cinématique des plaques – Mouvements des continents

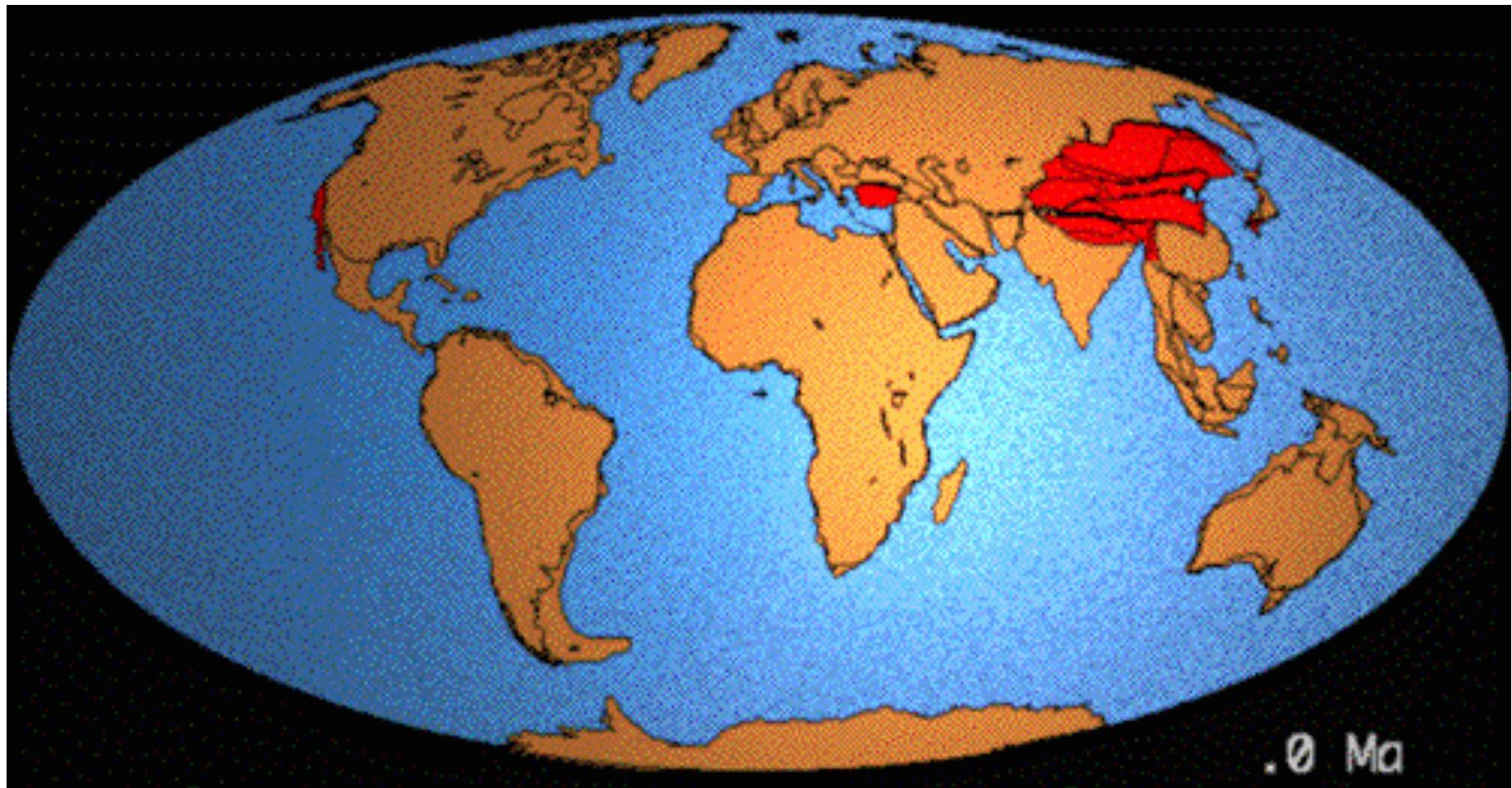
Les anomalies magnétiques permettent de reconstruire la position passée des continents depuis 250 Ma: démantèlement de **la Pangée**.



II. La cinématique des plaques – Mouvements des continents

Les mouvements actuels permettent également de « prédire » le futur.

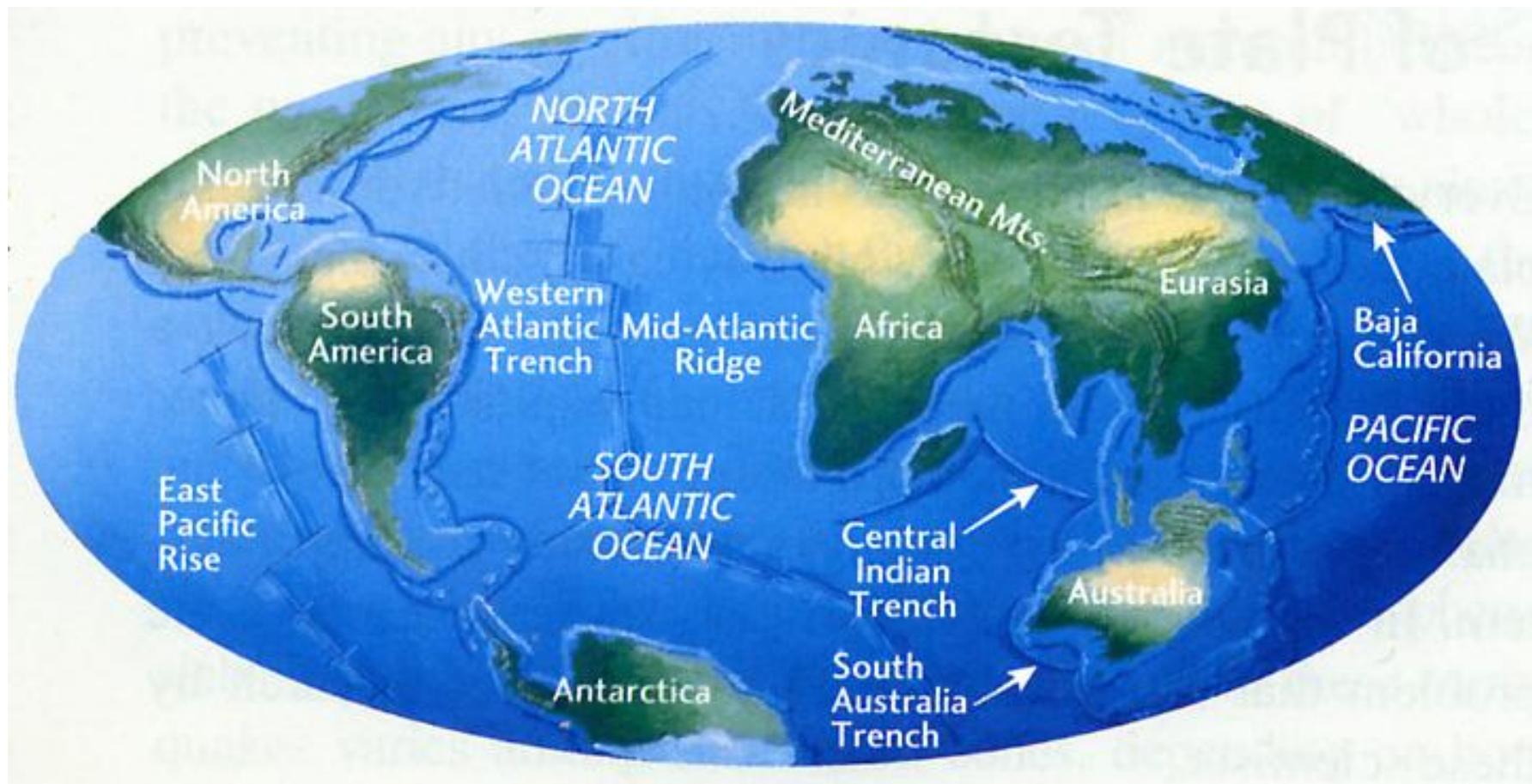
Futur 0 > 30 Ma...



II. La cinématique des plaques – Mouvements des continents

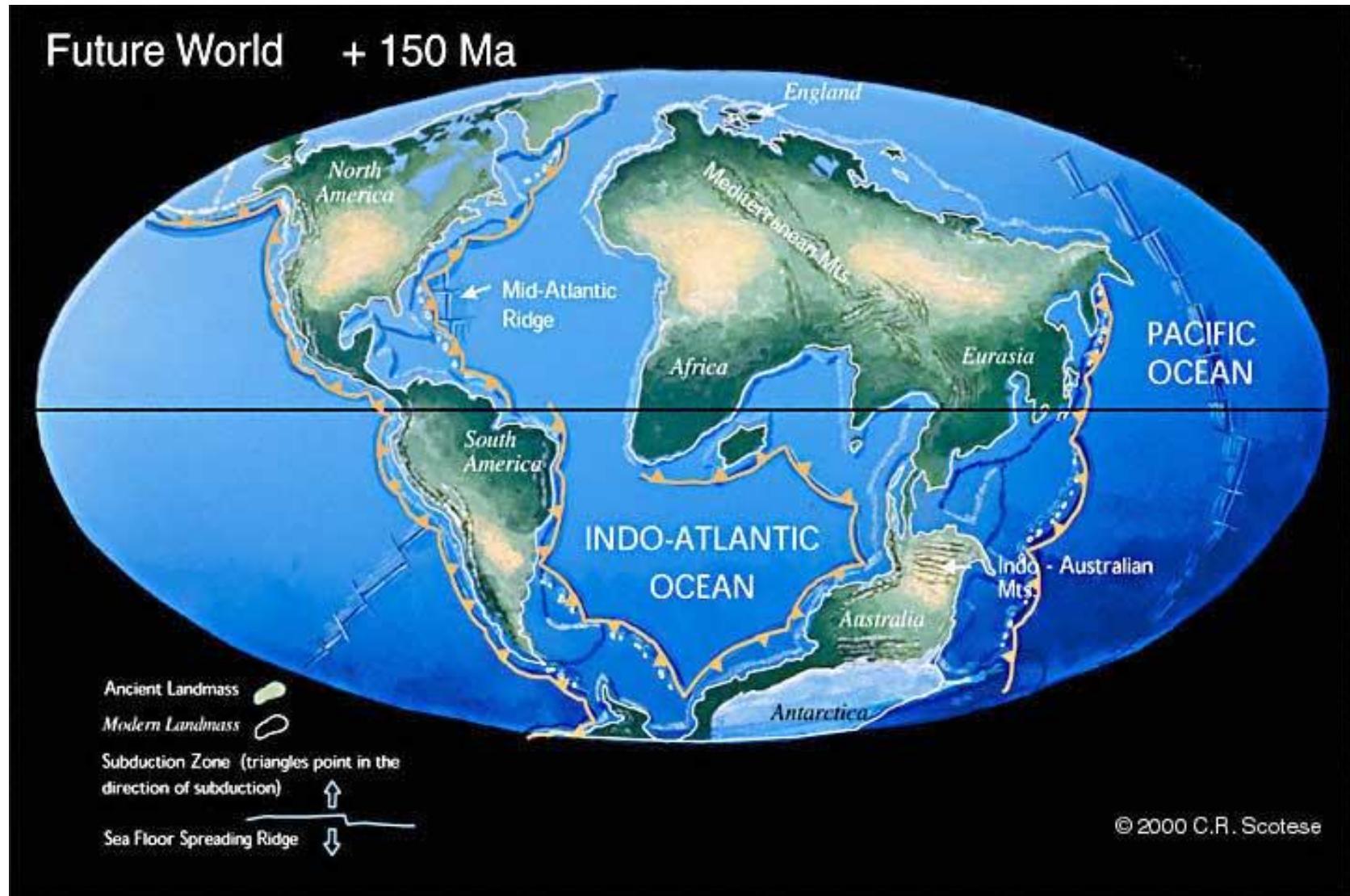
Les mouvements actuels permettent également de « prédir » le futur.

50 Ma dans le futur



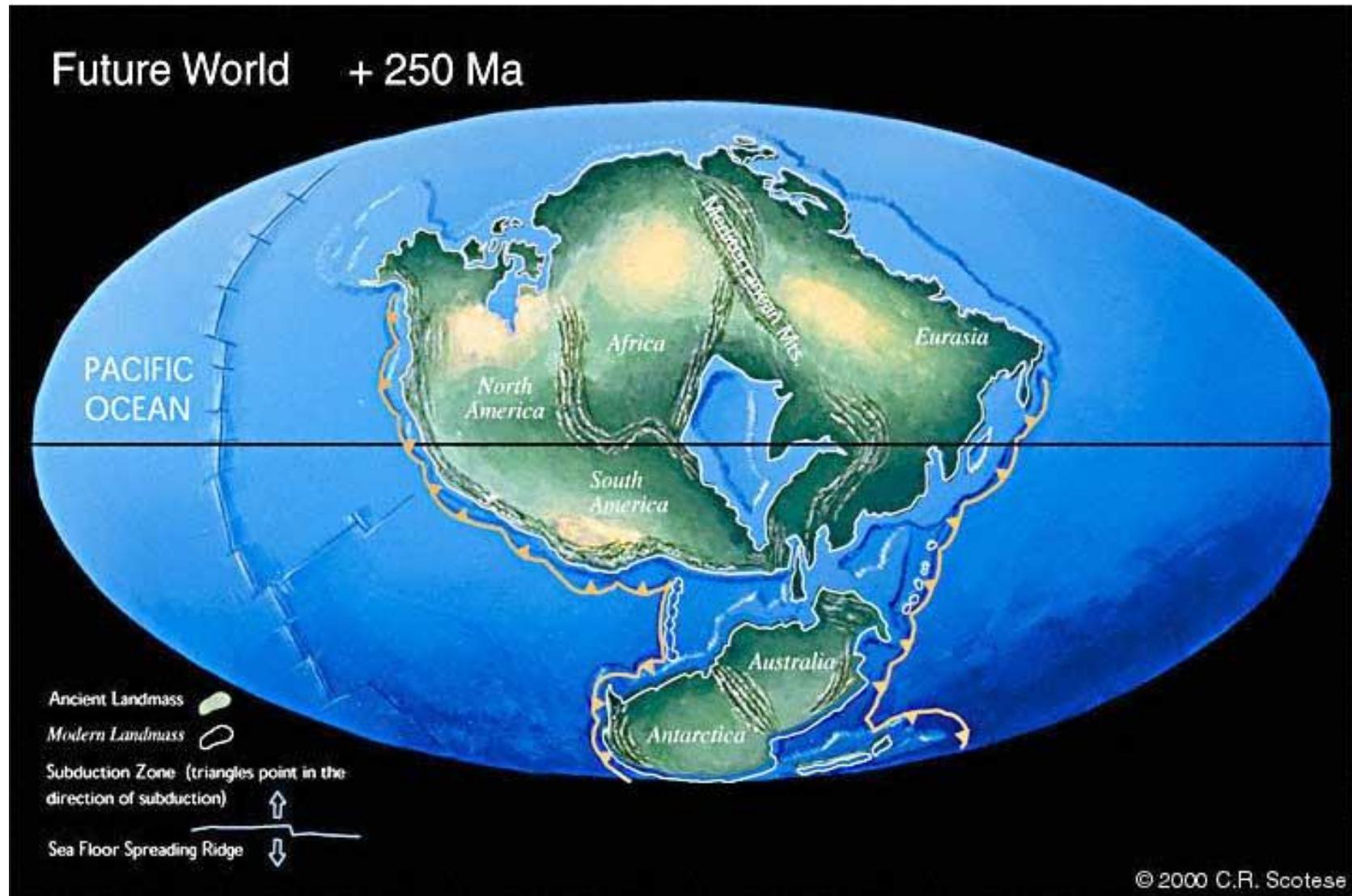
II. La cinématique des plaques – Mouvements des continents

Les mouvements actuels permettent également de « prédir » le futur.



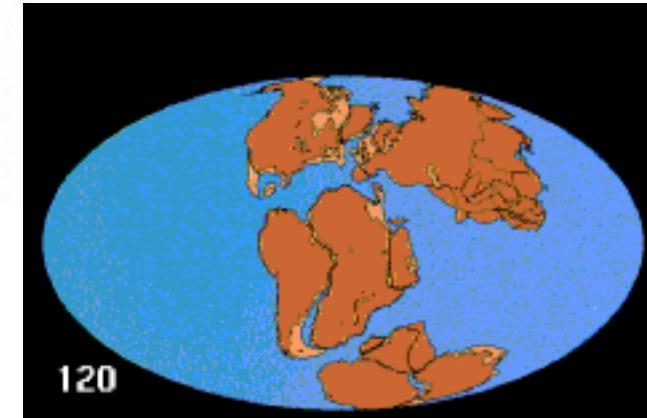
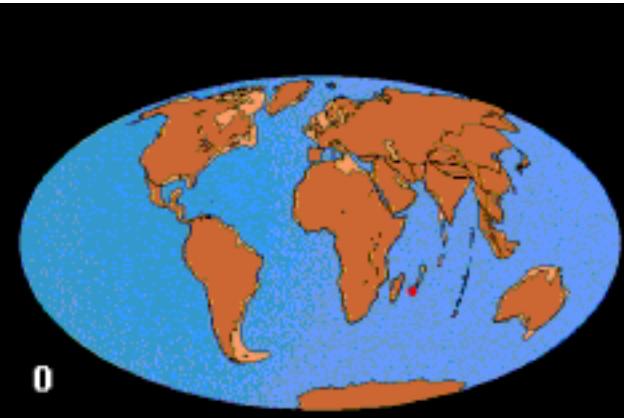
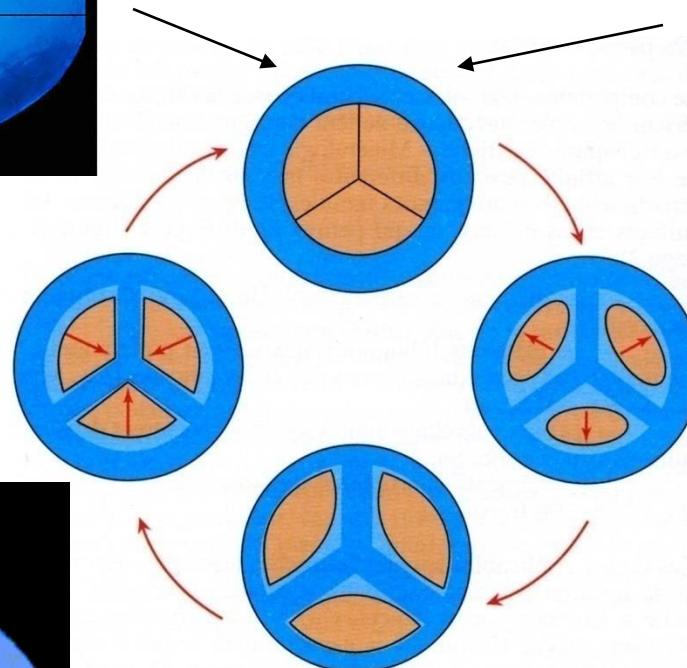
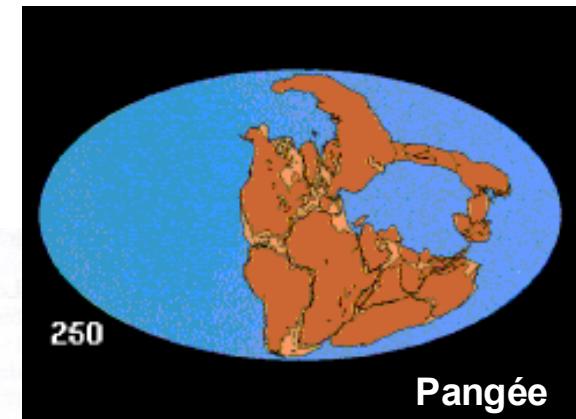
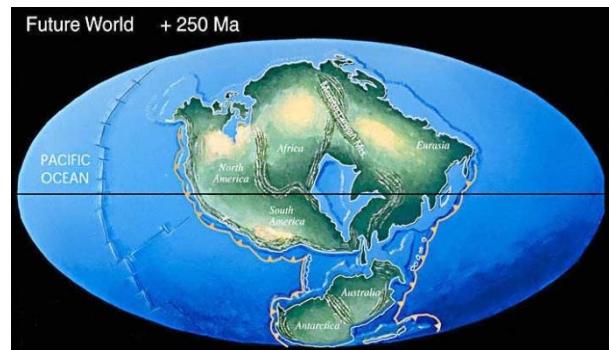
II. La cinématique des plaques – Mouvements des continents

Les mouvements actuels permettent également de « prédir » le futur.



II. La cinématique des plaques – Mouvements des continents

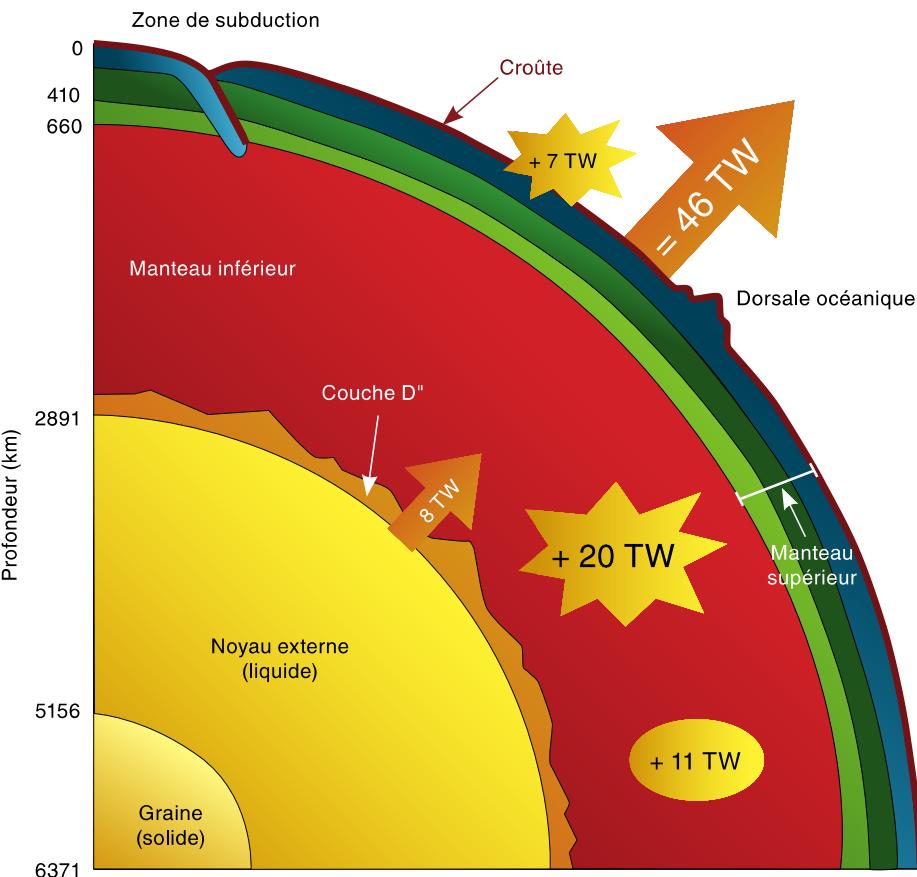
On peut ainsi mettre en évidence une périodicité dans la formation des regroupements continentaux: Les **cycles de Wilson** de période 400-500 Ma.



III. Le(s) moteur(s) de la tectonique des plaques

Les sources de chaleur interne de la Terre:

- 1) Energie **nucléaire**: Décroissance radioactive (U, Th, K)
- 2) Energie **thermique**: Chaleur originelle (baisse de 120°C/Ga)
- 3) Energie **chimique**: Chaleur latente de cristallisation de la graine

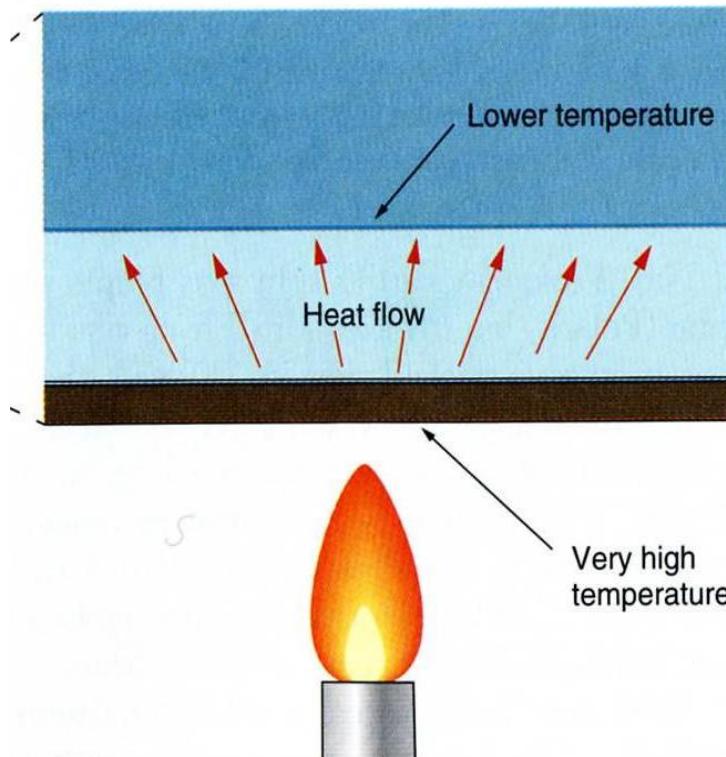


Cette production interne de chaleur doit être évacuée vers l'extérieur

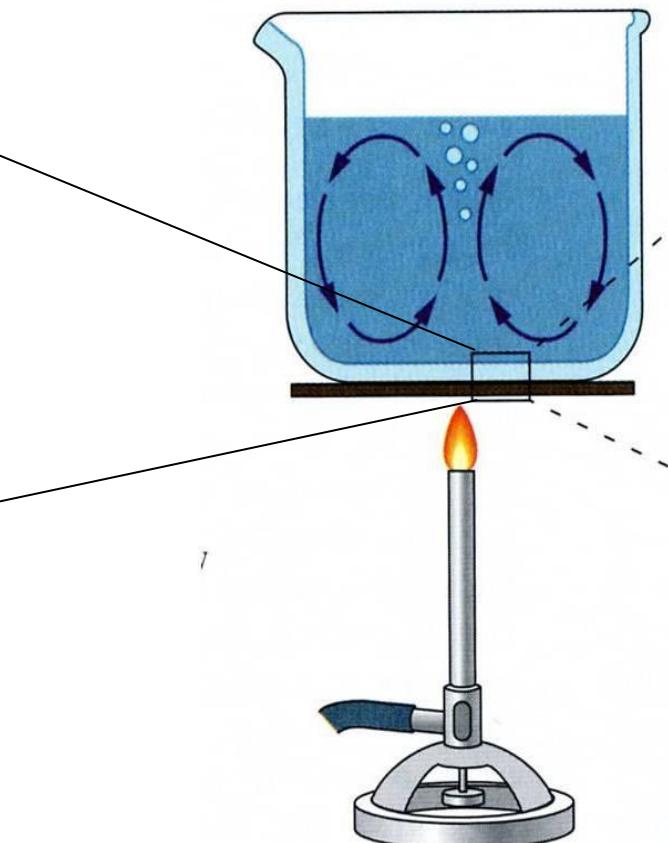
III. Le(s) moteur(s) de la tectonique des plaques

Mécanismes de transport de la chaleur interne: principes

La conduction (*agitation des atomes mais matière immobile*)
n'est pas très efficace

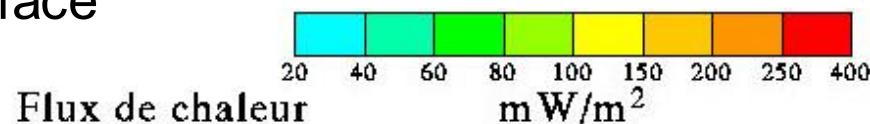


La convection (*déplacement de matériaux qui transportent la chaleur*)
20 à 200 fois plus efficace !

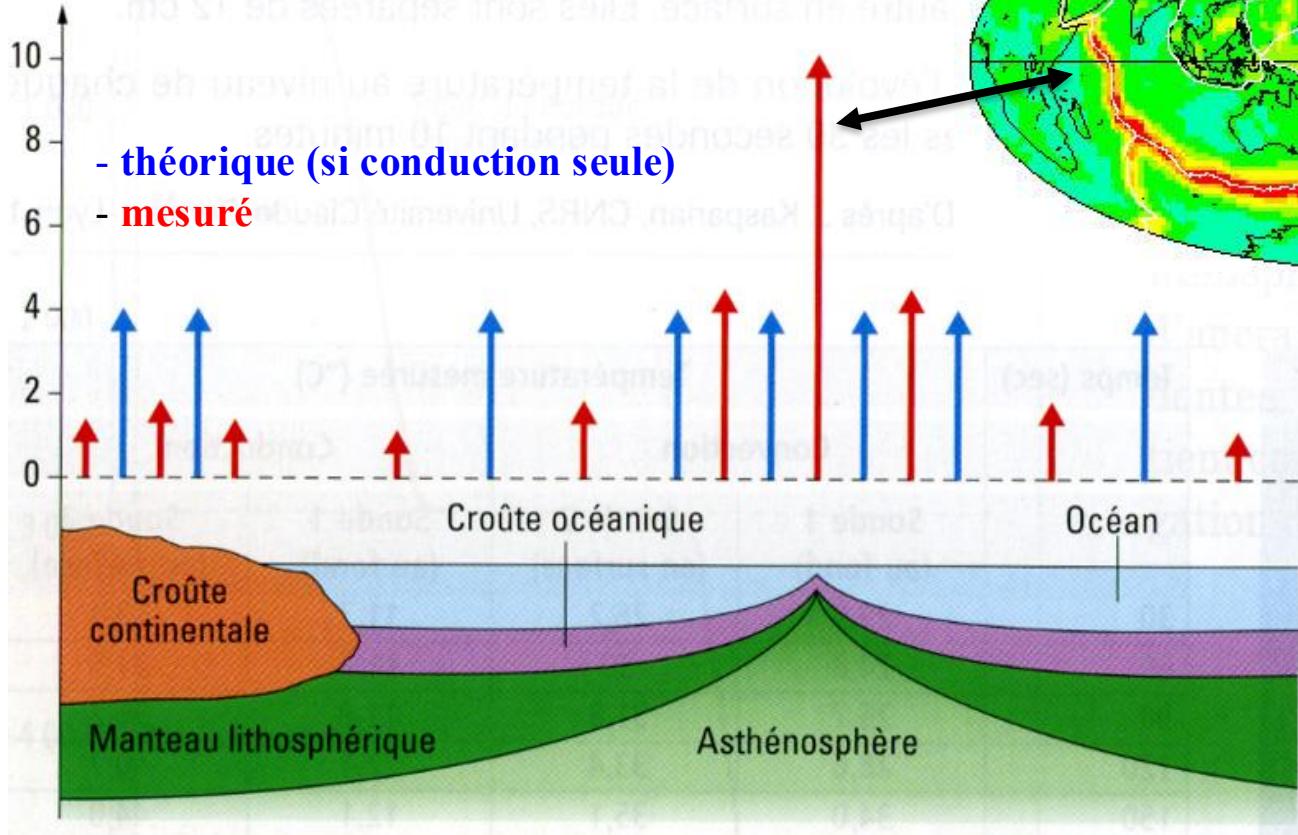


III. Le(s) moteur(s) de la tectonique des plaques

Mesures du flux géothermique à la surface



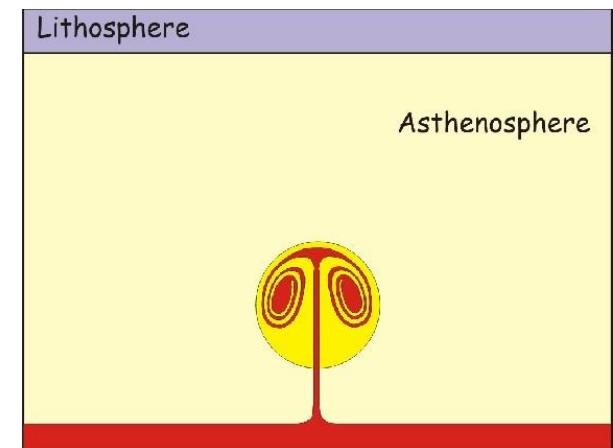
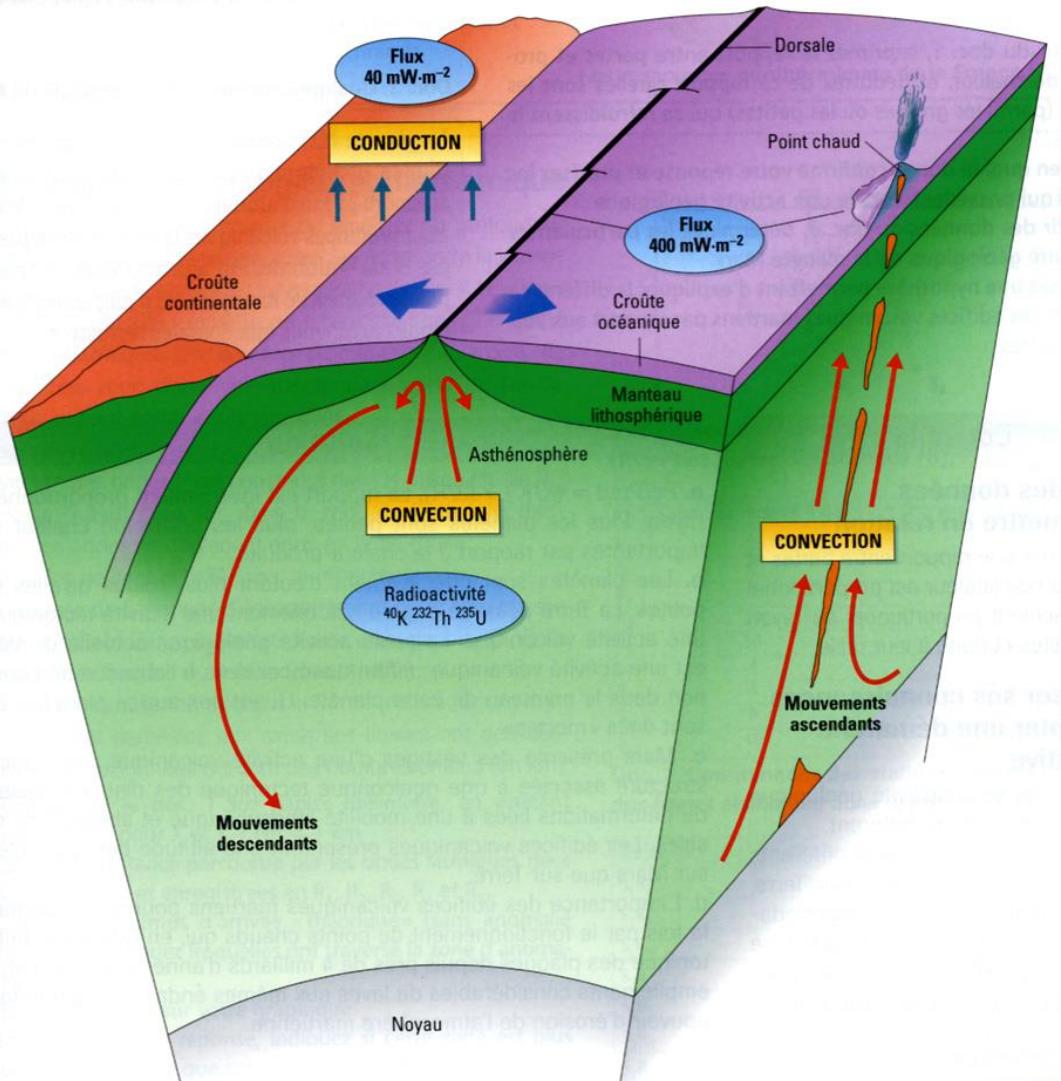
Flux de chaleur ($\mu\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)



L'essentiel de la chaleur interne est évacuée à l'axe des dorsales

III. Le(s) moteur(s) de la tectonique des plaques

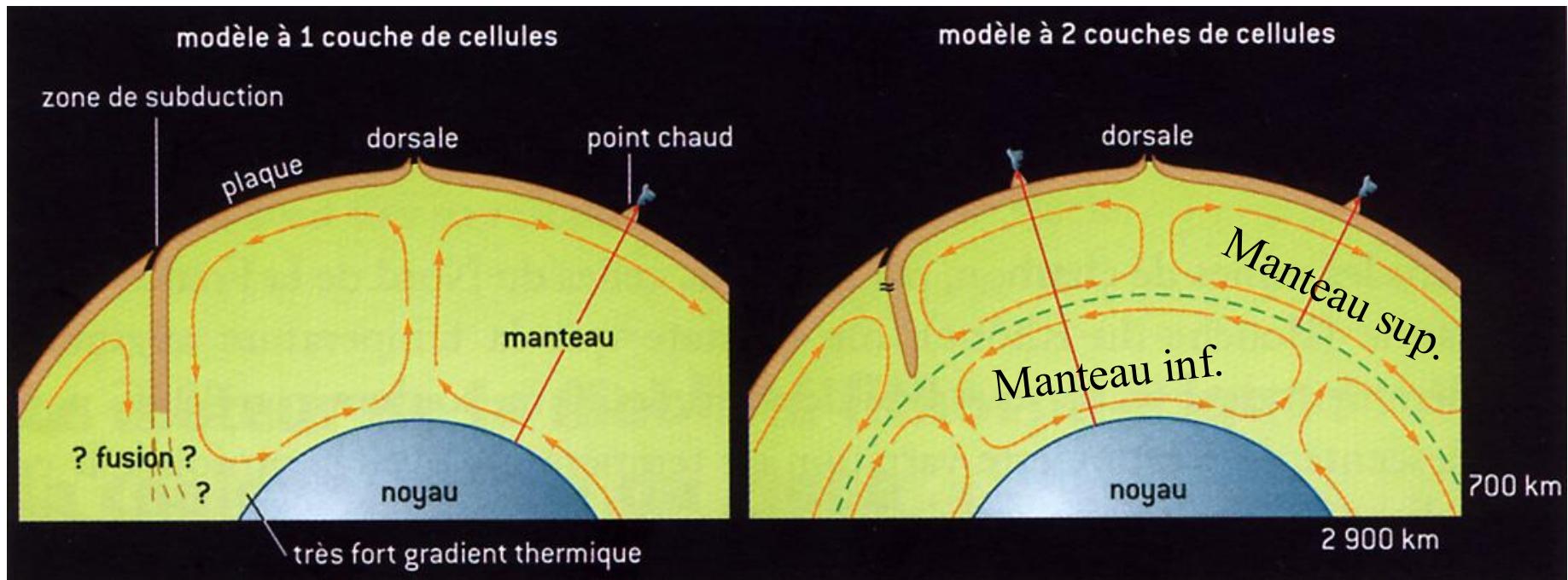
Evacuation de la chaleur interne par **convection du manteau** et remontée de **panache mantellique**.



Les panaches permettent une évacuation efficace d'un excès de chaleur de la base du manteau vers la surface.

III. Le(s) moteur(s) de la tectonique des plaques

La convection du manteau se fait-elle à 1 ou 2 couches ?



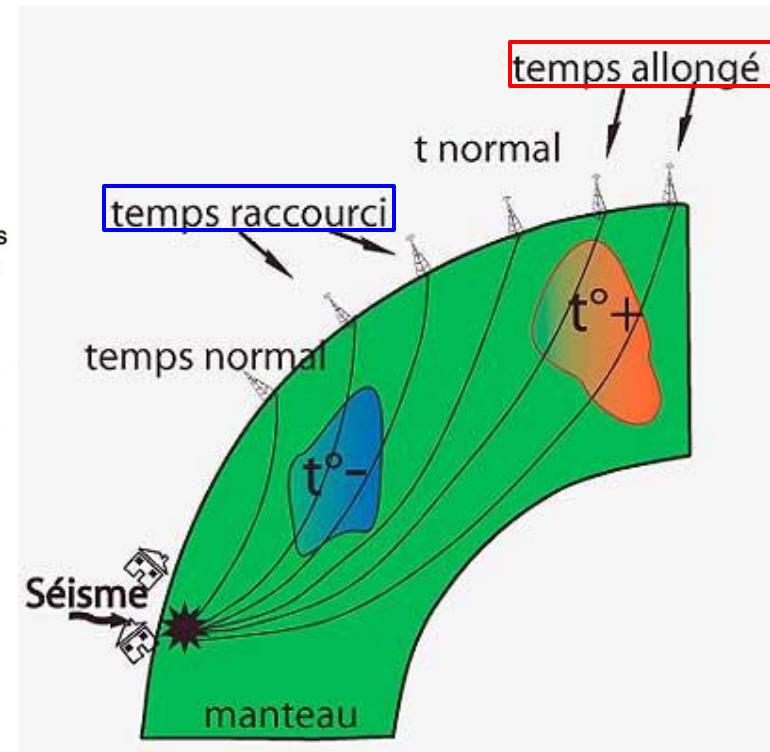
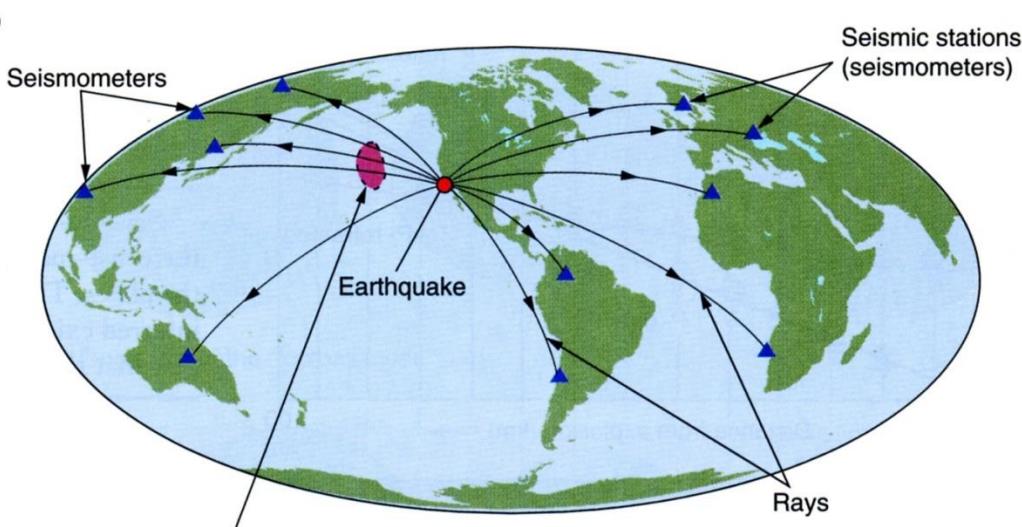
-> il faut « visualiser » l'intérieur de la Terre à l'aide de la tomographie sismique

III. Le(s) moteur(s) de la tectonique des plaques

La convection du manteau se fait-elle à 1 ou 2 couches ?

Principe de la tomographie sismique

(a)



Temps d'arrivée

=> Vitesse

=> Température

plus court que prévu

+ rapide

+ basse

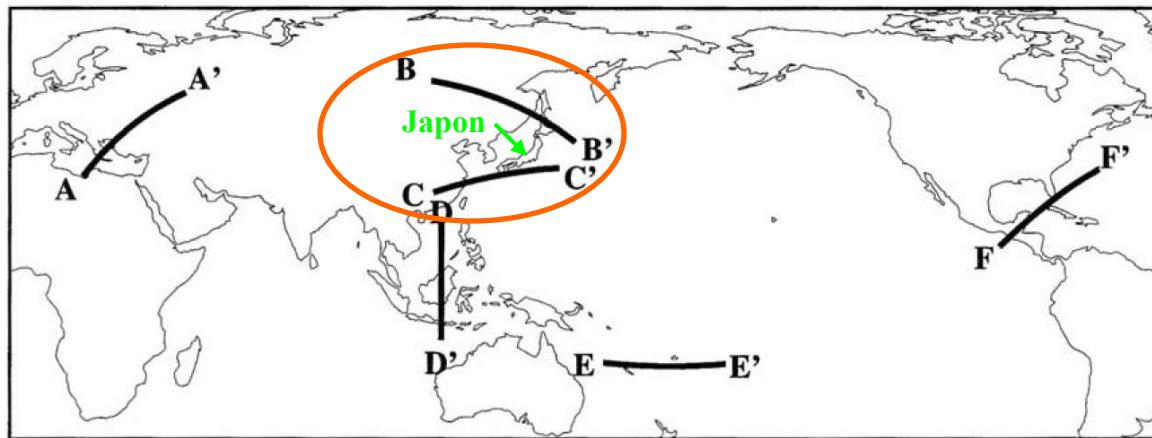
plus long que prévu

+ lente

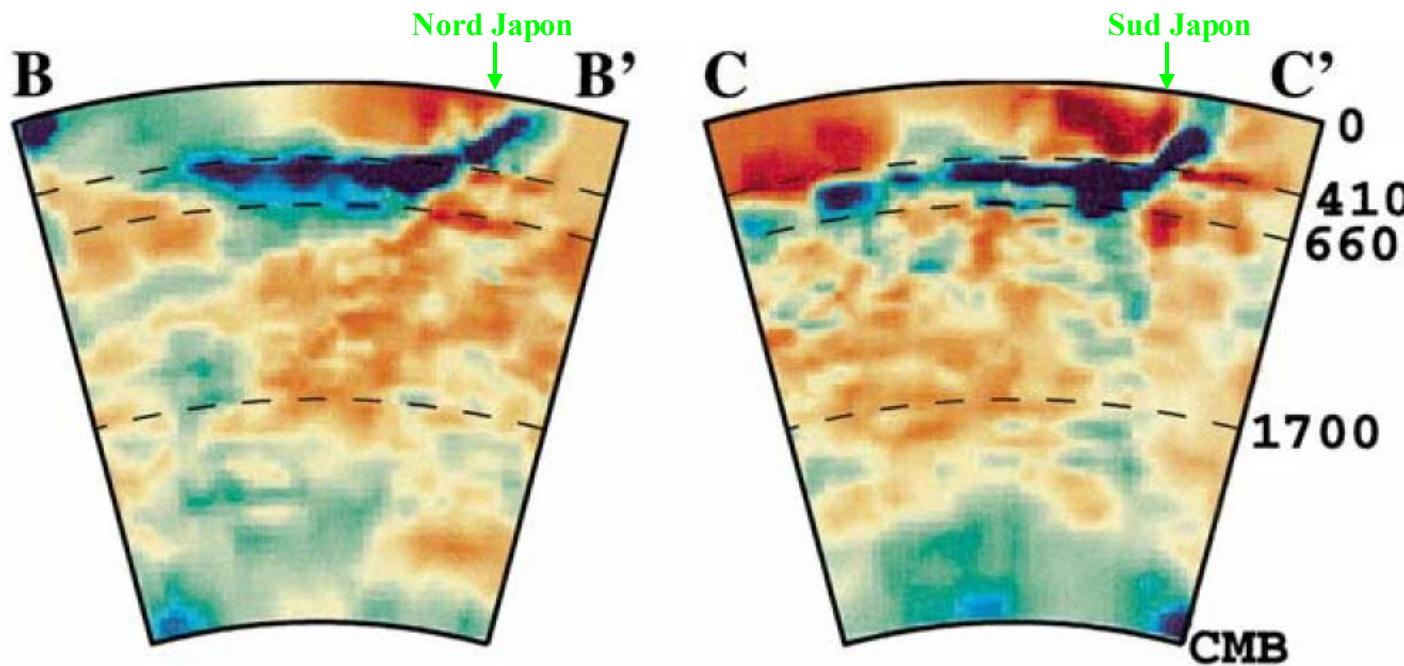
+ élevée

III. Le(s) moteur(s) de la tectonique des plaques

La convection du manteau se fait-elle à 1 ou 2 couches ?



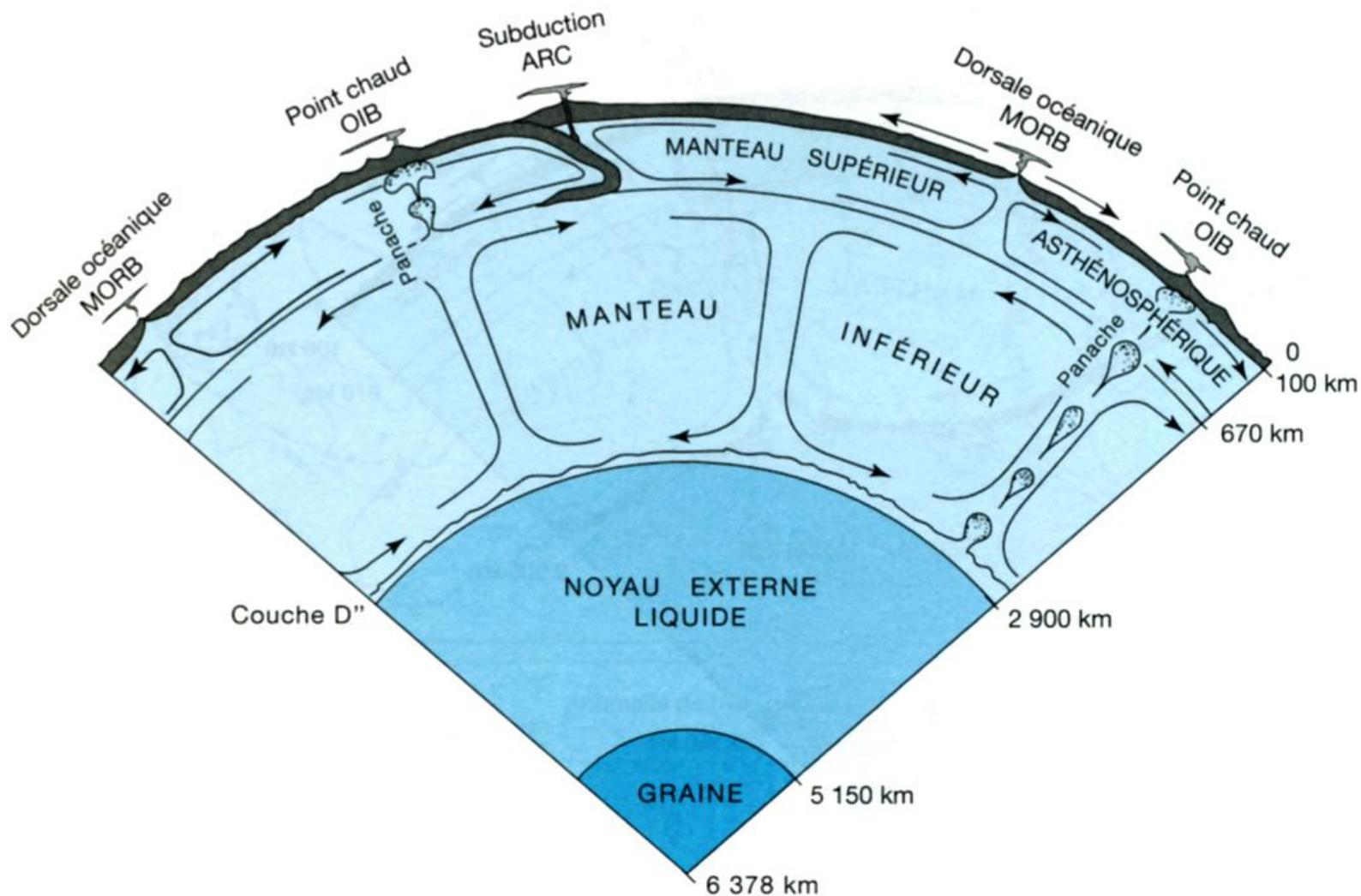
Ces plaques semblent bloquées à la limite manteau sup. – manteau inf.



III. Le(s) moteur(s) de la tectonique des plaques

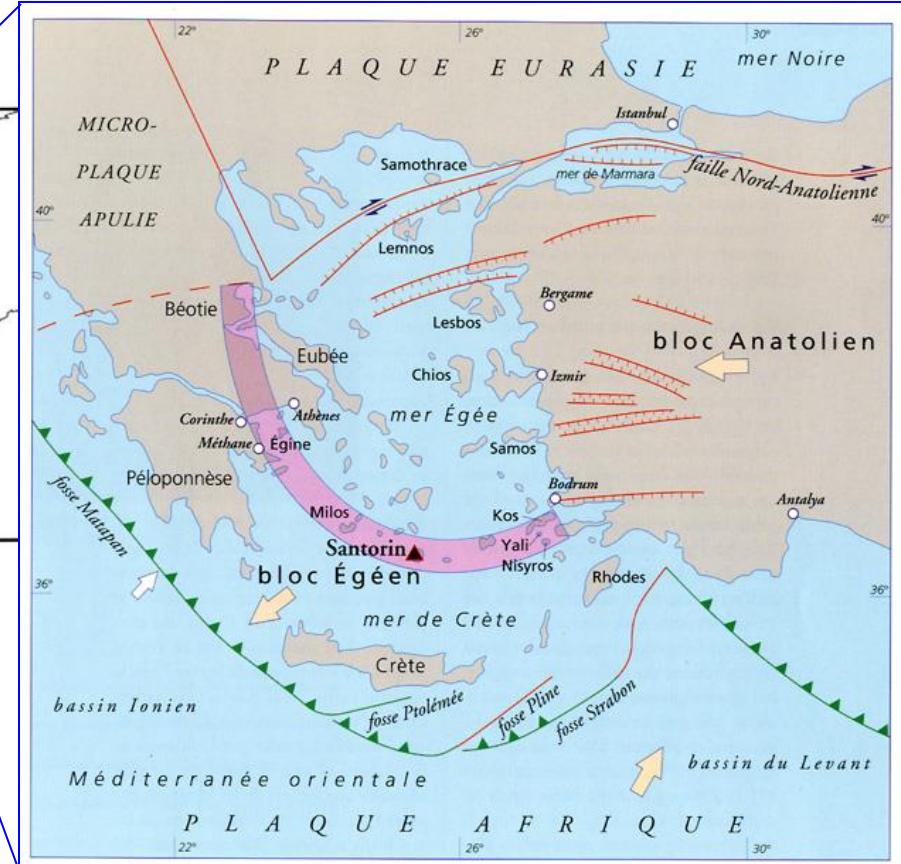
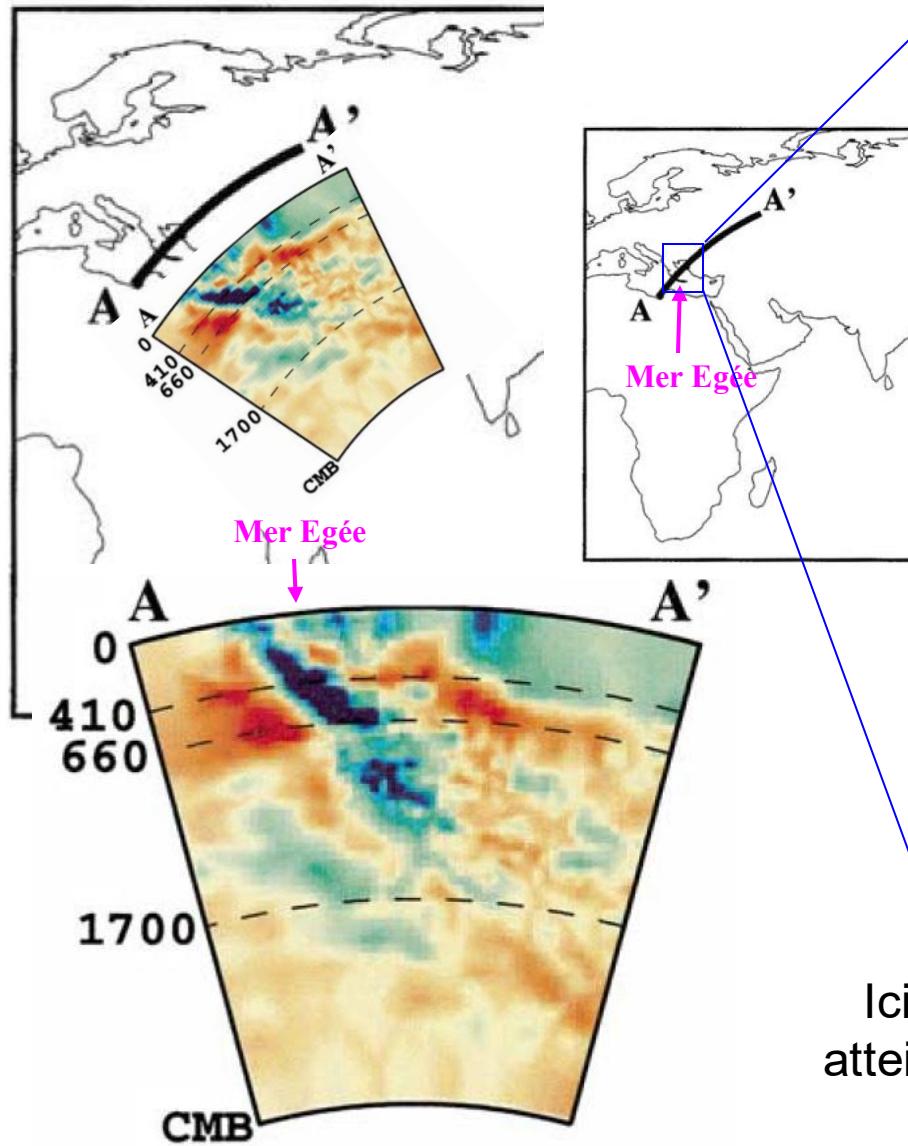
La convection du manteau se fait-elle à 1 ou 2 couches ?

Hypothèse A ici favorisée: convection à 2 couches



III. Le(s) moteur(s) de la tectonique des plaques

La convection du manteau se fait-elle à 1 ou 2 couches ?

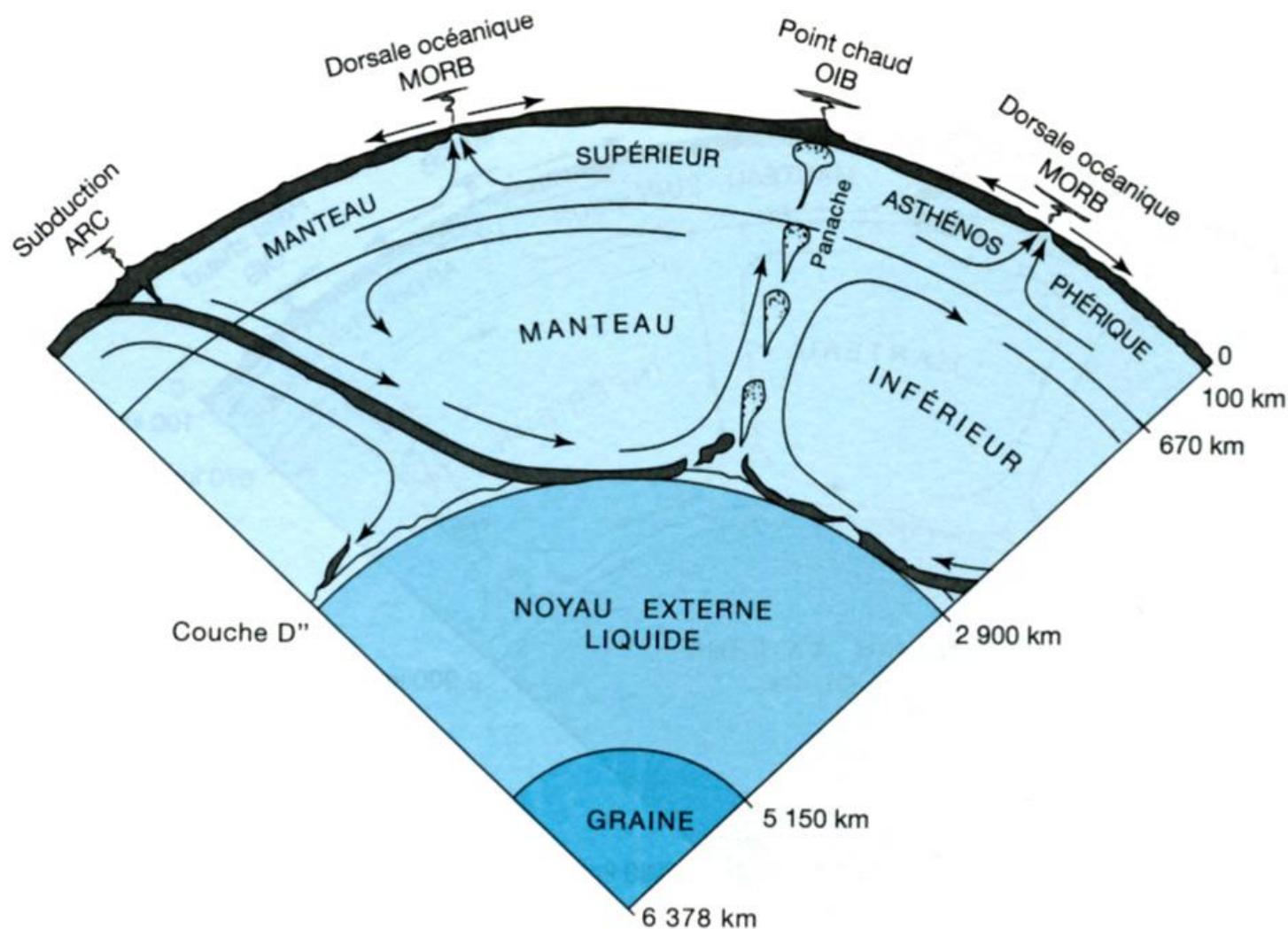


Ici, la plaque Afrique semble pourtant atteindre la base du manteau inférieur ...

III. Le(s) moteur(s) de la tectonique des plaques

La convection du manteau se fait-elle à 1 ou 2 couches ?

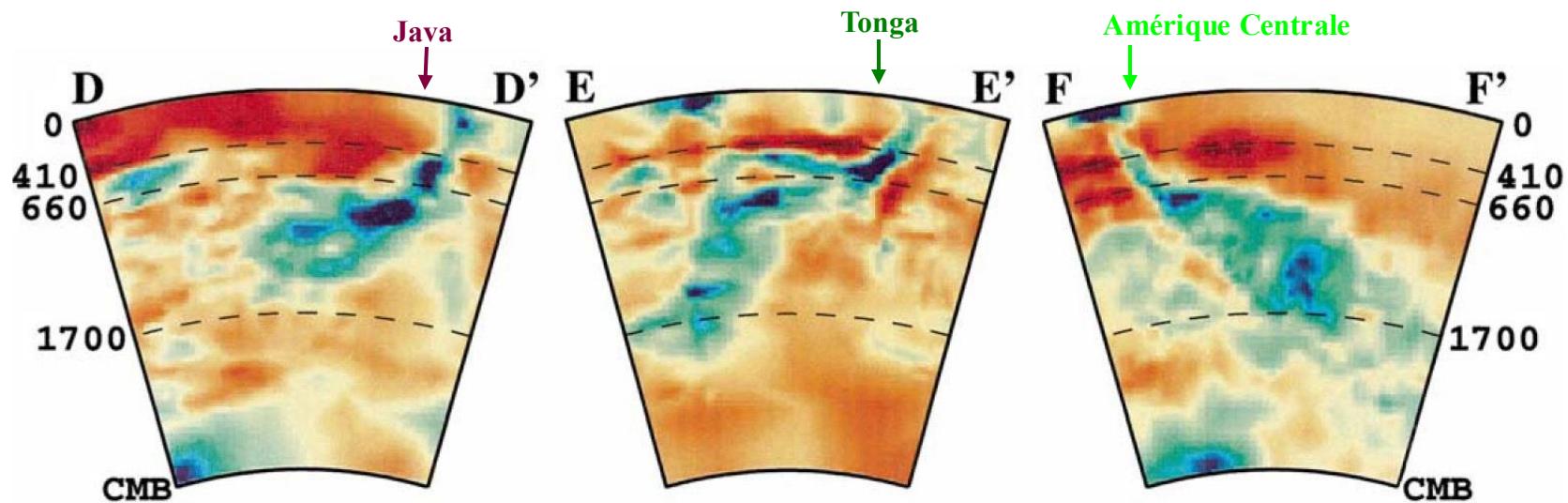
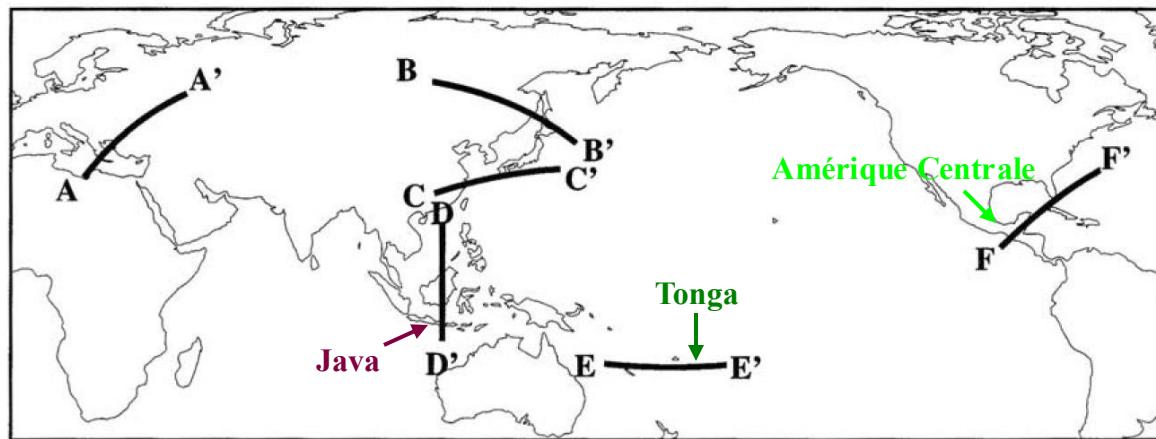
Hypothèse B ici favorisée: convection à 1 couche



III. Le(s) moteur(s) de la tectonique des plaques

La convection du manteau se fait-elle à 1 ou 2 couches ?

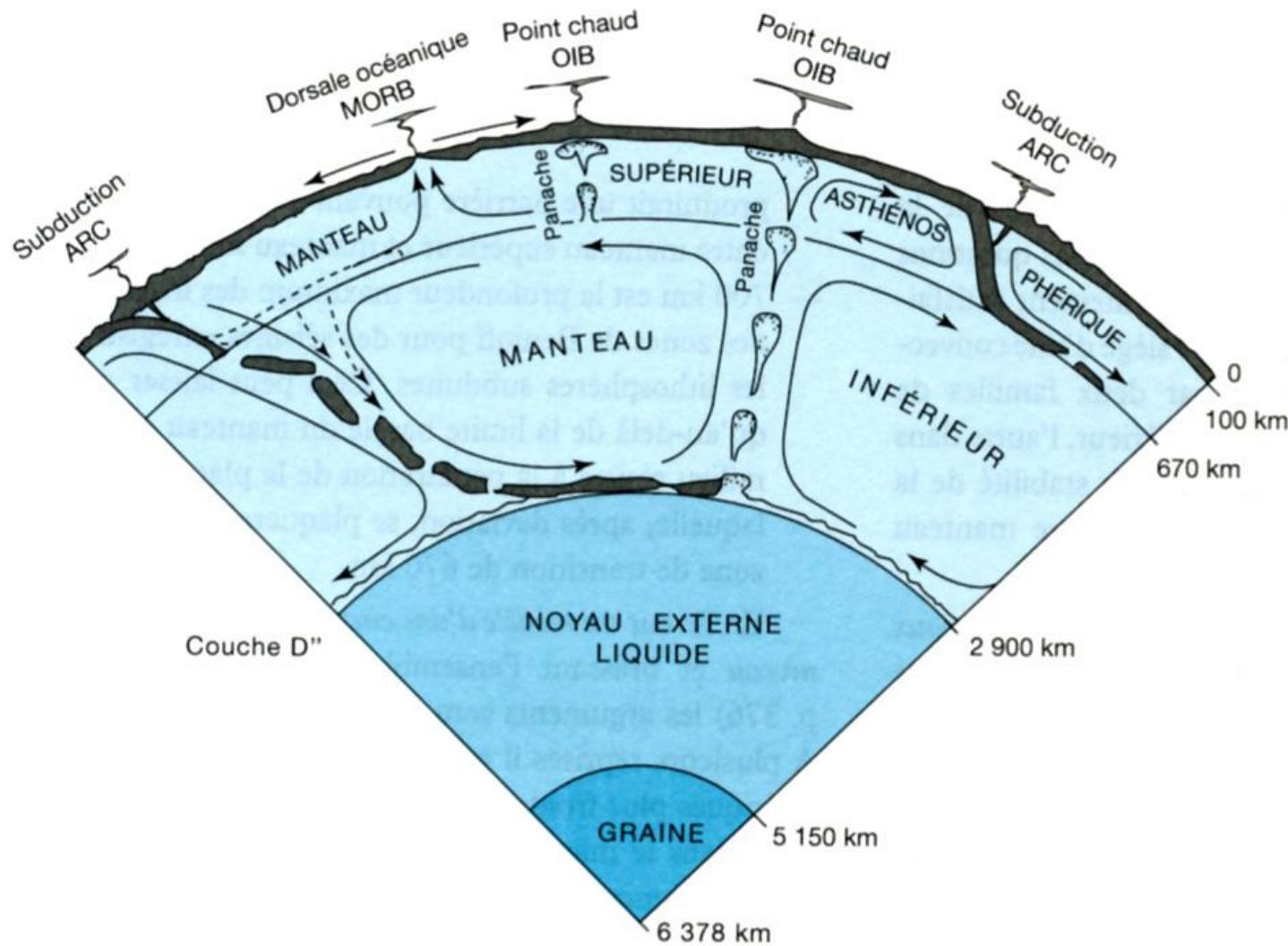
D'autres plaques transitent à la limite manteau sup. – manteau inf. avant de plonger dans le manteau inf.



III. Le(s) moteur(s) de la tectonique des plaques

La convection du manteau se fait-elle à 1 ou 2 couches ?

Modèle intermédiaire entre A & B: convection pénétrative



Conclusions/points importants

- Failles décrochantes / failles transformantes
- Les points chauds
- Les anomalies magnétiques océaniques
- Reconstruction du mouvement des continents
- Flux de chaleur géothermique
- Tomographie sismique

Conclusions/points importants

Questions:

- A quels types de mouvements sont associées les failles décrochantes ?
- Quels sont les trois mécanismes possibles pour la fusion des roches du manteau ?
- Définir le cycle de Wilson
- Comment peut-on déterminer des cartes de la cinématique globale des plaques?
- Qu'est ce qu'un point chaud?
- Quel est le moteur principal du mouvement des plaques?
- Quels sont les deux modèles de convection?

Fin du cours

