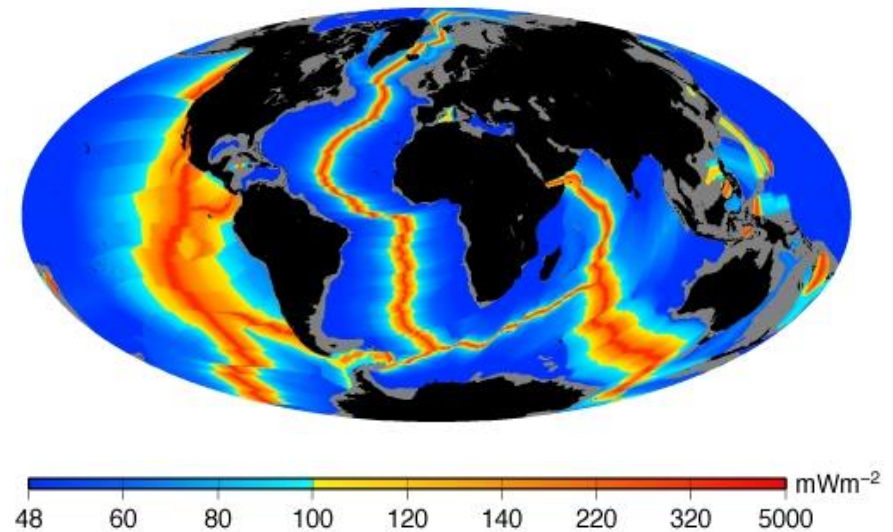
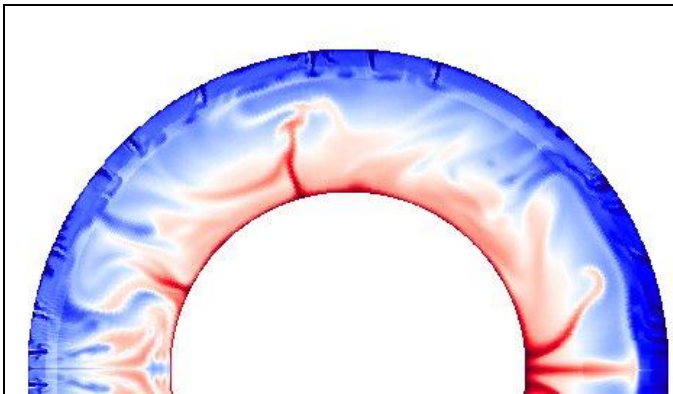
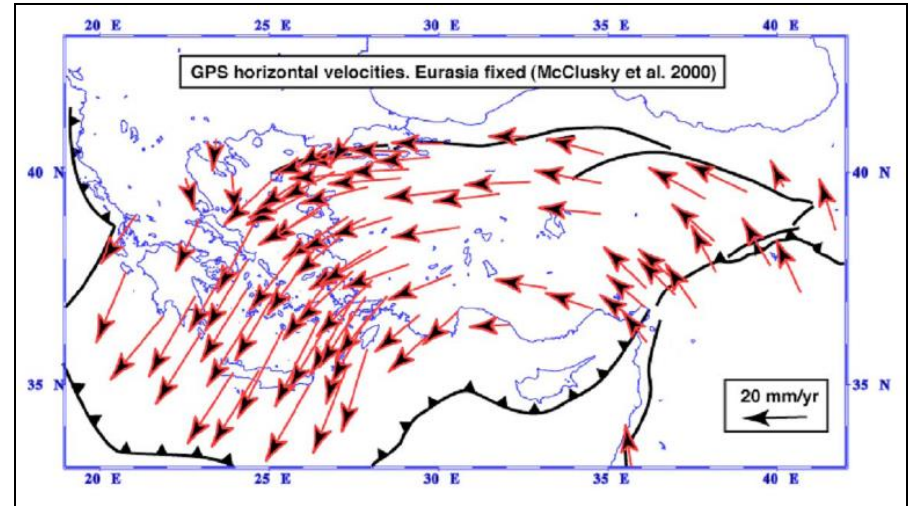
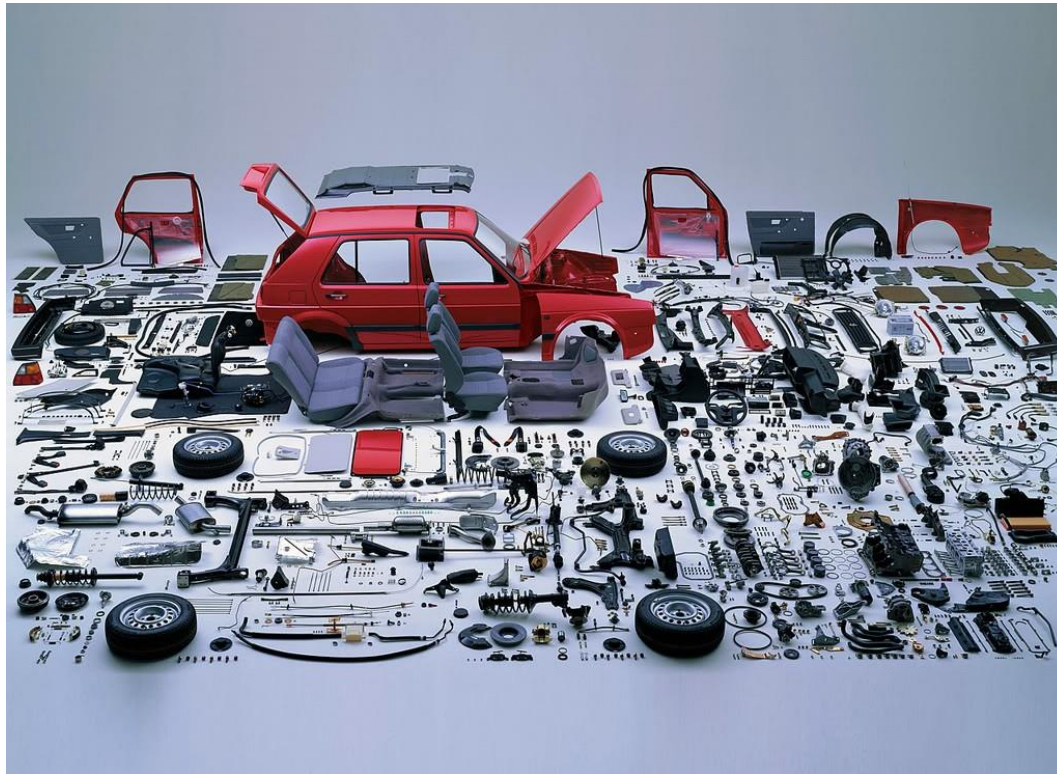


LA DYNAMIQUE INTERNE DE LA TERRE (1^{ère} Spé SVT)



- **La dynamique interne de la Terre**

Les élèves découvrent le fonctionnement interne actuel de la Terre, une planète active. Ils apprennent comment les **méthodes** des géosciences permettent de construire une approche scientifique de la dynamique terrestre. C'est aussi l'occasion pour eux de s'appropriier les ordres de grandeur des objets (échelles de temps, échelle de taille) et des mécanismes de la géologie, en mobilisant différents objets géologiques, de la roche au globe terrestre.



L'apport des études sismologiques et thermiques à la connaissance du globe terrestre

Connaissances

Un séisme résulte de la libération brutale d'énergie lors de rupture de roches soumises à des contraintes.

Les informations tirées du trajet et de la vitesse des ondes sismiques permettent de comprendre la structure interne de la Terre (croûte – manteau – noyau ; modèle sismique PREM [Preliminary Reference Earth Model], comportement mécanique du manteau permettant de distinguer lithosphère et asthénosphère ; état du noyau externe liquide et du noyau interne solide).

**I-Apport de la
sismologie dans la
connaissance de la
structure interne de
la Terre**

La dynamique de la lithosphère

La caractérisation de la mobilité horizontale

Connaissances

La lithosphère terrestre est découpée en plaques animées de mouvements. Le mouvement des plaques, dans le passé et actuellement, peut être quantifié par différentes méthodes géologiques : études des anomalies magnétiques, mesures géodésiques, détermination de l'âge des roches par rapport à la dorsale, alignements volcaniques liés aux points chauds.

La distinction de l'ensemble des indices géologiques et les mesures actuelles permettent d'identifier des zones de divergence et des zones de convergence aux caractéristiques géologiques différentes (marqueurs sismologiques, thermiques, pétrologique).

**II-Caractérisation du
mouvement des
plaques**

La dynamique des zones de convergence

▪ **Les zones de subduction**

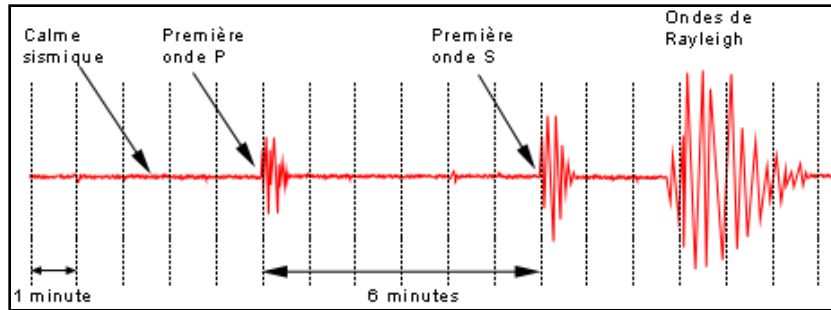
Connaissances

La mobilité des plaques lithosphériques résulte de phénomènes de convection impliquant les plaques elles-mêmes et l'ensemble du manteau.

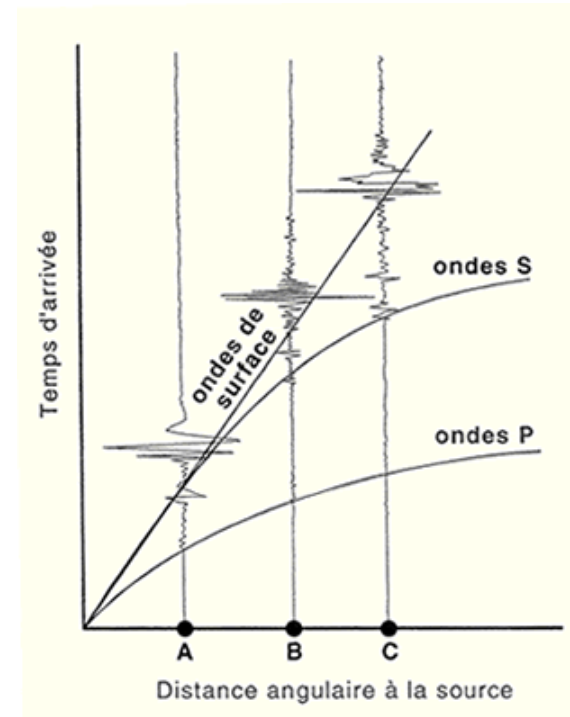
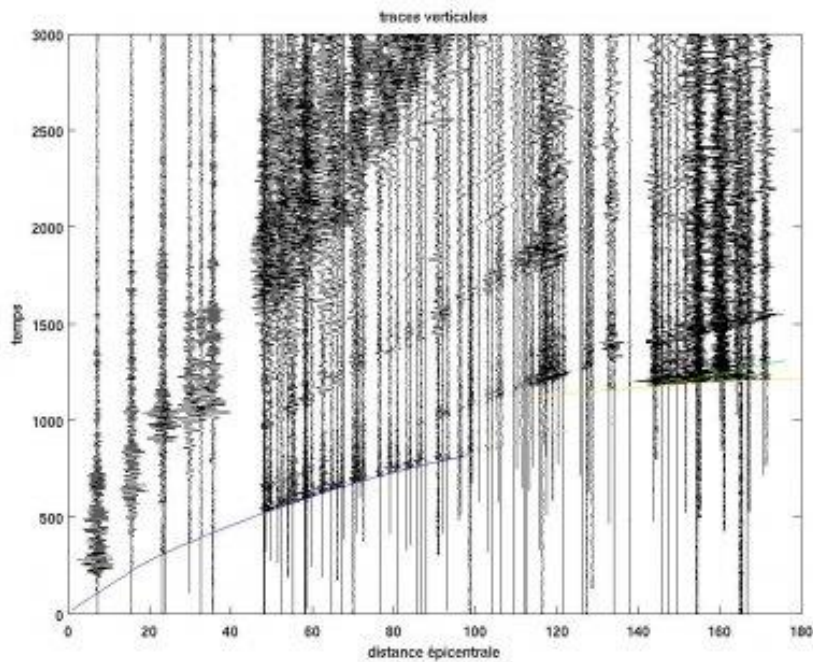
L'augmentation de la densité de la lithosphère constitue un facteur important contrôlant la subduction et, par suite, les mouvements descendants de la convection. Ceux-ci participent à leur tour à la mise en place des mouvements ascendants.

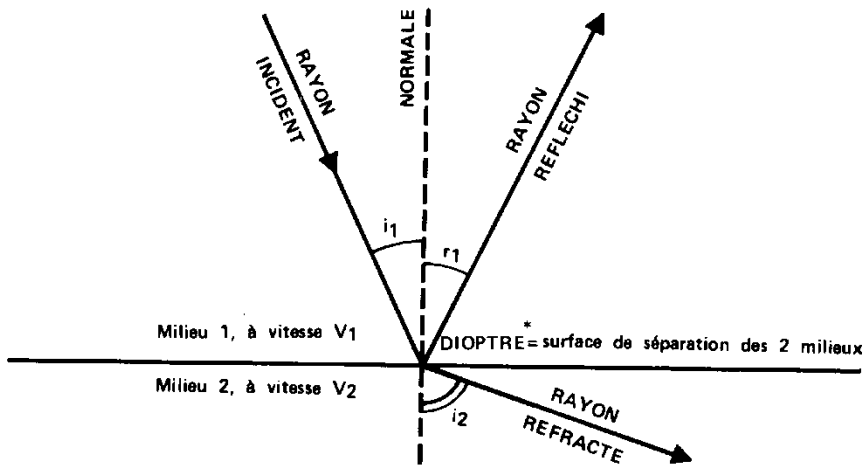
**III-Lien entre le
mouvement des
plaques et la
convection**

I-Apport de la sismologie dans la connaissance de la structure interne de la Terre



$$V_p = \sqrt{\frac{K + 4/3 \mu}{\rho}} \quad \text{et} \quad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$



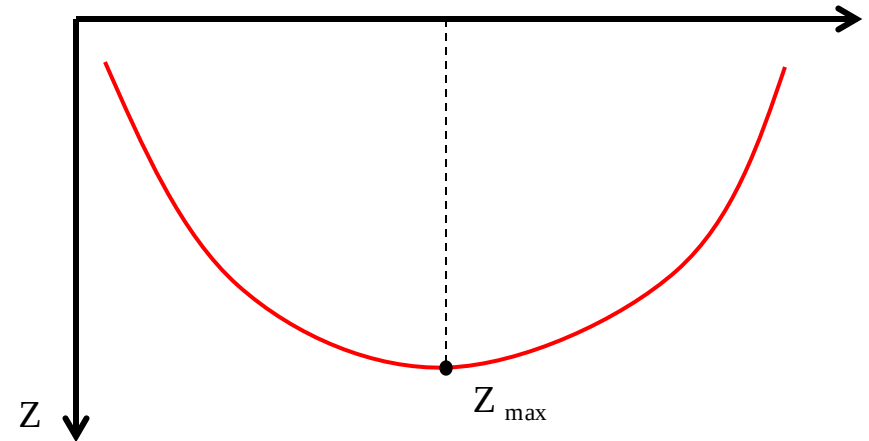
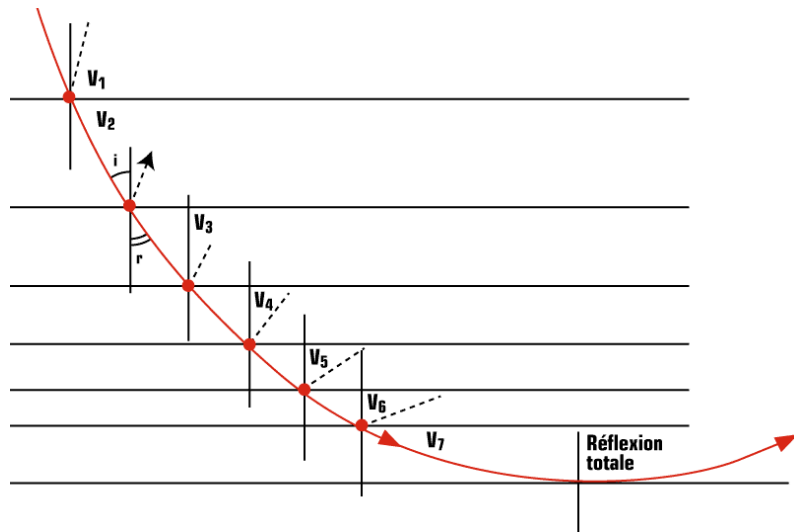


• Deuxième loi de DESCARTES :

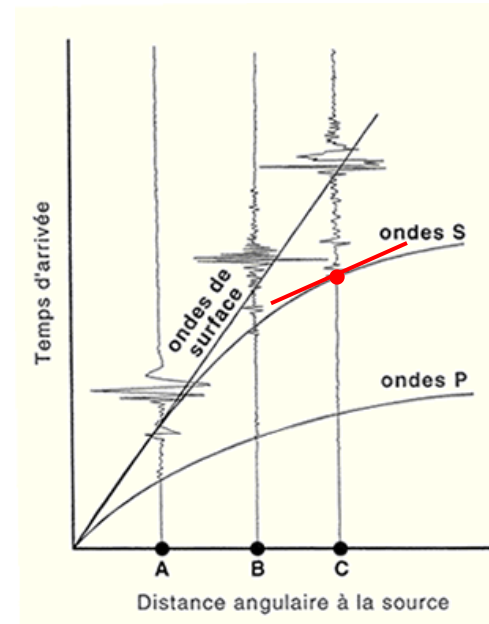
Loi de la réflexion : ANGLE DE RÉFLEXION = ANGLE D'INCIDENCE
soit $r_1 = i_1$

Loi de la réfraction :
$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (1)$$

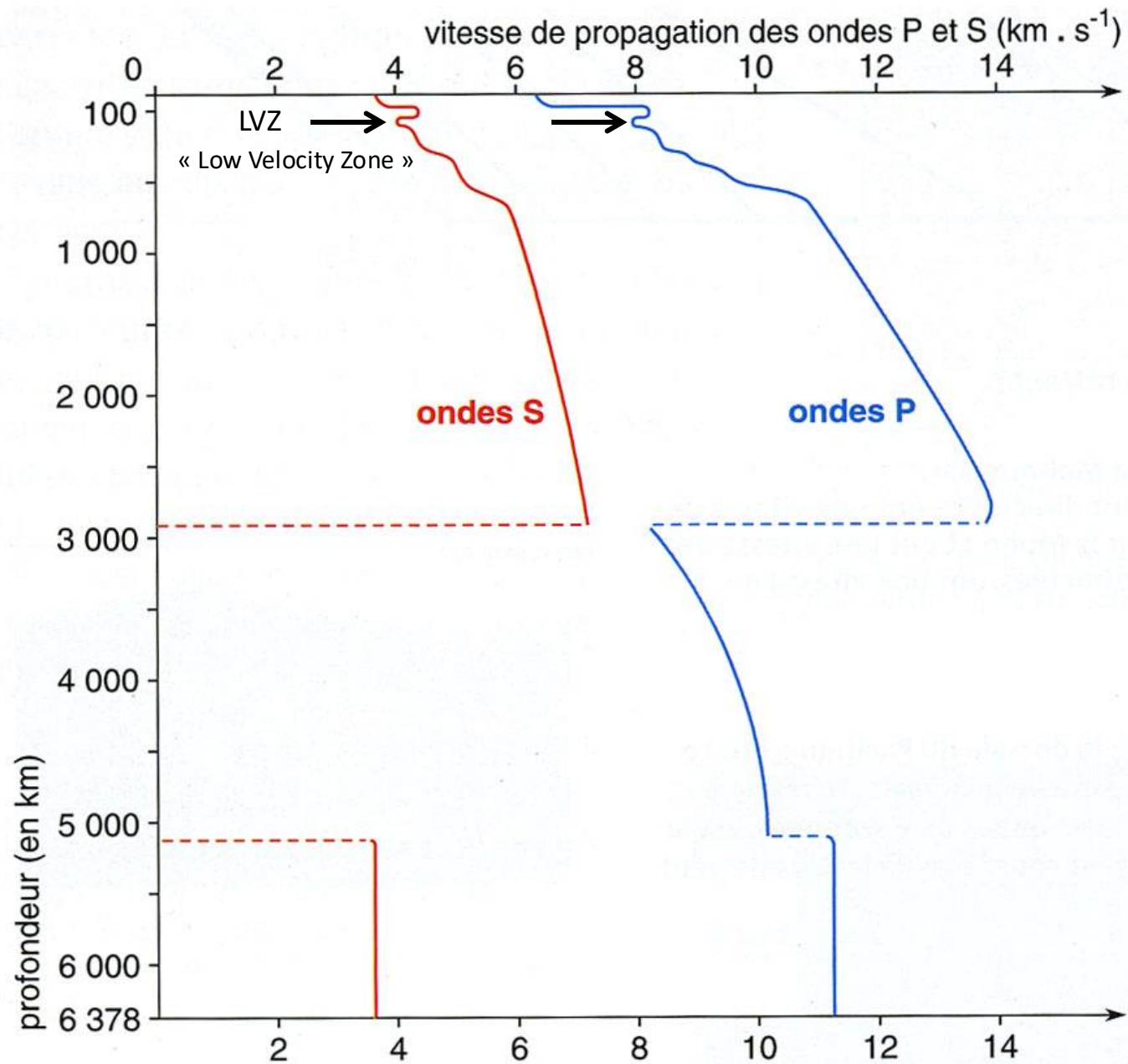
d'où
$$\frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2} = \frac{\sin i_3}{V_3} = \dots = \frac{\sin i_n}{V_n}$$



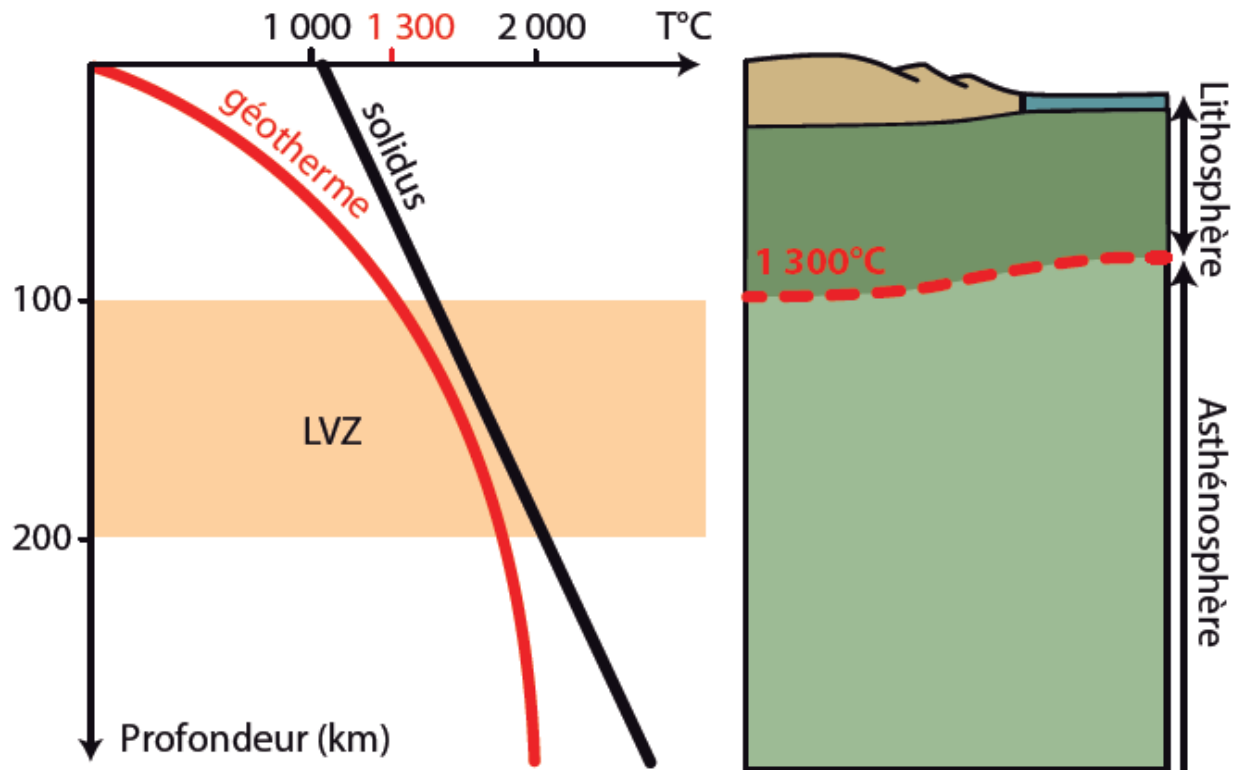
$$P = 1/V_{(Z_{\max})}$$



$$P = dT/dD$$



La LVZ = manteau très ductile

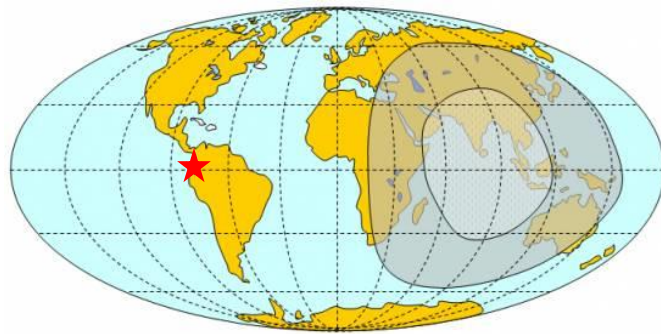


$$V_p = \sqrt{\frac{K + 4/3 \mu}{\rho}} \quad \text{et} \quad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

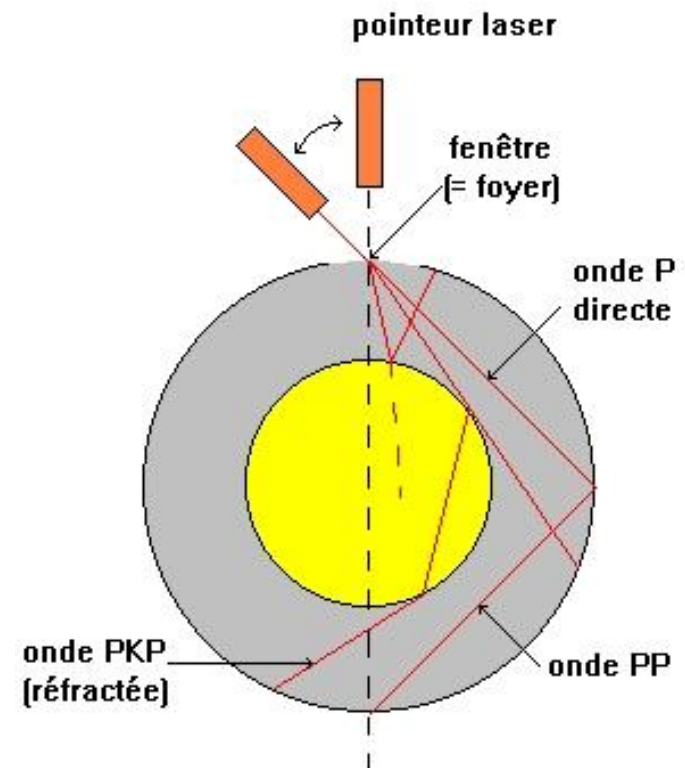
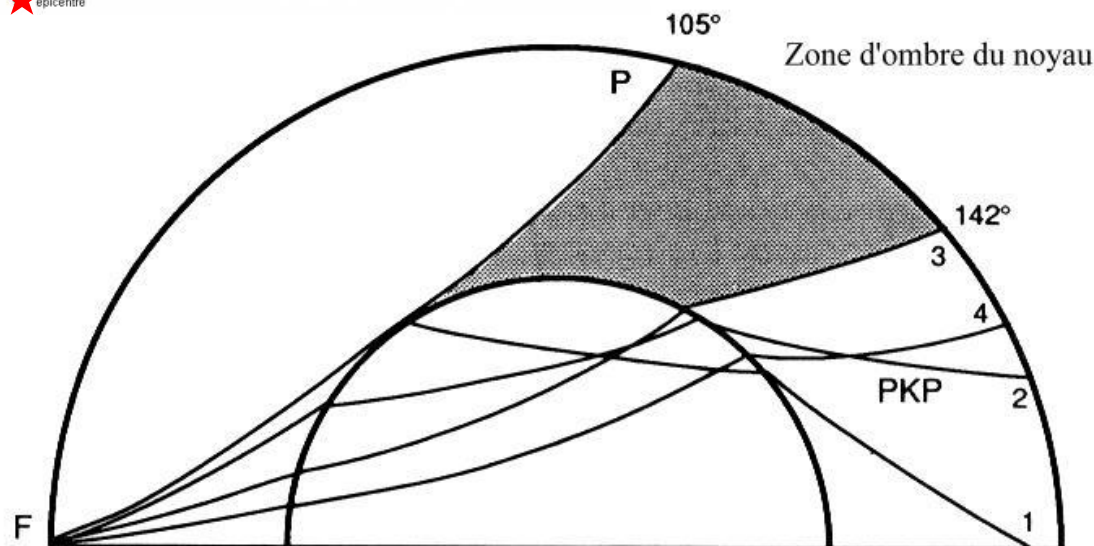
BO : « Les informations tirées du trajet et de la vitesse des ondes sismiques permettent de comprendre la structure interne de la Terre (croûte – manteau – noyau ; modèle sismique PREM (Preliminary Reference Earth Model), comportement mécanique du manteau permettant de distinguer lithosphère et asthénosphère ; état du noyau externe liquide et du noyau interne solide). »

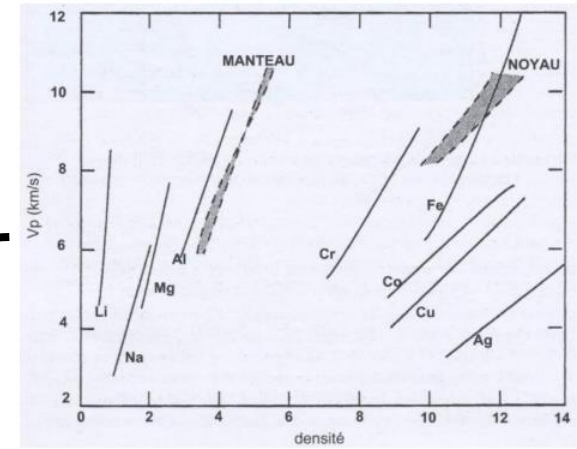
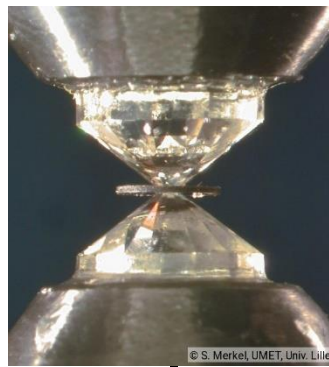
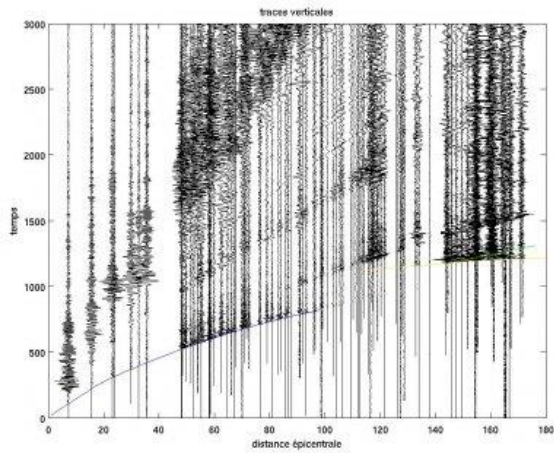
Étudier la propagation profonde des ondes (zone d'ombre, mise en évidence des discontinuités) en utilisant les lois de Snell-Descartes et/ou mettant en œuvre un modèle analogique pour montrer les zones d'ombre.

Utiliser des profils de vitesse et de densité du modèle PREM.

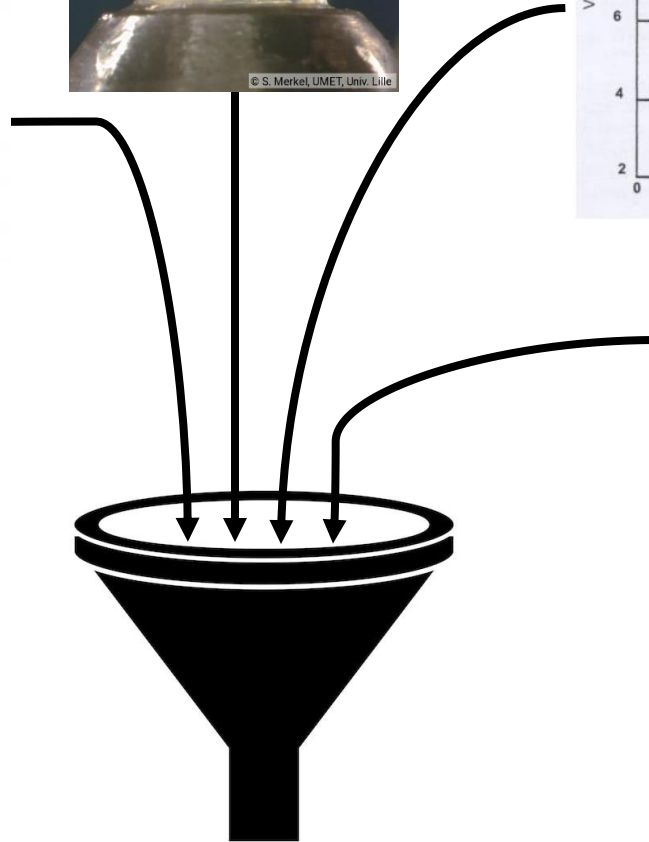


■ absence d'ondes P et d'ondes S
□ absence d'ondes S
★ épicentre





Des données...



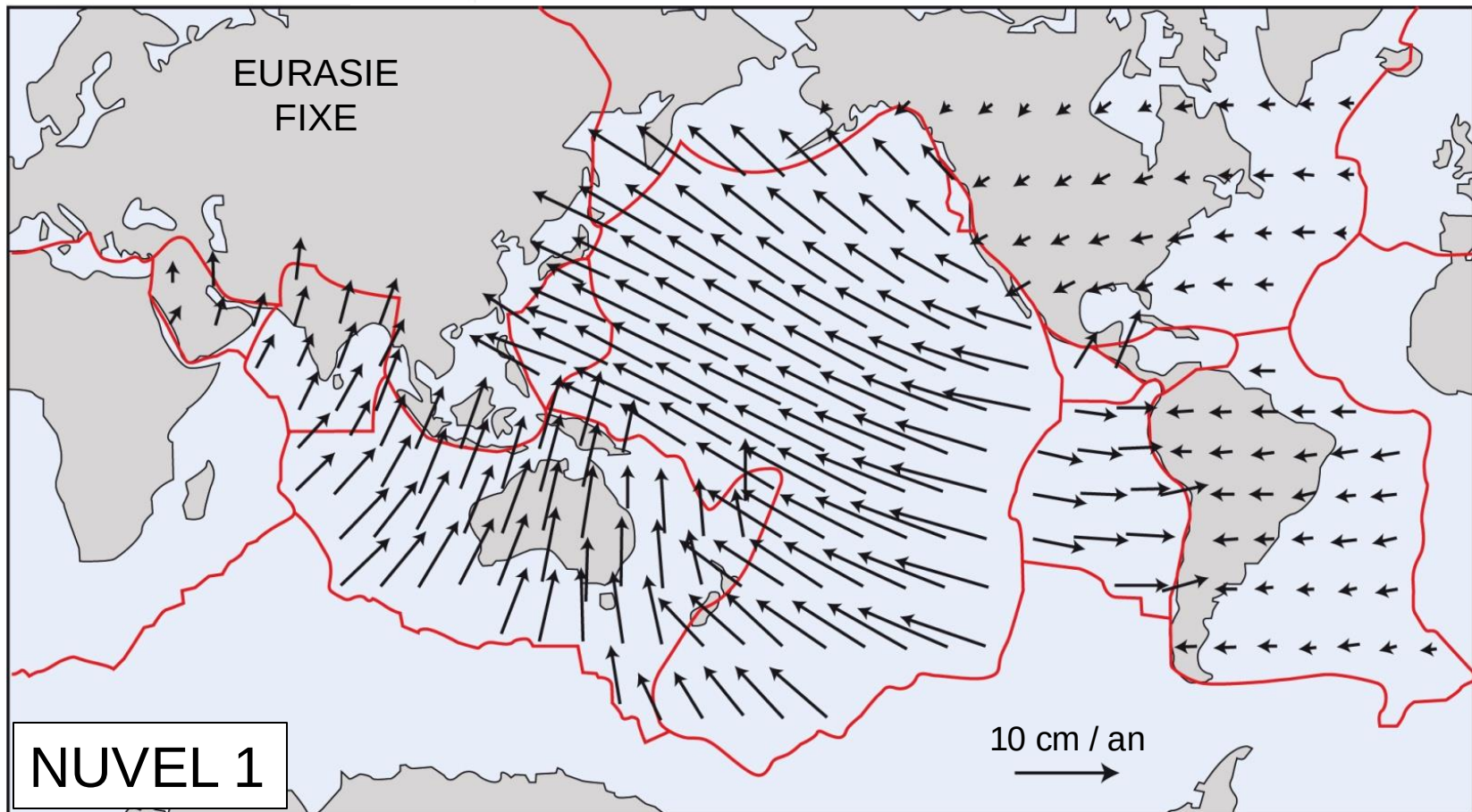
... au modèle

II-Characterisation du mouvement des plaques

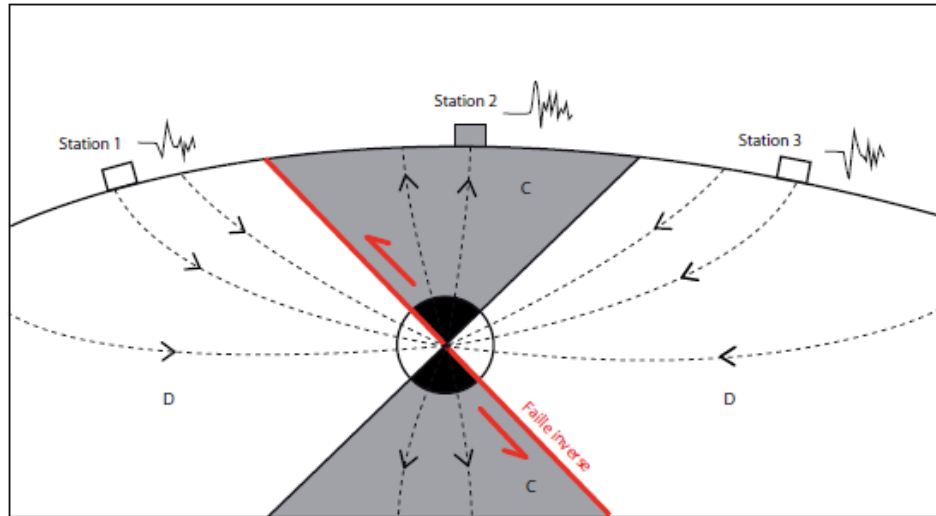
Les modèles cinématiques

Tableau 6.1. Comparaison du nombre de données utilisées pour les modèles Le Pichon, RM1 et NUVEL-1

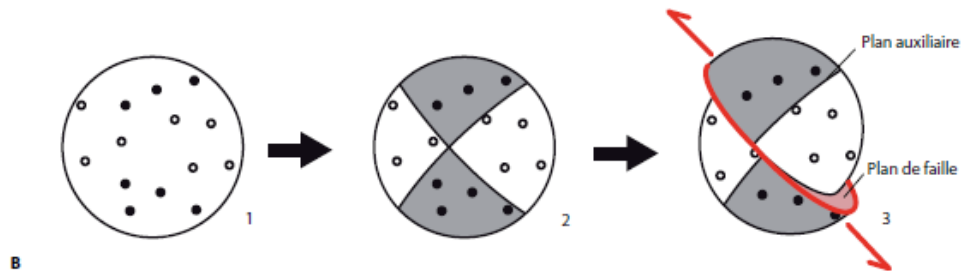
Modèle	RM1		NUVEL-1
Auteurs	Le Pichon, 1968	Minster <i>et al.</i> , 1974	DeMets <i>et al.</i> , 1990
Nombre de plaques	6	10	12 (+2)
Nombre de taux d'expansion	32	68	277
Nombre de directions de failles	65	62	121
Nombre de mécanismes focaux	0	106	724



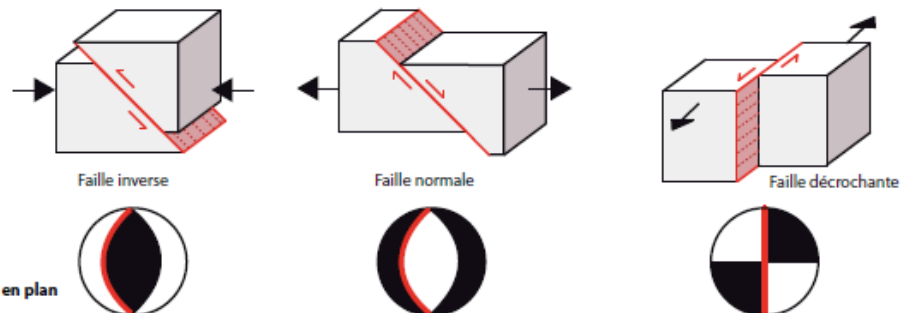
Les « mécanismes focaux » : les mécanismes aux foyers



A Vue en coupe

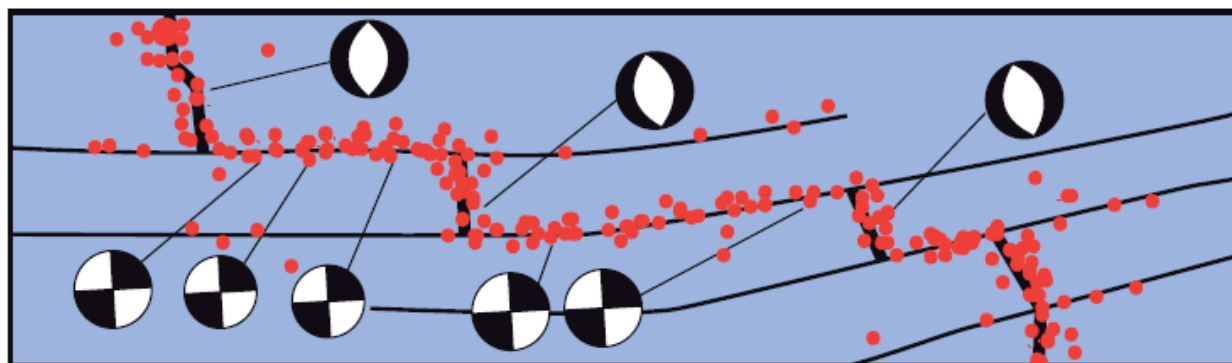
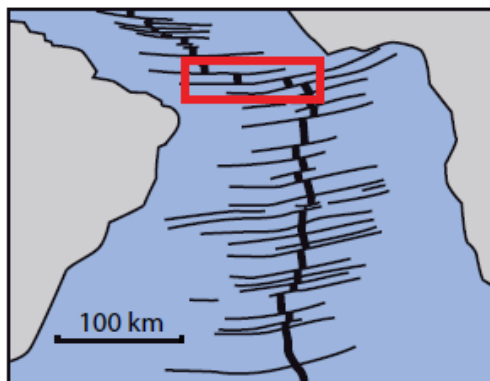


B

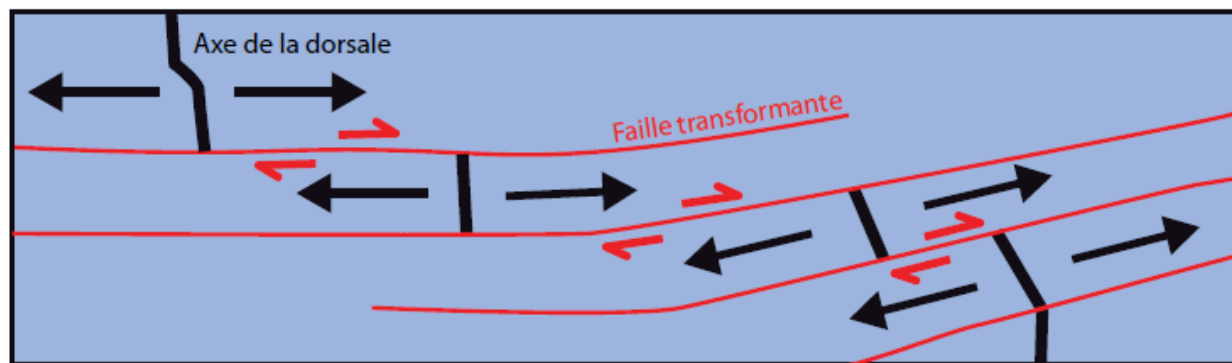


Cue en plan

C

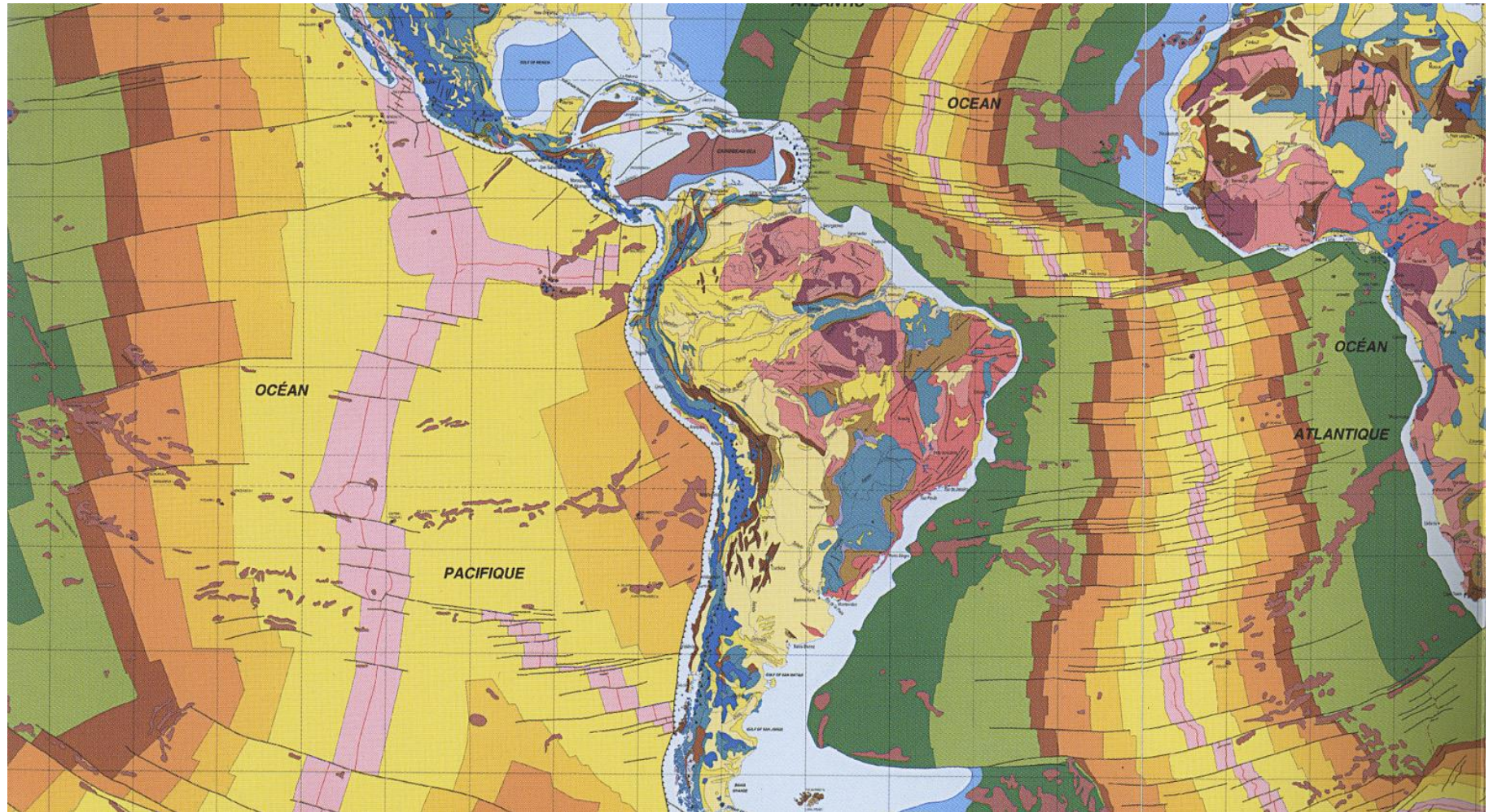


A



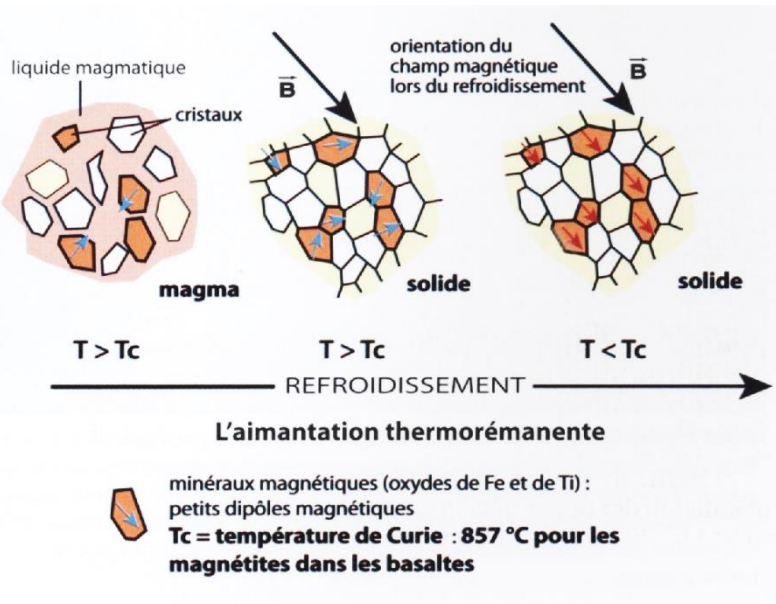
B

Le « taux d'expansion » : interprétation des âges des fonds océaniques

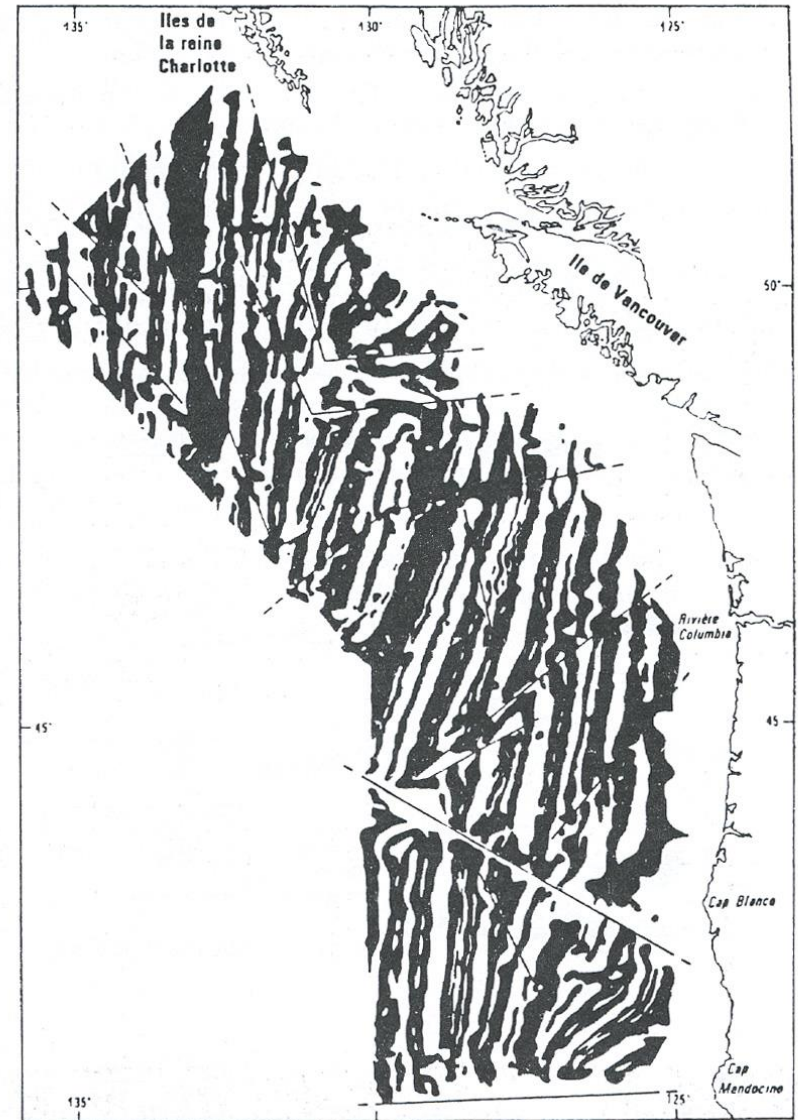


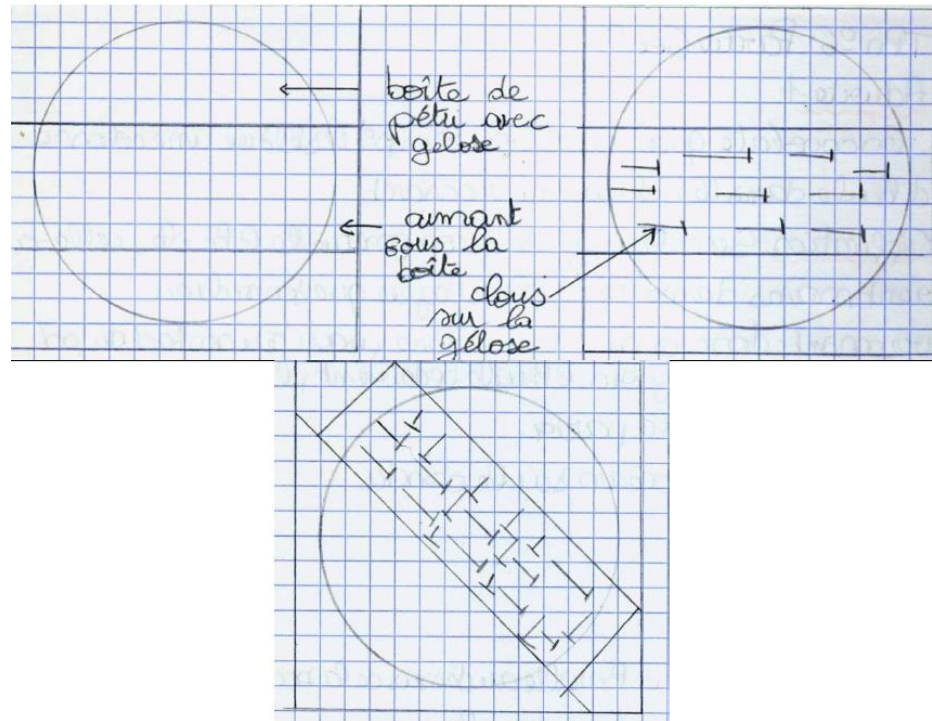
Comment ces âges sont-ils déterminés ?

Le paléomagnétisme



Carte des anomalies magnétiques ou « Peau de Zèbre »





On constate que les clous s'orientent de façon parallèle à l'aimant.

Explication

En suite ils s'orientent suivant le champ magnétique créé par l'aimant situé sous la boîte de pétu.

A nouveau dans cette nouvelle manip les clous prennent bien l'orientation du champ magnétique de l'aimant.

L'aimant correspondrait au champ magnétique terrestre. Les clous représenteraient les éléments ferro-magnétiques (pyroxène, olivine) contenu dans le basalte.

La gelose correspondrait au verre du basalte.

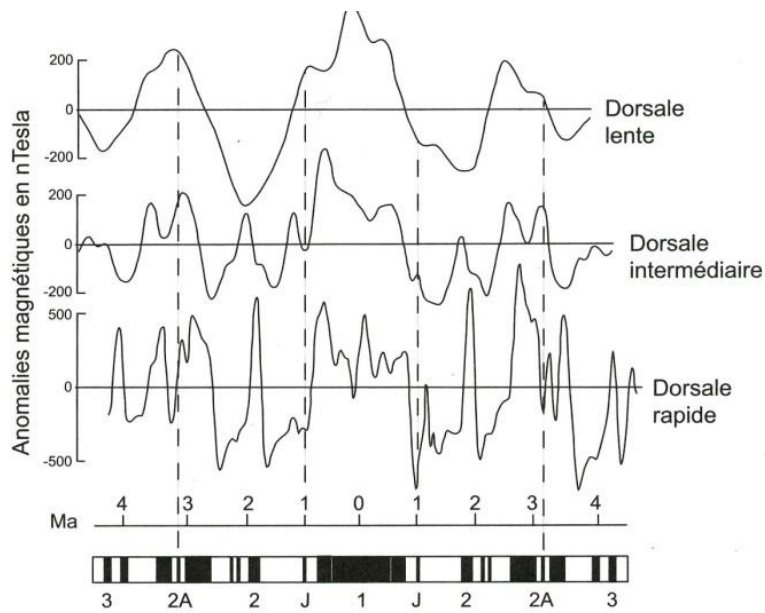
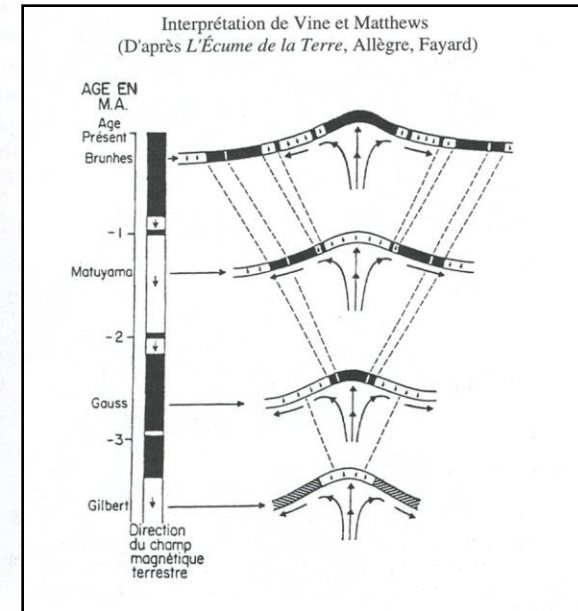


Figure 1.6. Exemples de profils d'anomalies magnétiques au travers de dorsales lente (dorsale médio-atlantique), intermédiaire (dorsale centrale indienne) et rapide (dorsale sud-est indienne). Notez que l'échelle horizontale est en âge et non en distance.

(d'après DeMets *et al.*, 1994)

âge (Ma)	polarité	époques majeures de polarité
0,5		époque normale Brunhes
1,0		époque inverse Matuyama
1,5		
2,0		
2,5		
3,0		époque normale Gauss
3,5		époque inverse Gilbert
4,0		
4,5		

a Échelle des inversions magnétiques sur 5 millions d'années.



La vitesse d'ouverture des dorsales océaniques est moyennée sur les 3 derniers millions d'années

Anomalies magnétiques et biostratigraphie

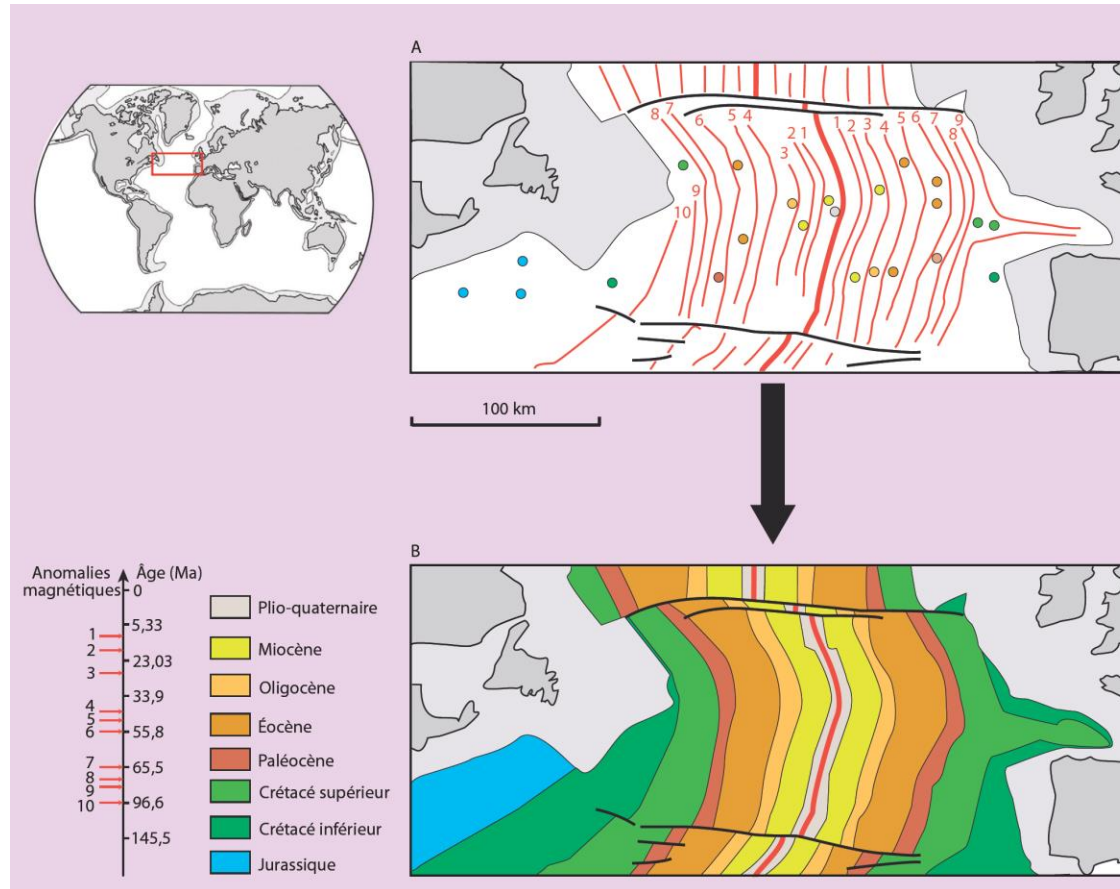
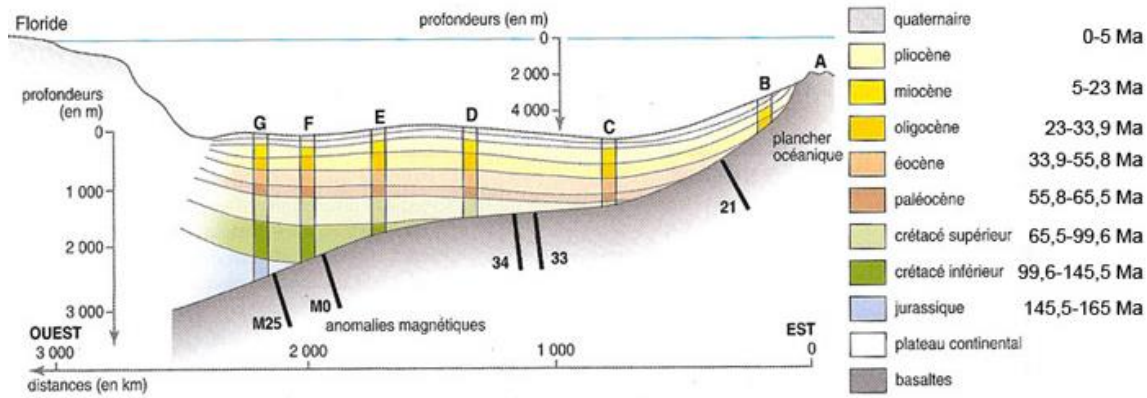
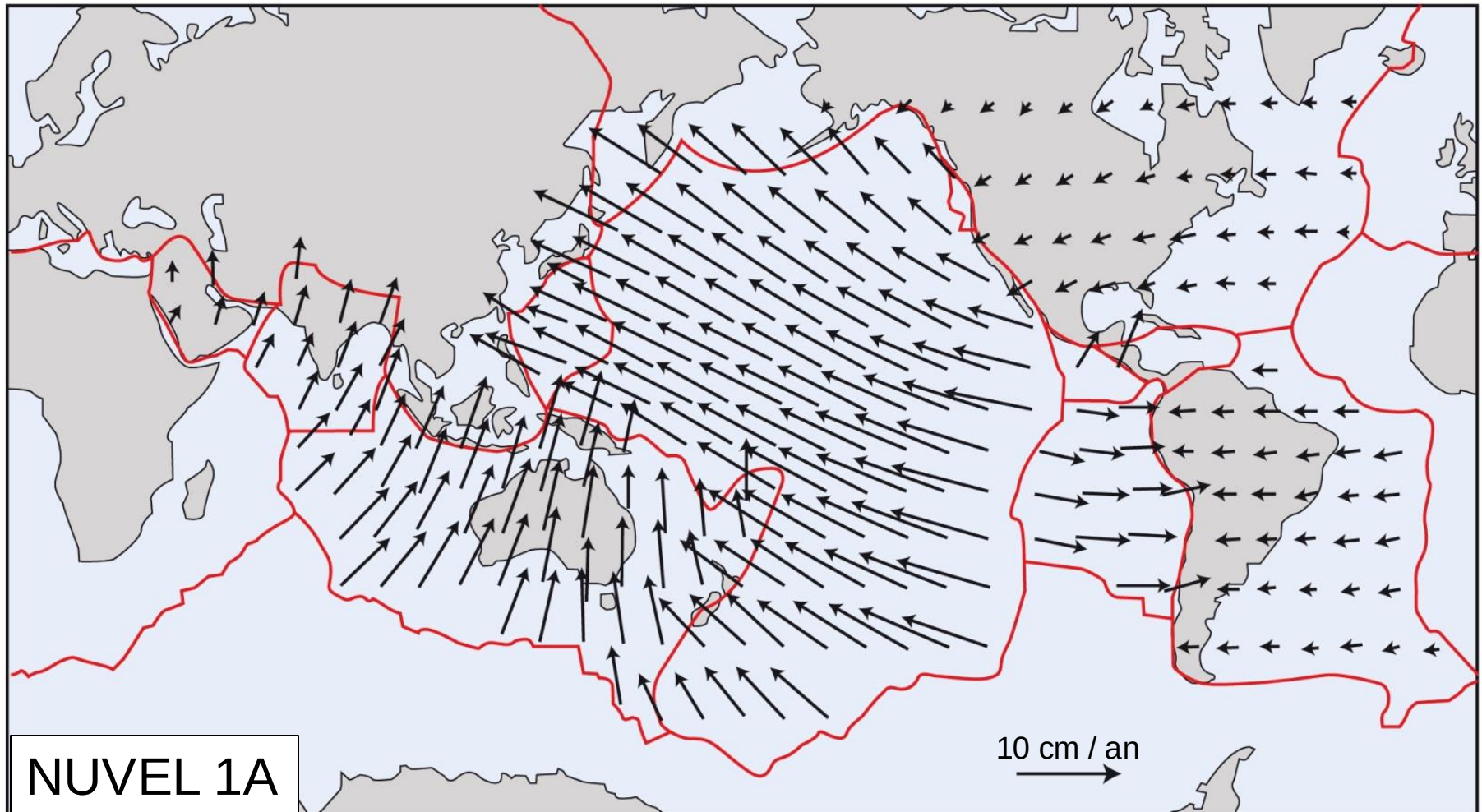


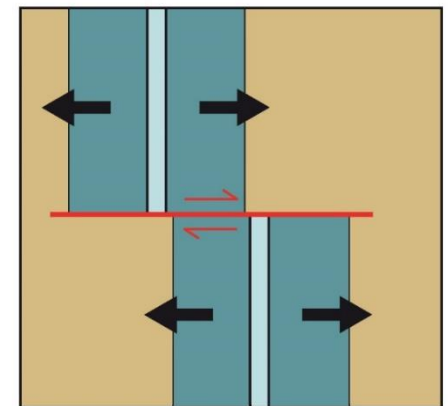
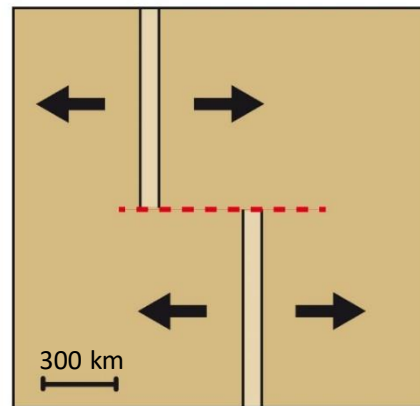
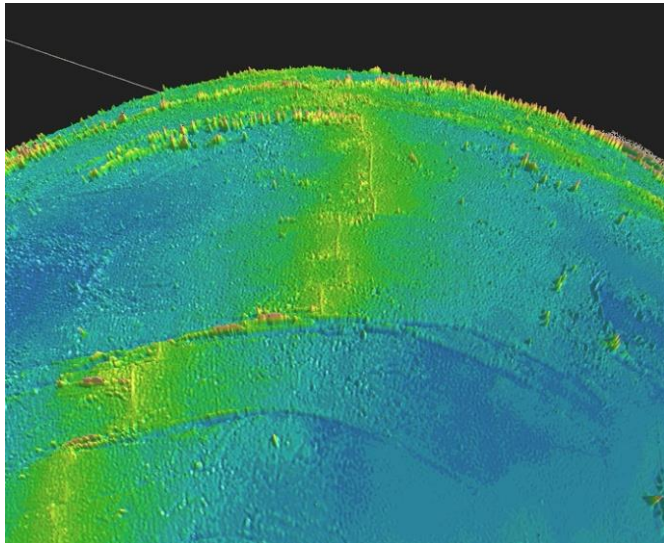
Tableau 6.1. Comparaison du nombre de données utilisées pour les modèles Le Pichon, RM1 et NUVEL-1

Modèle	RM1		NUVEL-1
Auteurs	Le Pichon, 1968	Minster <i>et al.</i> , 1974	DeMets <i>et al.</i> , 1990
Nombre de plaques	6	10	12 (+2)
Nombre de taux d'expansion	32	68	277
Nombre de directions de failles	65	62	121
Nombre de mécanismes focaux	0	106	724

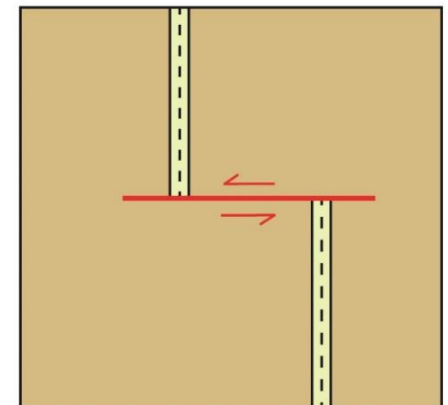
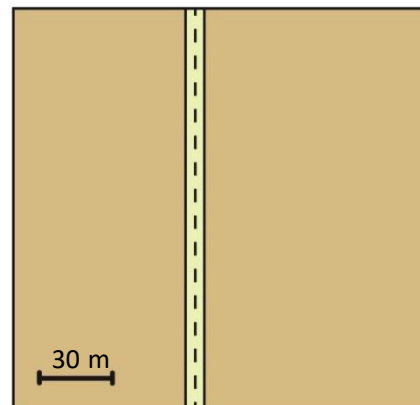


La « direction des failles » ... transformantes

Faïlle transformante : faille lithosphérique permettant la « transformation » d'un mouvement en un autre.
elle relie deux rifts, ou deux fosses, ou un rift et une fosse.

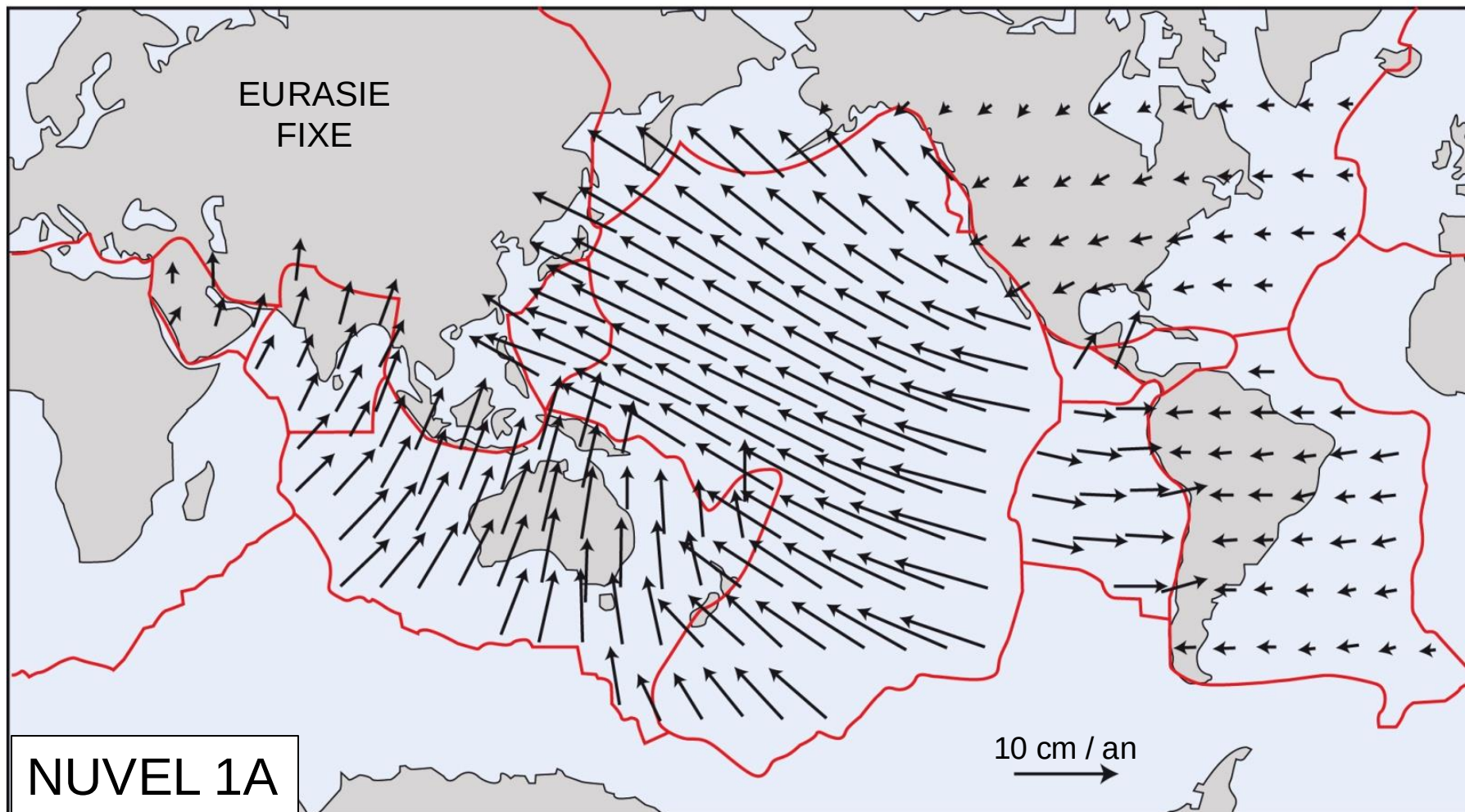


faïlle transformante



faïlle décrochante

direction des failles	→	direction du mouvement
mécanismes focaux	→	sens du mouvement
taux d'expansion	→	vitesse de déplacement



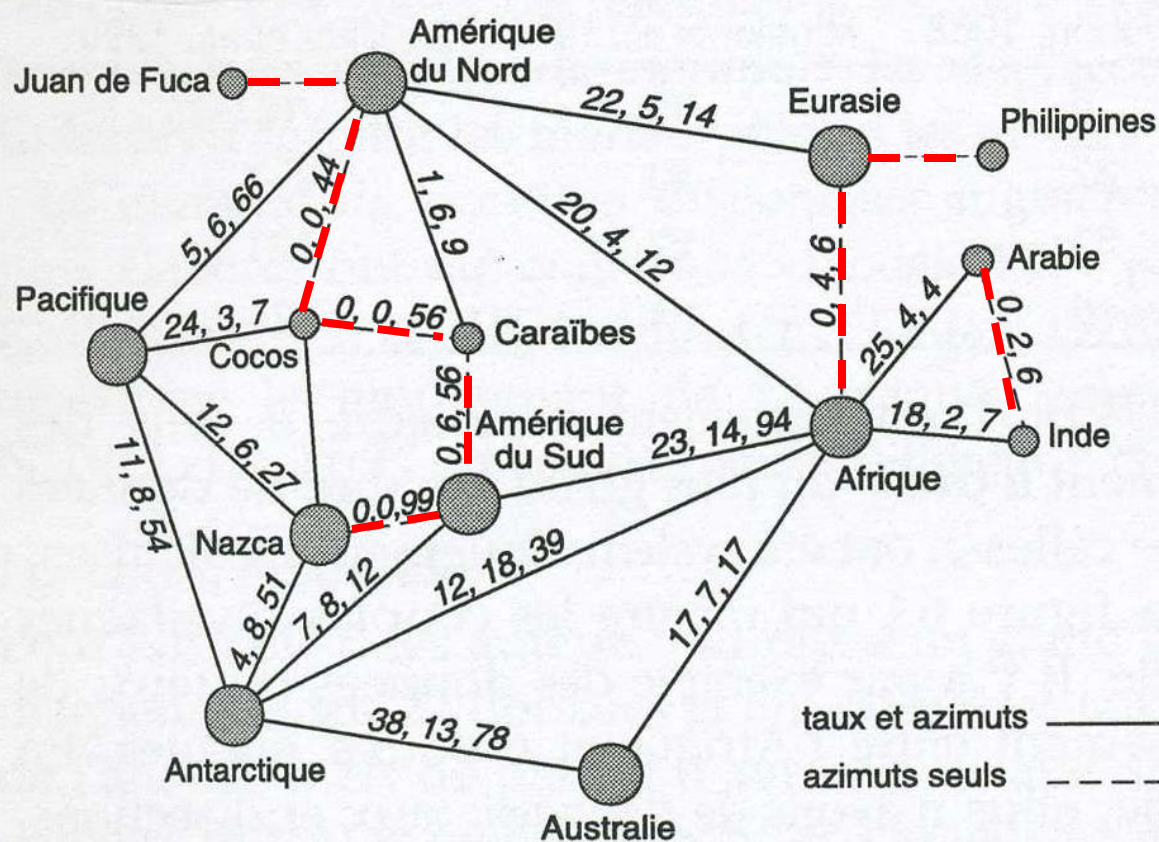
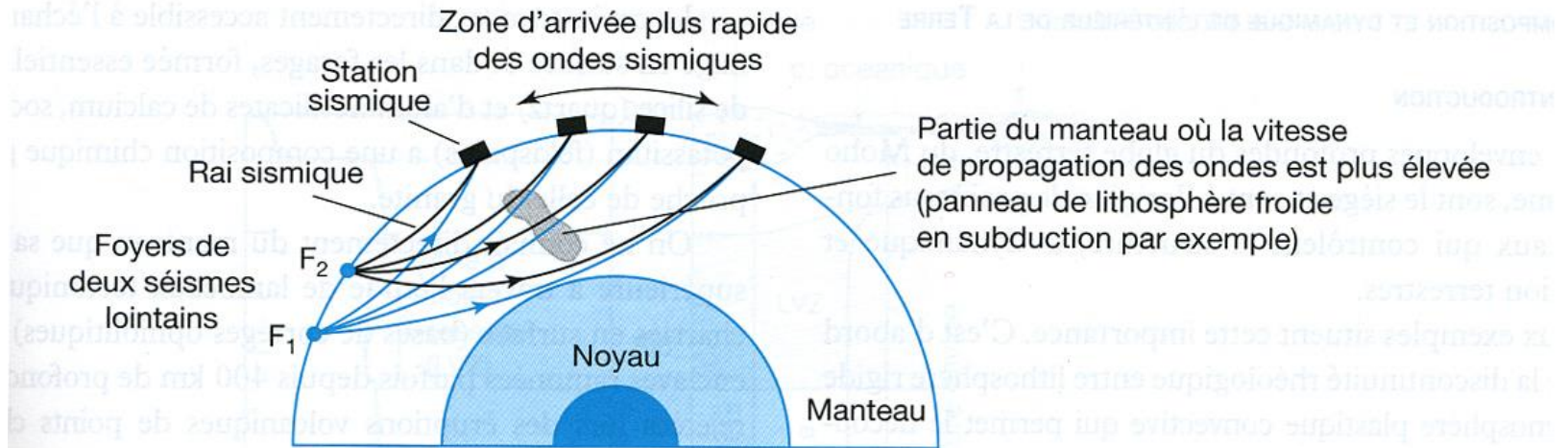
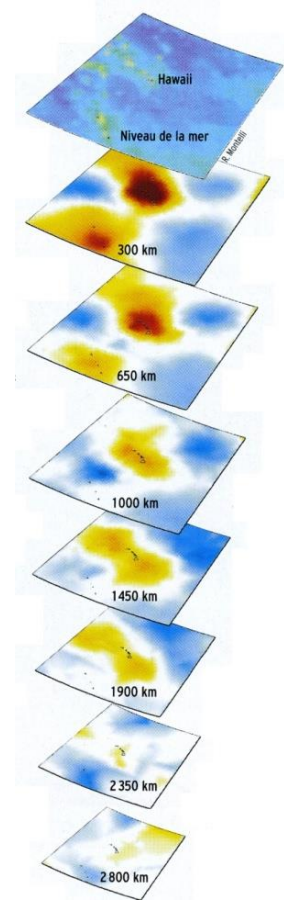
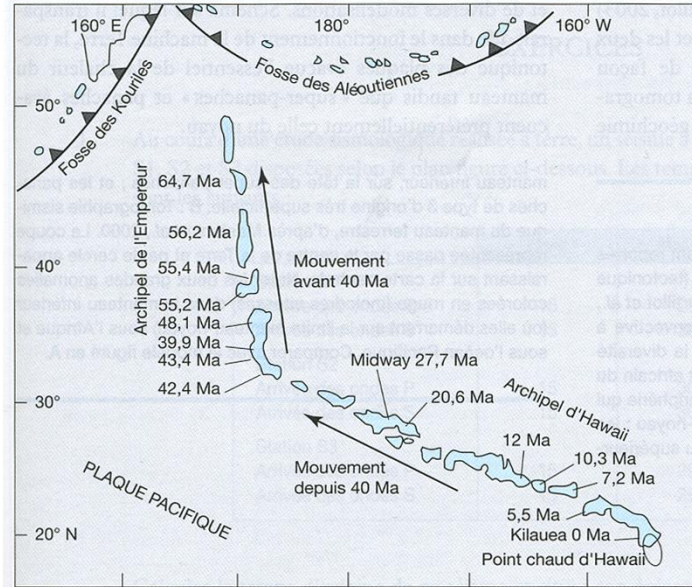


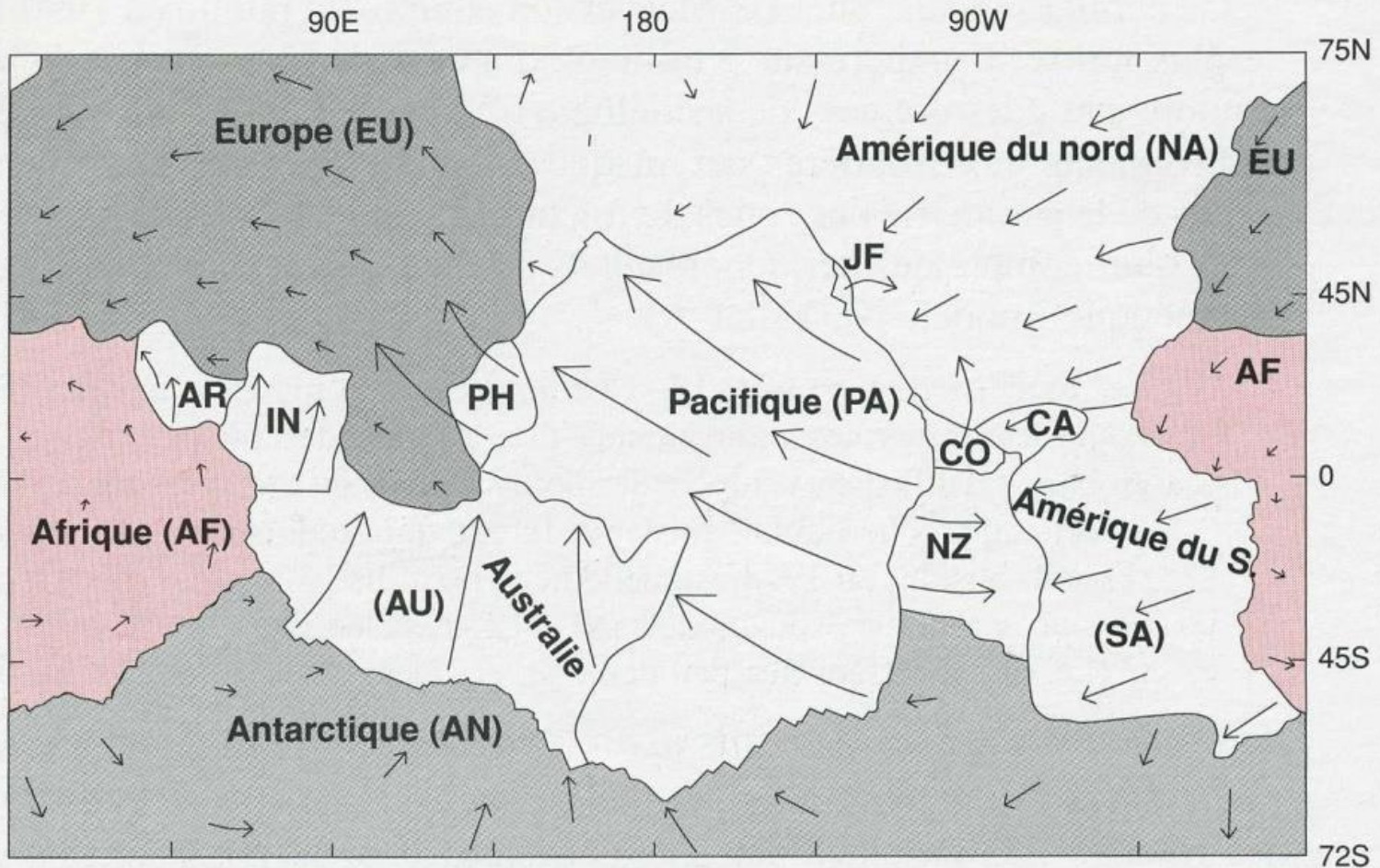
Figure 6.1. Schéma des relations entre les différentes plaques décrites dans le modèle NUVEL-1 (figure retracée d'après DeMets et al., 1994). Les traits pleins relient les plaques pour lesquelles les auteurs ont des données de vitesse, de direction de failles et de glissement ; les traits en pointillé relient celles pour lesquelles ils n'ont que des directions de failles ou de glissement, mais pas de vitesses. Les nombres le long des lignes, donnent dans l'ordre : le nombre de taux d'expansion, le nombre de directions de failles transformantes et le nombre de directions de glissement introduits dans le calcul du modèle NUVEL-1.

— — — Les vitesses en frontières convergents sont déduites

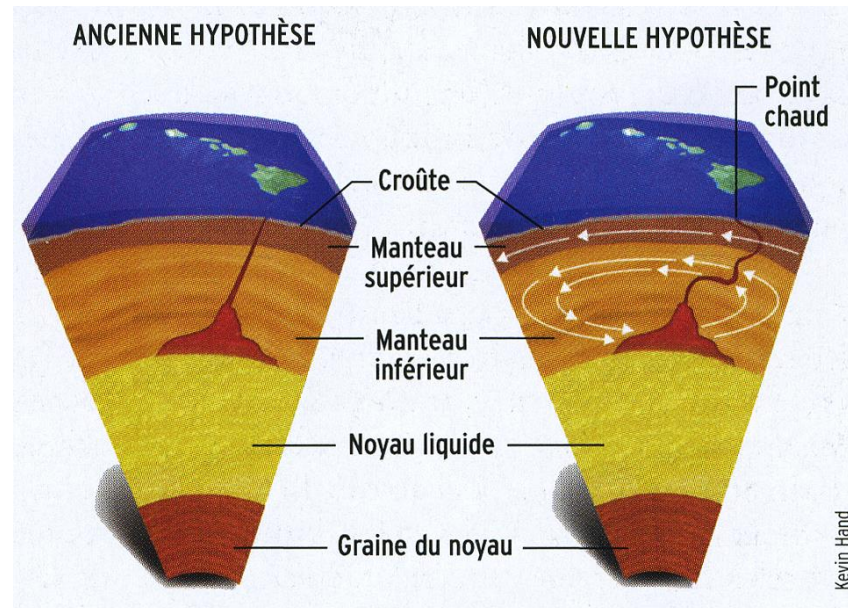
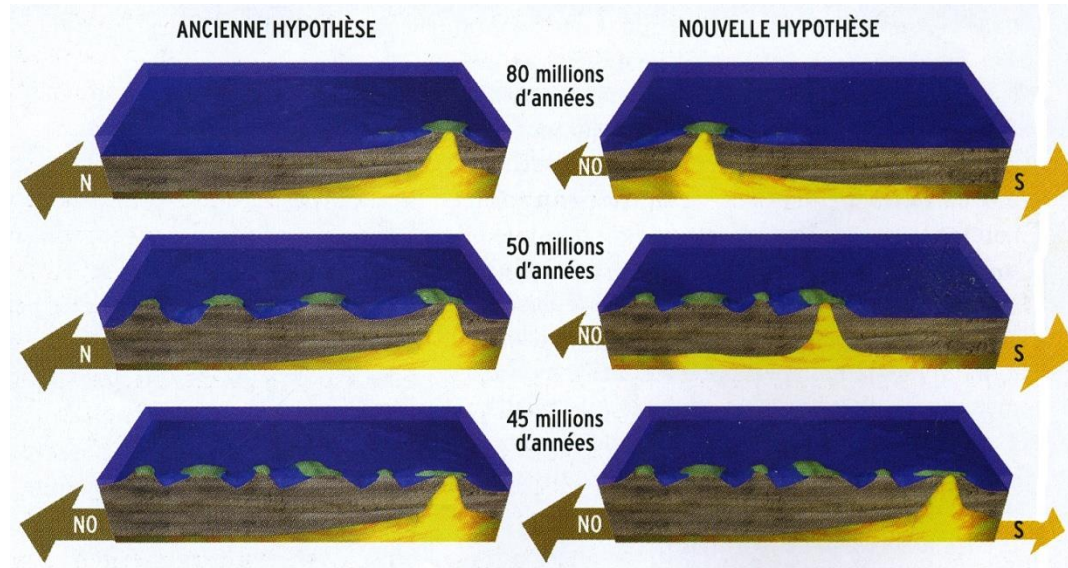
La cinématique « absolue »



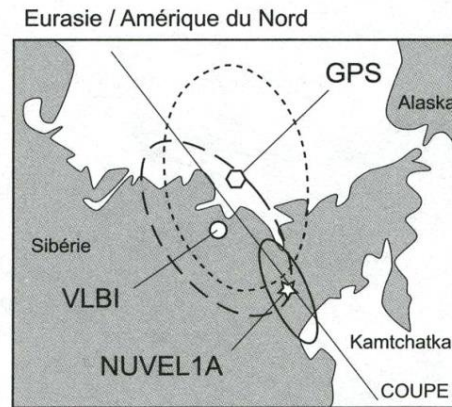
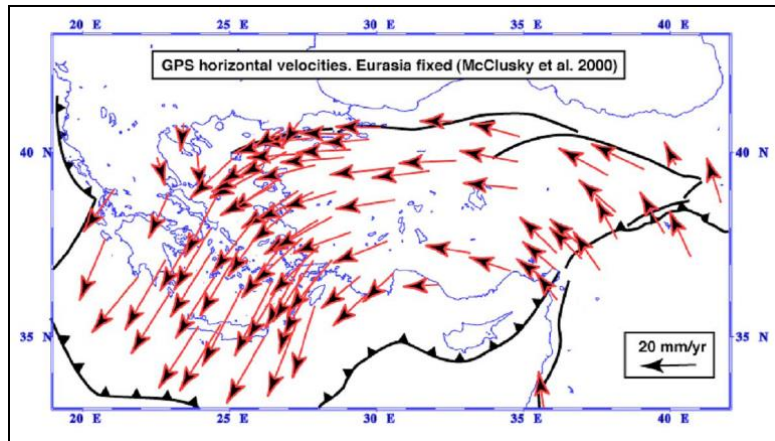
Modèle cinématique dans le repère des points chauds



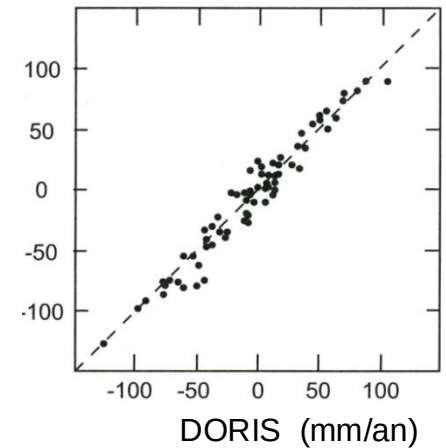
des points chauds pas réellement fixes...



Les données satellitaires (ou géodésiques)



NUVEL 1 (mm/an)



...confirment les données des modèles « classiques »

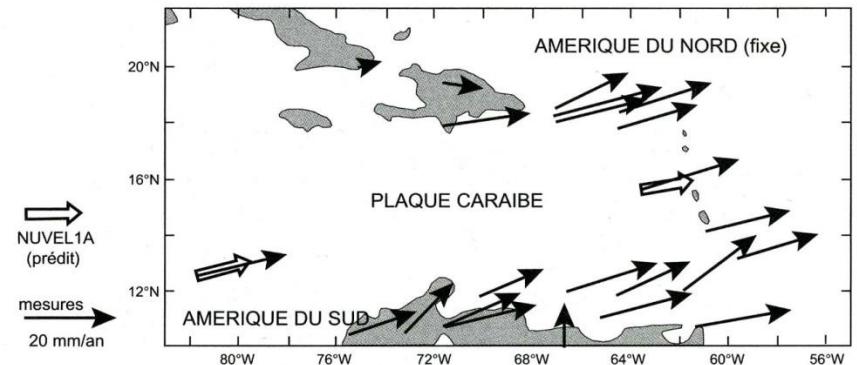
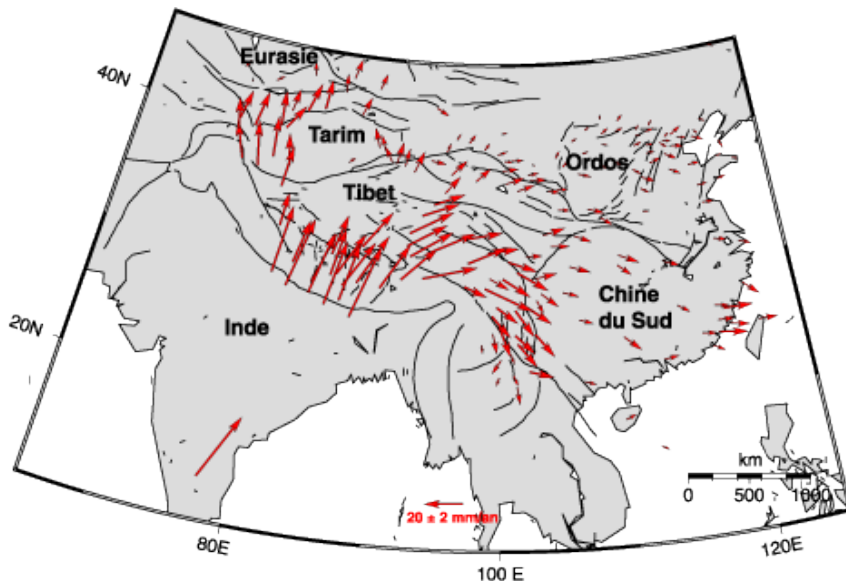
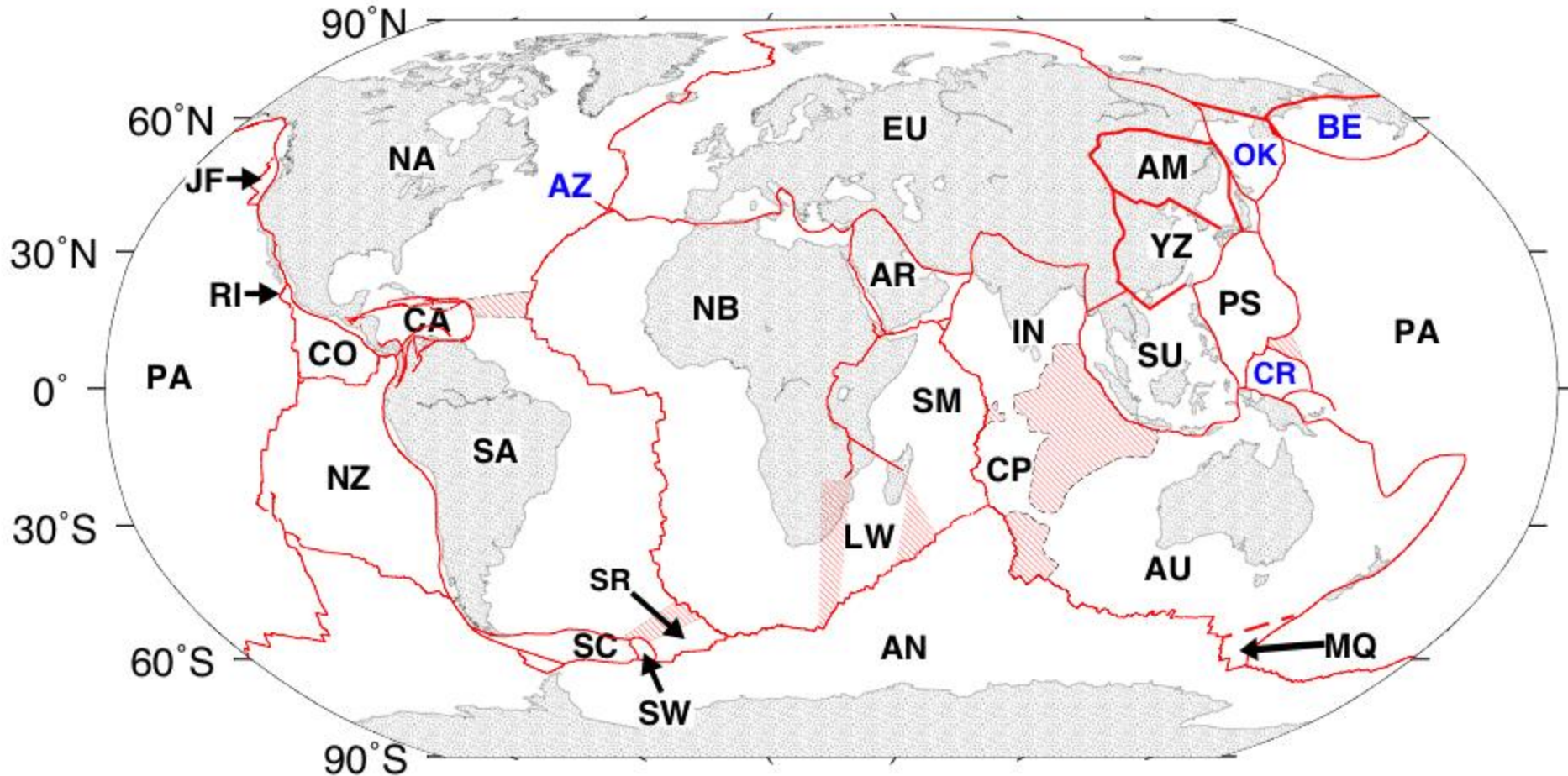


Figure 1.25. Mesures géodésiques sur et autour de la plaque caraïbe comparées aux prédictions du modèle NUVEL 1A

(d'après Kreemer et al., 2003)

...précisent la cinématique des zones convergentes

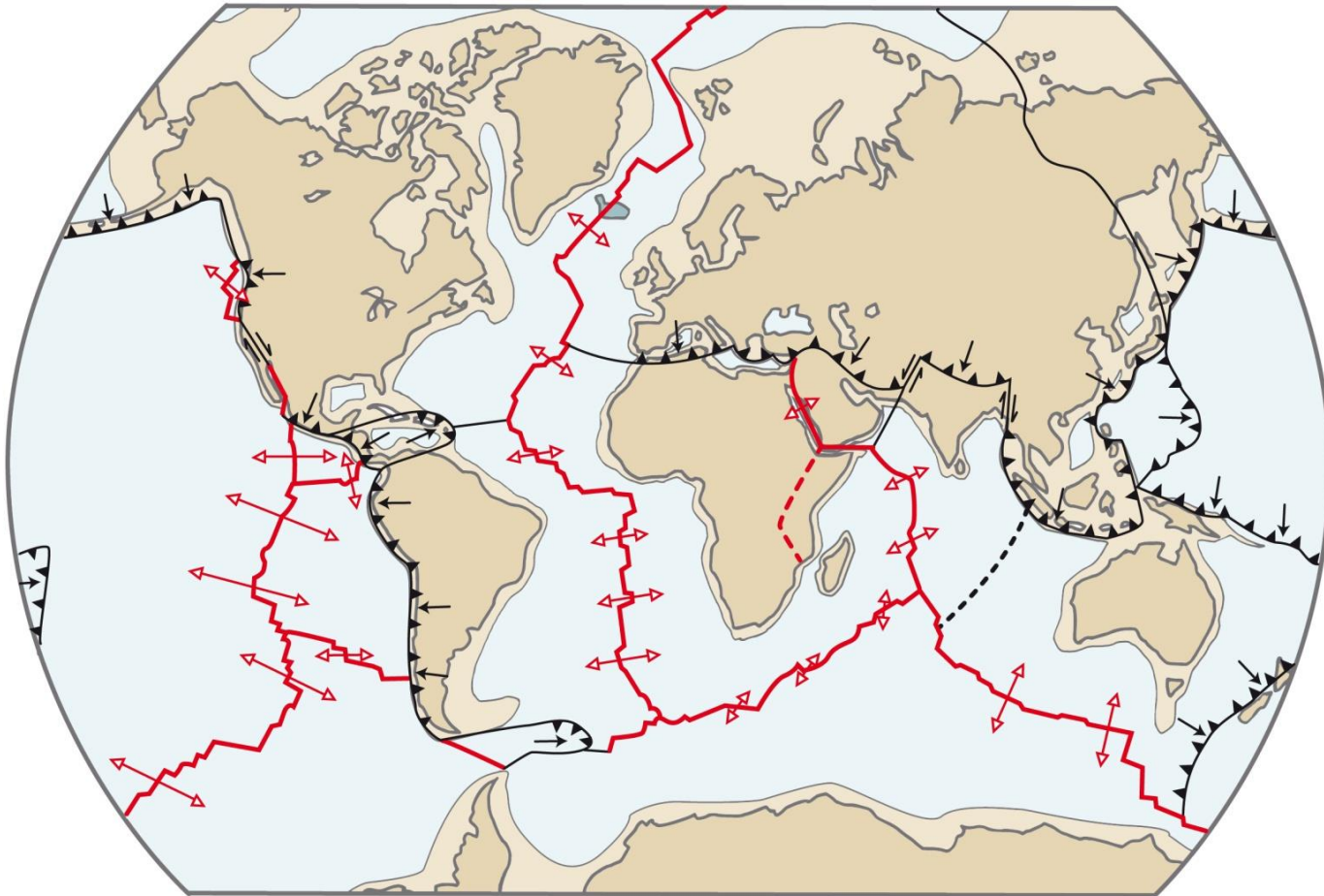
Le modèle **MORVEL** (2010) : **M**id-**O**cean **R**idge **VE**LOCITY



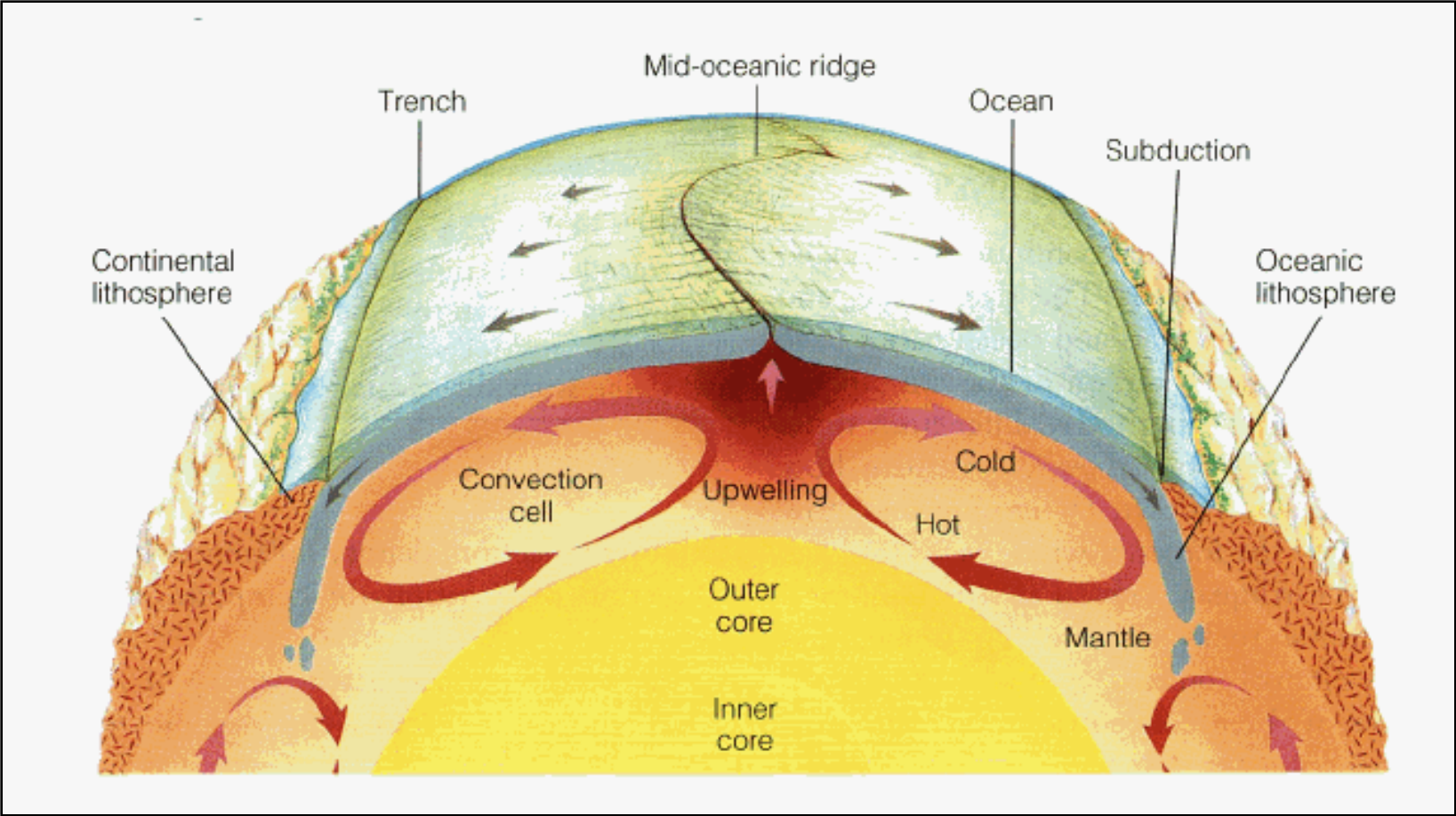
- 25 plaques !
- Intègre des données géologiques et géodésiques !

BO : « La lithosphère terrestre est découpée en plaques animées de mouvements. Le mouvement des plaques, dans le passé et actuellement, peut être quantifié par différentes méthodes géologiques : études des anomalies magnétiques, mesures géodésiques, détermination de l'âge des roches par rapport à la dorsale, alignements volcaniques liés aux points chauds.

La distinction de l'ensemble des indices géologiques et les mesures actuelles permettent d'identifier des zones de divergence et des zones de convergence aux caractéristiques géologiques différentes (marqueurs sismologiques, thermiques, pétrologique). »

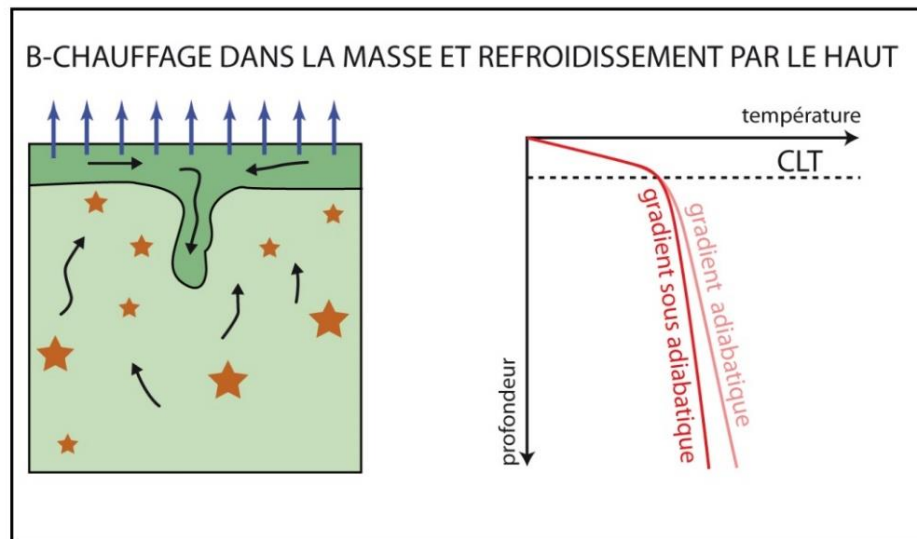
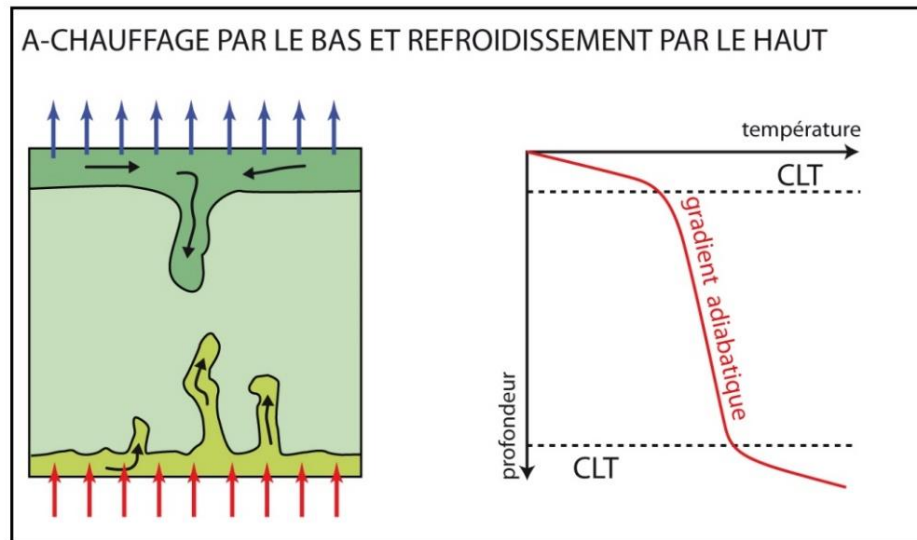


III-Lien entre le mouvement des plaques et la convection

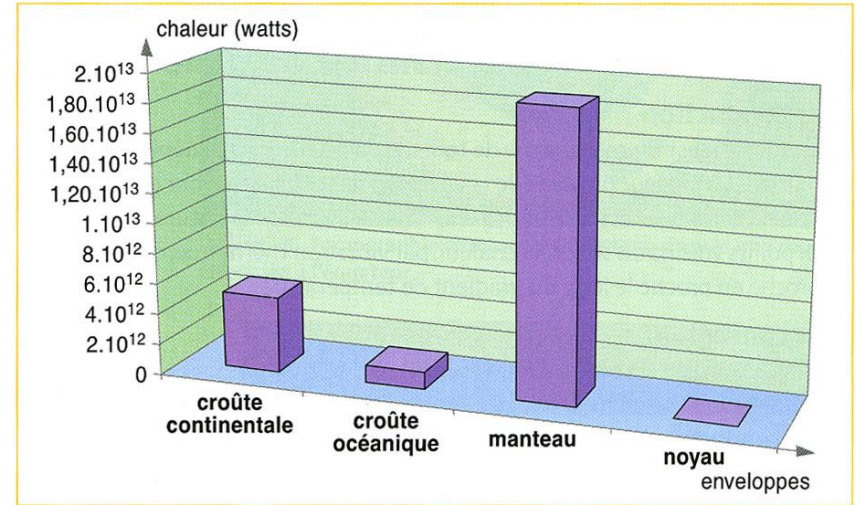
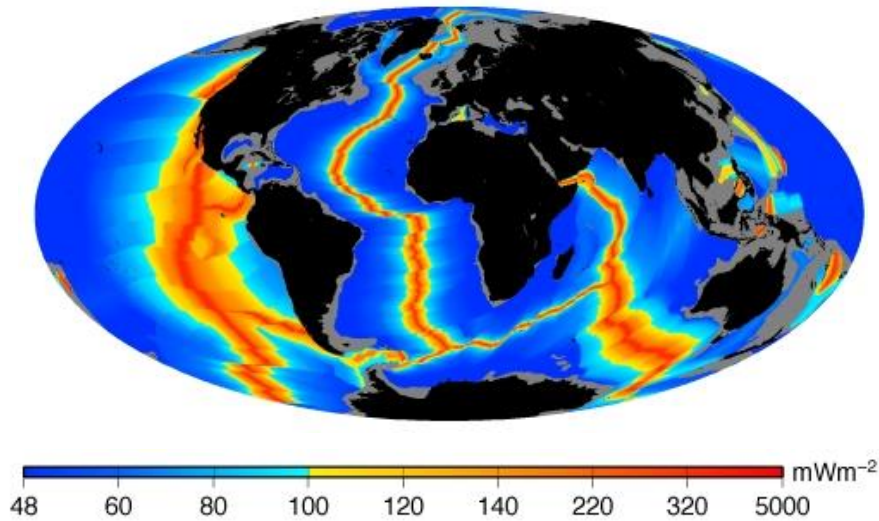


« les cellules de convection entraînent les plaques lithosphériques »

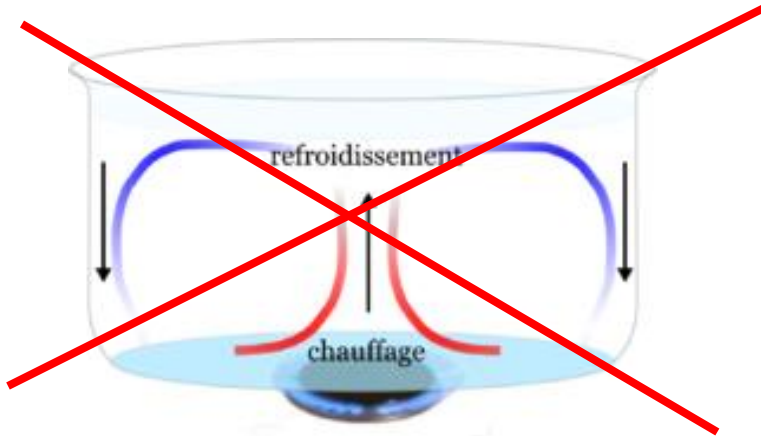
Mouvements de convection = mouvements engendrés par des différences de masse volumique « inverse ».



La convection mantellique : mise en évidence et origine



Taux de chaleur dégagée par les isotopes radioactifs pour les différentes enveloppes terrestres.



Le manteau n'est pas chauffé par le bas mais **essentiellement dans sa masse** (manteau) et refroidi par le haut

Comment le manteau peut-il entrer en convection?

Mouvements de convection = mouvements engendrés par des différences de masse volumique « inverse ».

Critère de Seuil

Pour que l'instabilité se déclenche, il faut que:

Pour un temps donnée (ou la diffusion est négligeable), la force motrice (force d'Archimède) > La force de résistance (force visqueuse), d'où

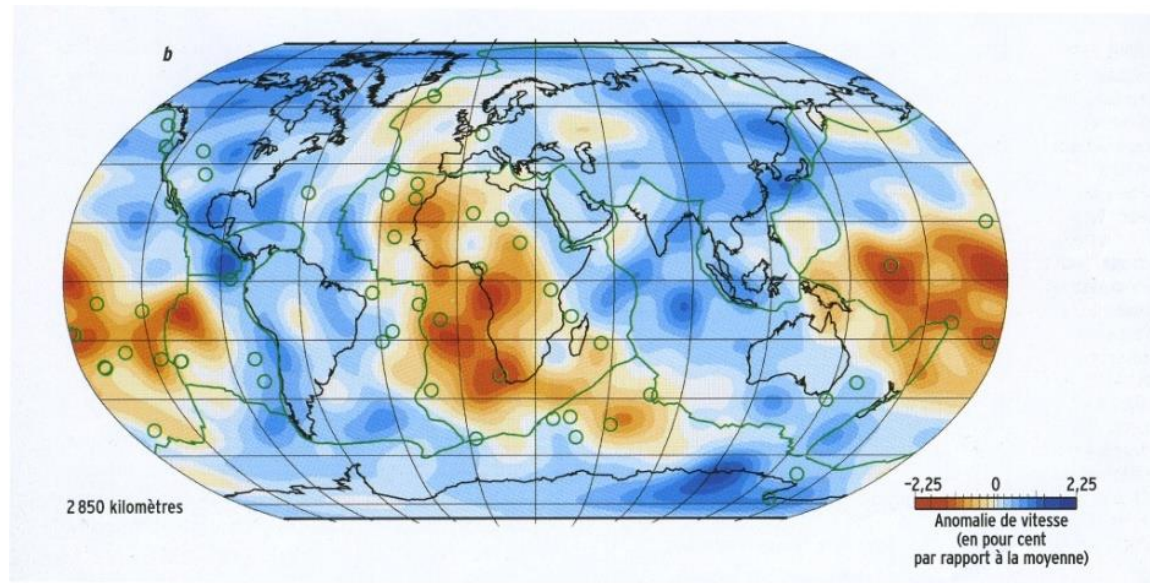
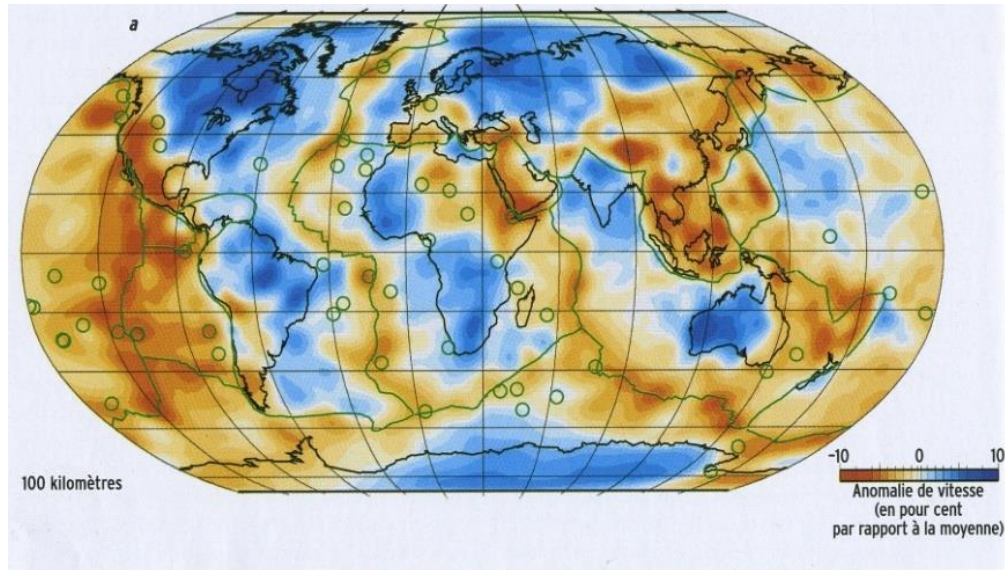
$$Ra = \frac{\alpha \cdot \Delta T \cdot g \cdot d^3}{\nu \cdot \kappa}$$

avec **Ra** est le nombre de **Rayleigh**, avec **α** le coefficient de dilatation thermique, **g** l'accélération de la gravité, **ΔT** une différence de température sur une hauteur **d** (dimension caractéristique du système), **ν** la viscosité et **κ** la diffusivité thermique

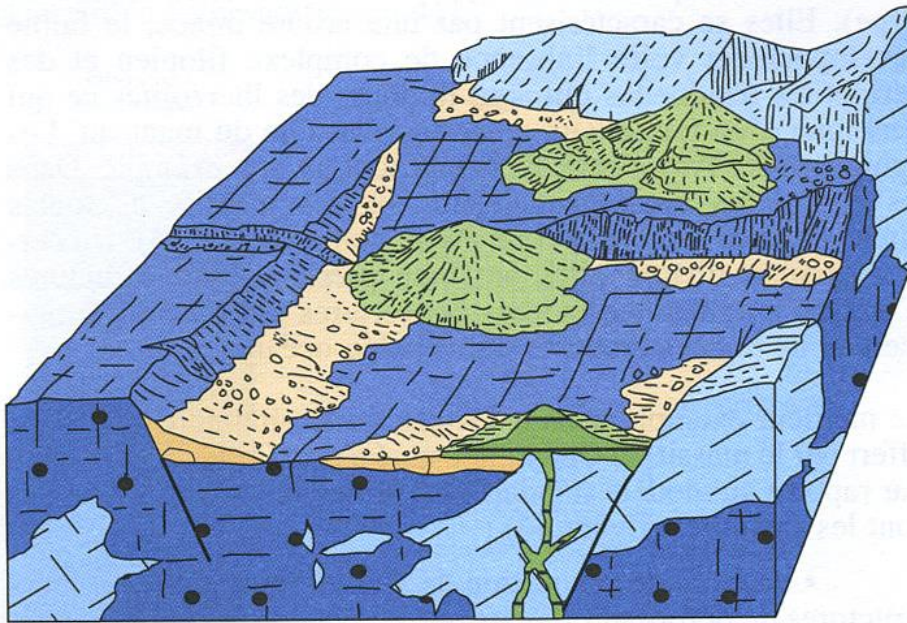
C'est un nombre sans dimension, un nombre critique !

C'est physiquement possible car $Ra_{\text{manteau}} = 10^7 \text{ à } 10^8 \gg 2000$

Une dorsale n'est pas « branchée » sur la partie ascendante d'une grande cellule de convection.

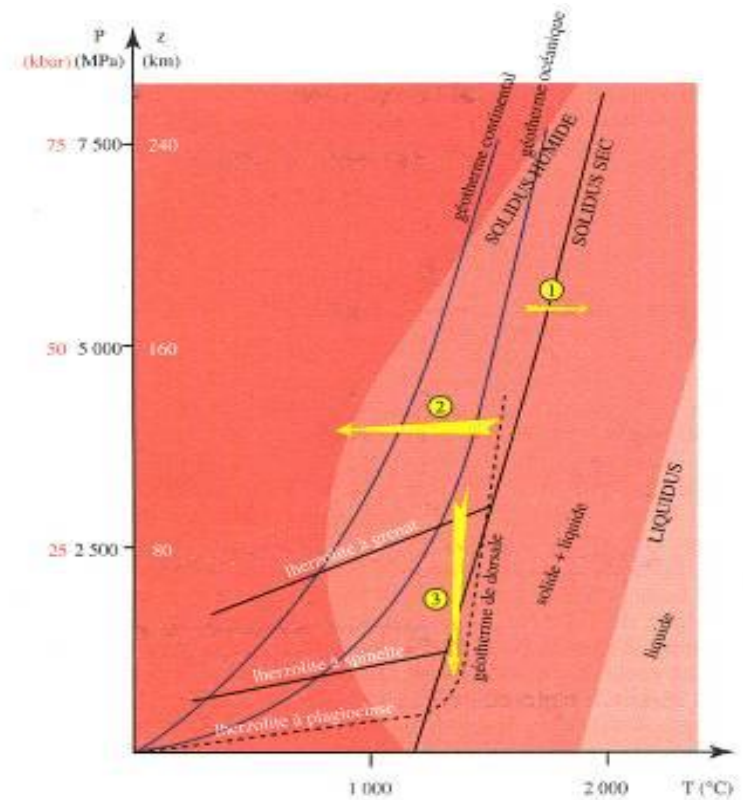


Le magmatisme n'est pas le moteur de l'écartement...



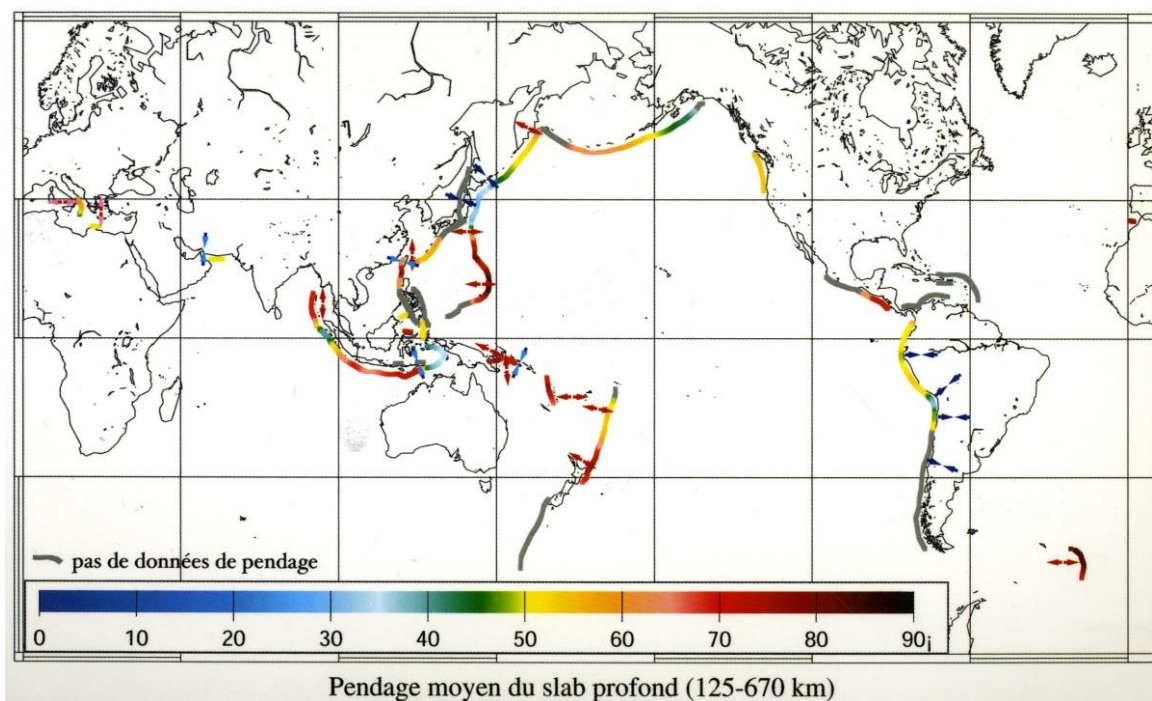
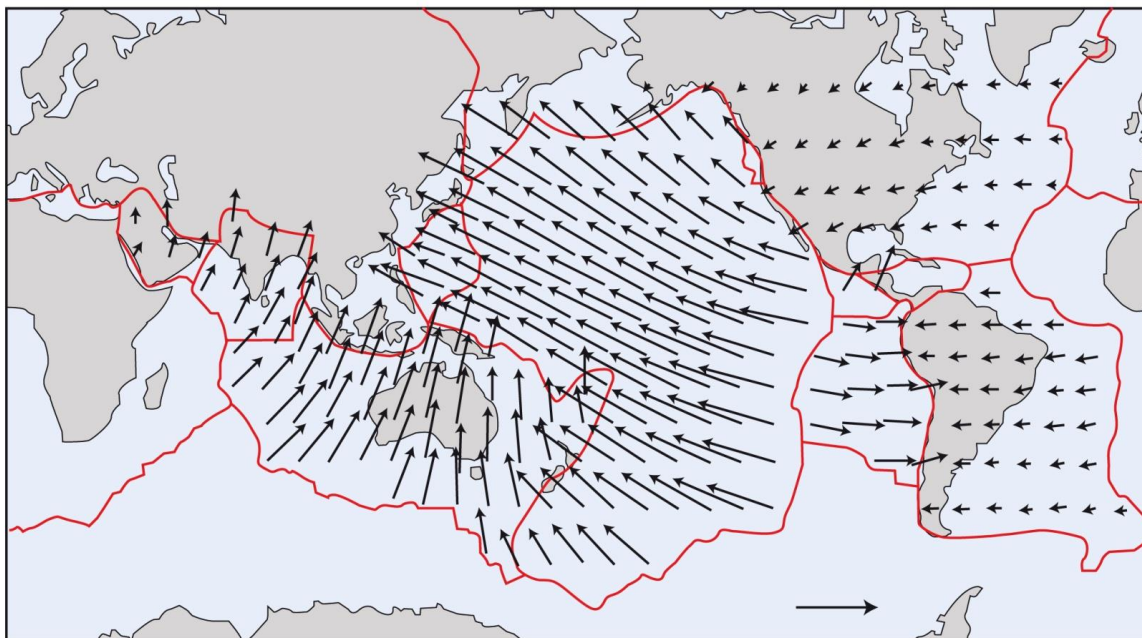
	Serpentinites		Détritisme océanique
	Méta-gabbros		Volcans sous-marins et coulées de pillow-lavas

Modèle de fonds océaniques alpins construit à partir de l'étude des ophiolites (d'après Lagabriele et Cannat).

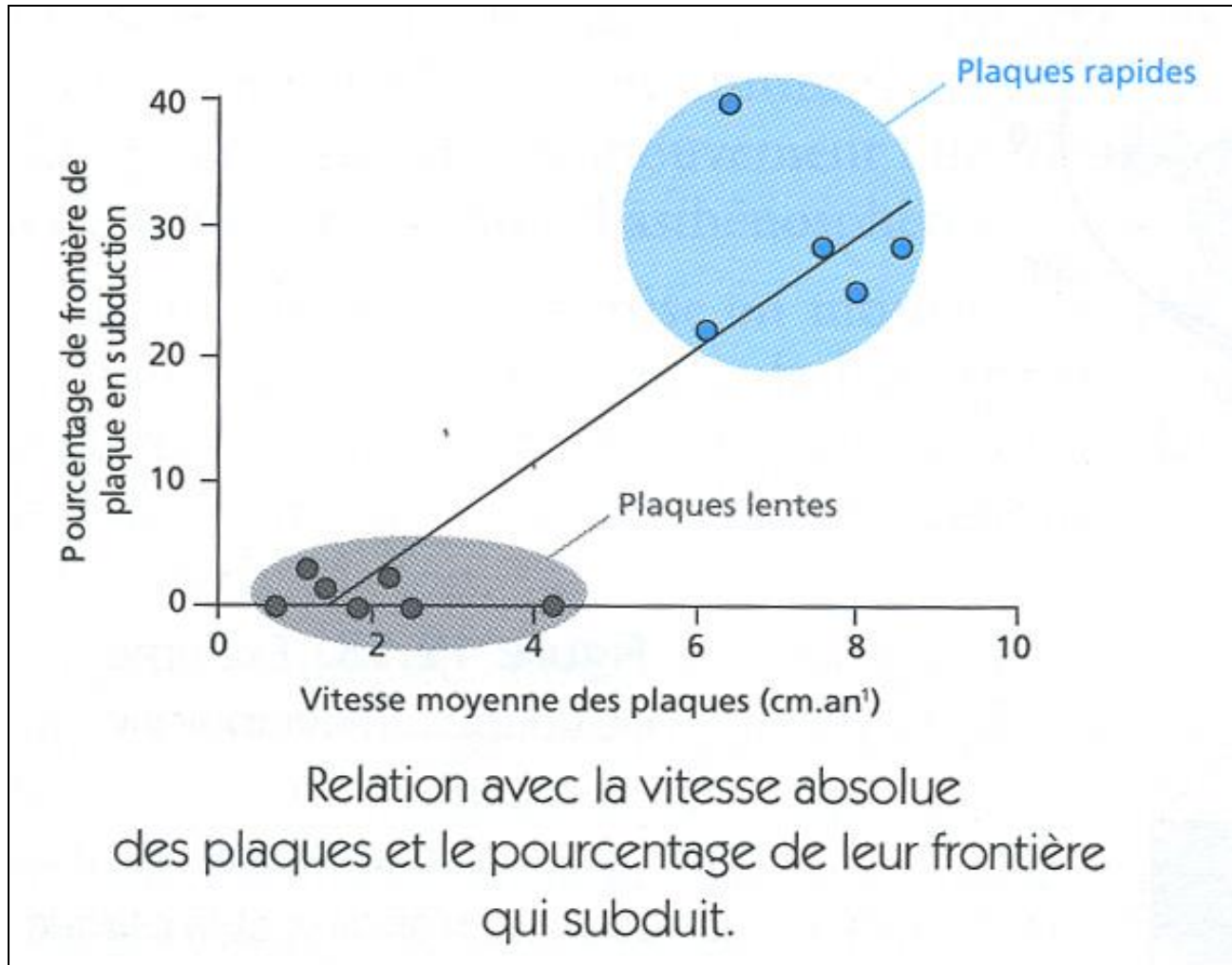


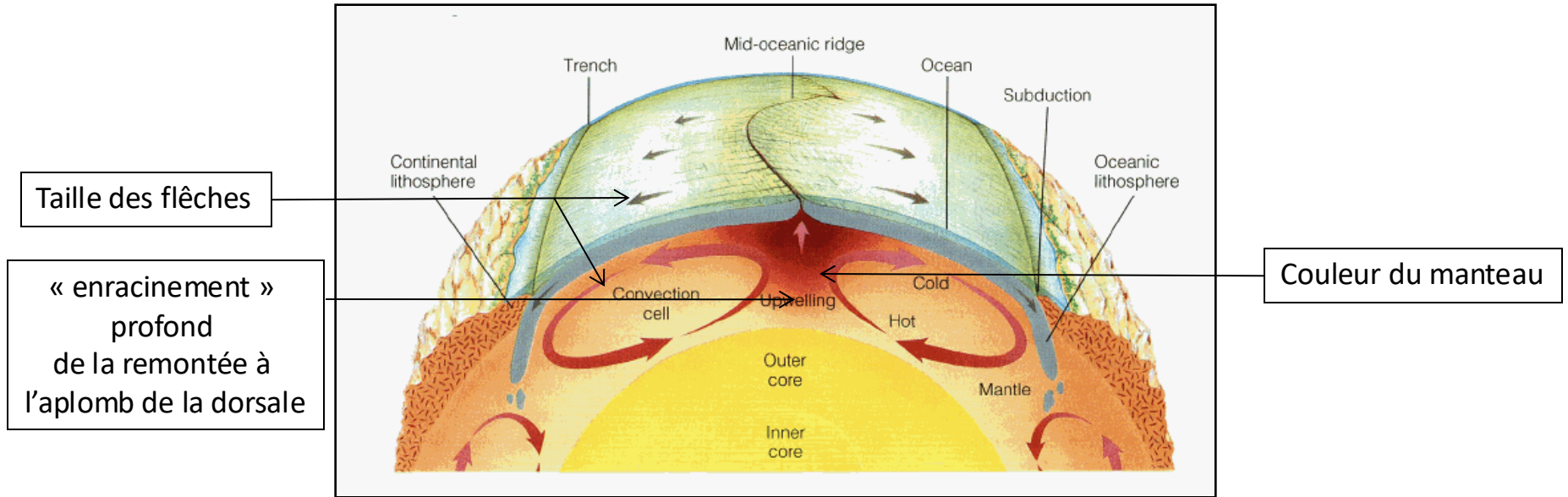
Comprendre et enseigner la planète Terre - OPHRYS

...puisque'il existe des dorsales (lentes) amagmatiques.



Les plaques les plus rapides possèdent des frontières en subduction

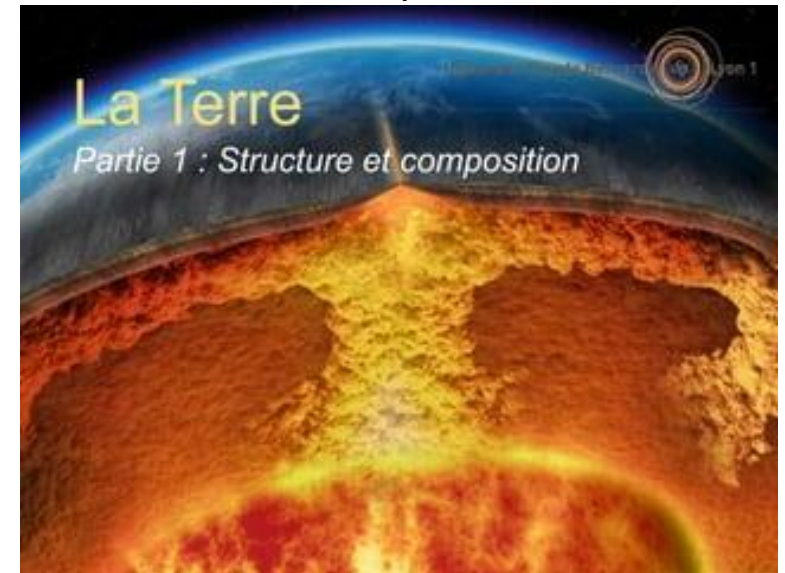
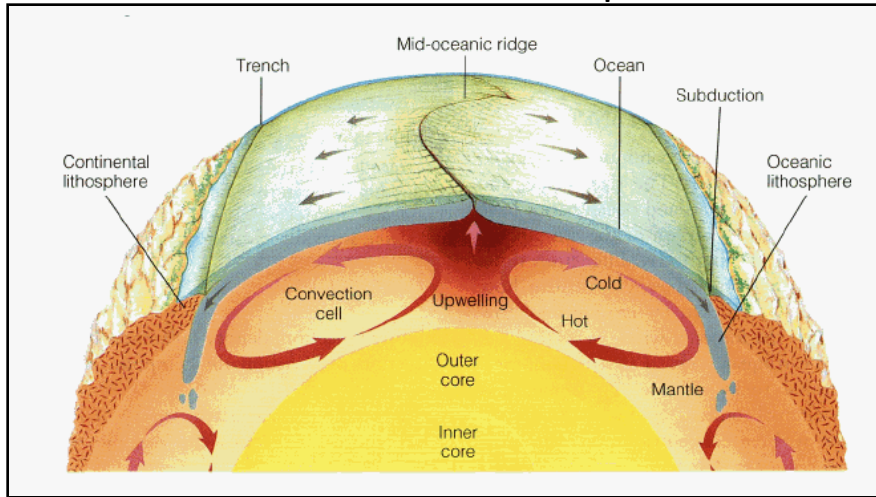




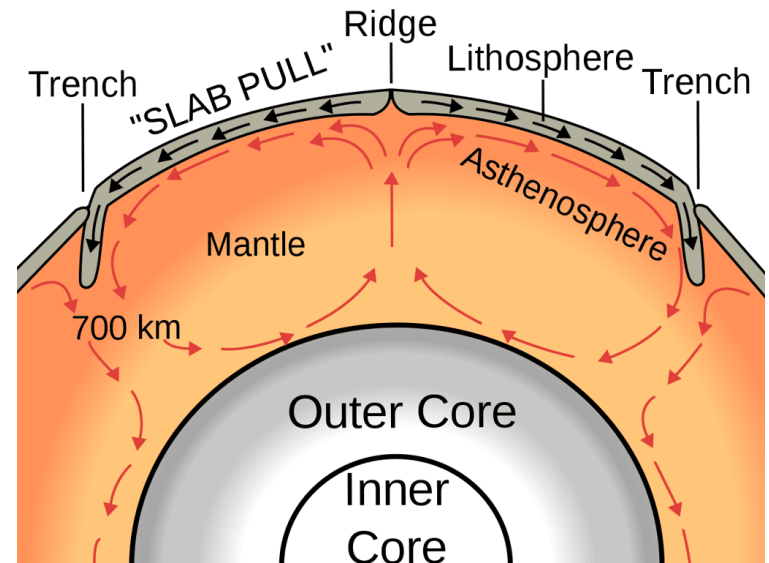
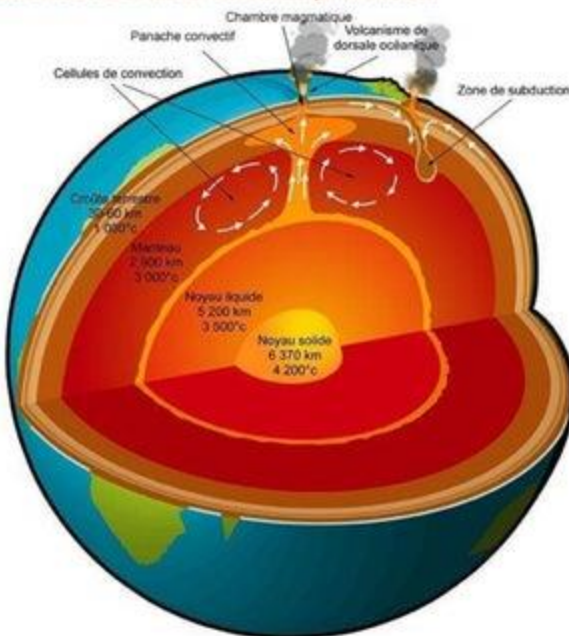
Attention aux représentations de la convection mantellique

Attention aux représentations de la convection mantellique

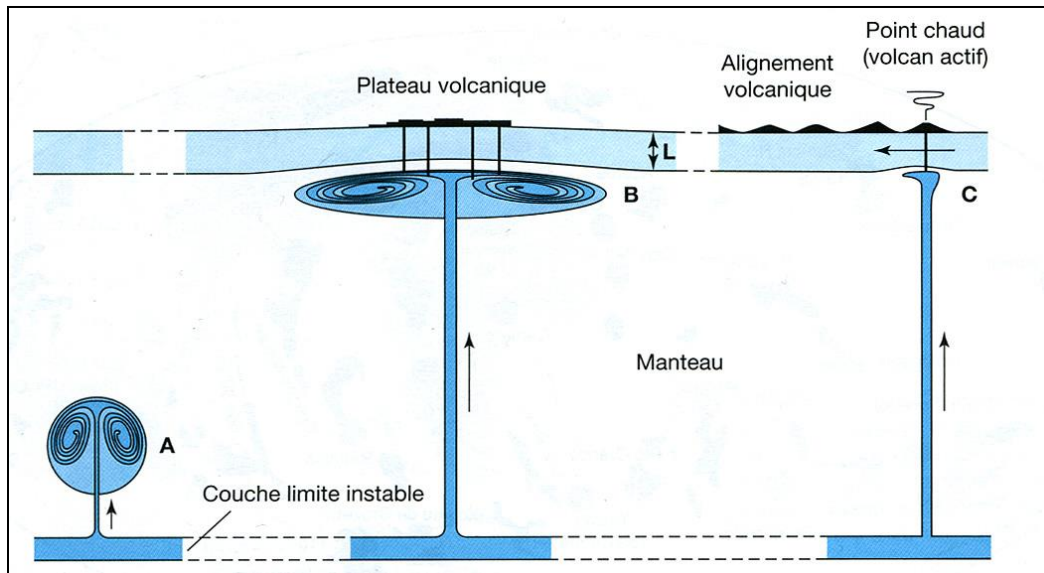
Attention aux représentations de la convection mantellique



3) La structure de la Terre en profondeur

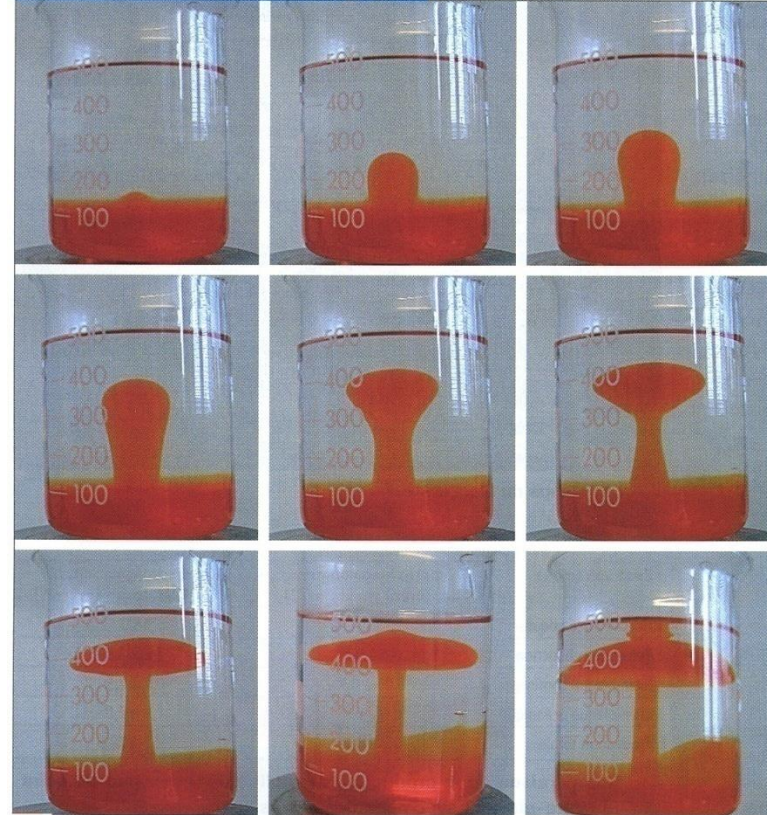


Des remontées profondes existent également



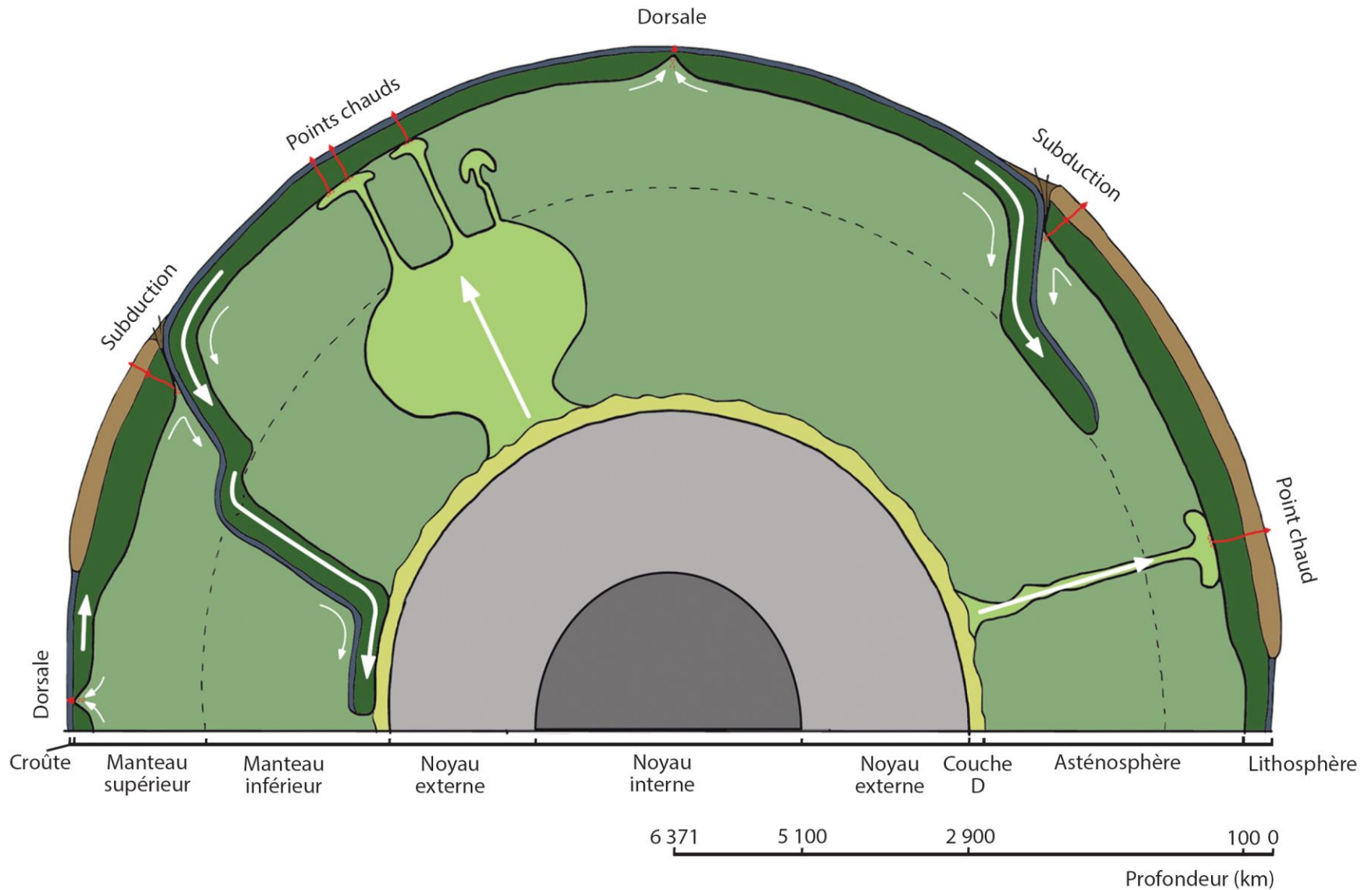
Sciences de la Terre et de l'Univers - VUIBERT

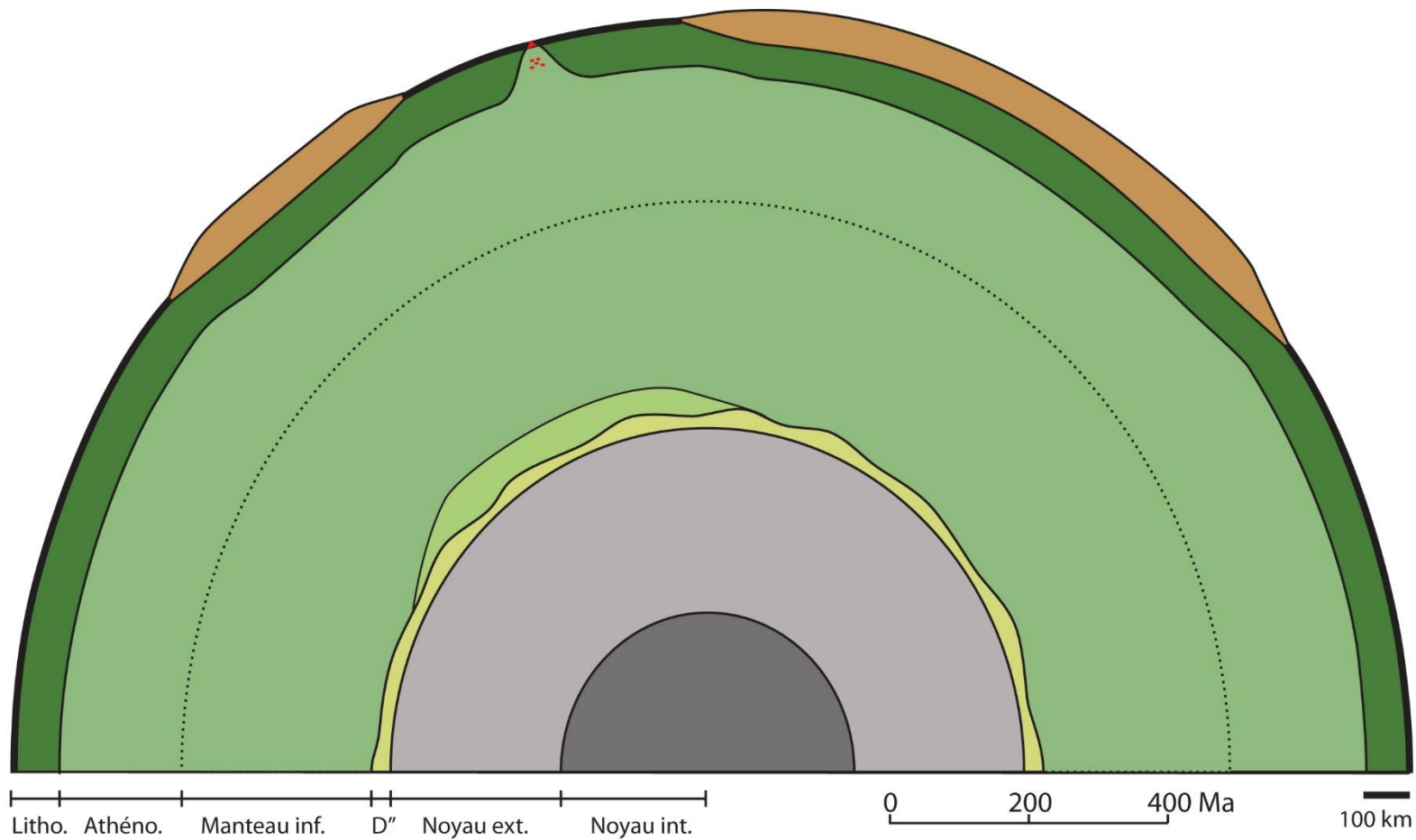
Une modélisation analogique

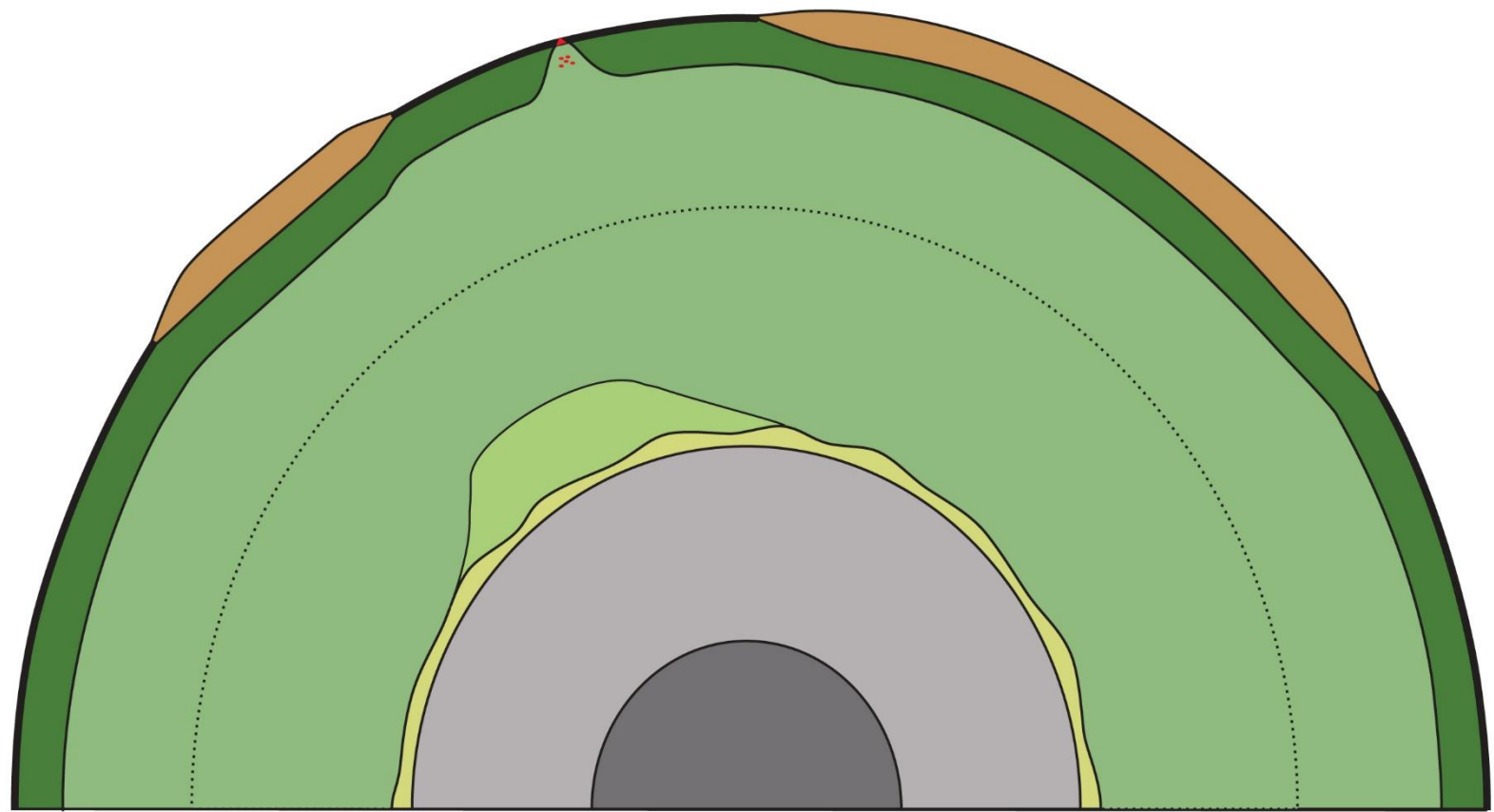


1^{ère} S - Hachette

La dynamique du manteau terrestre



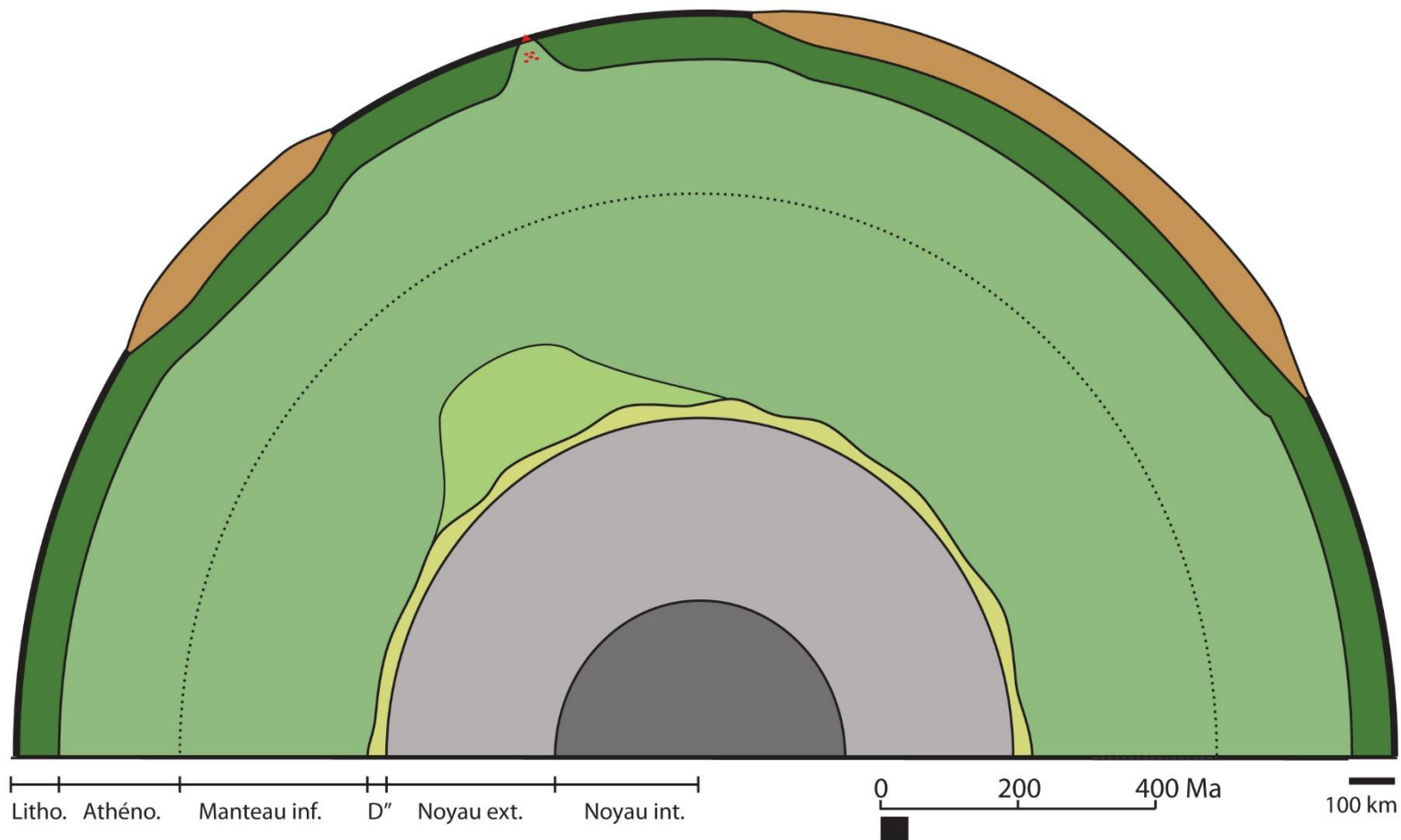


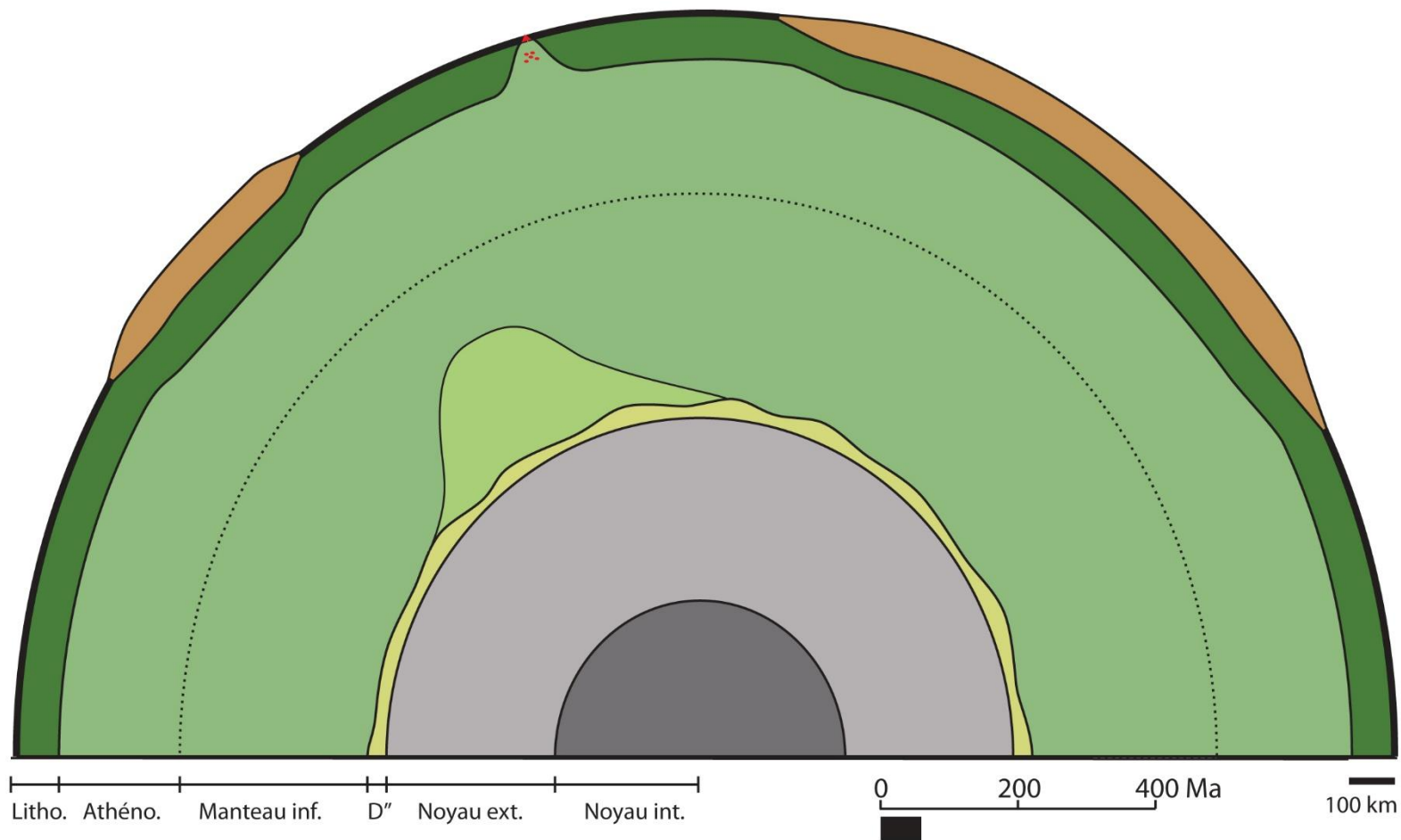


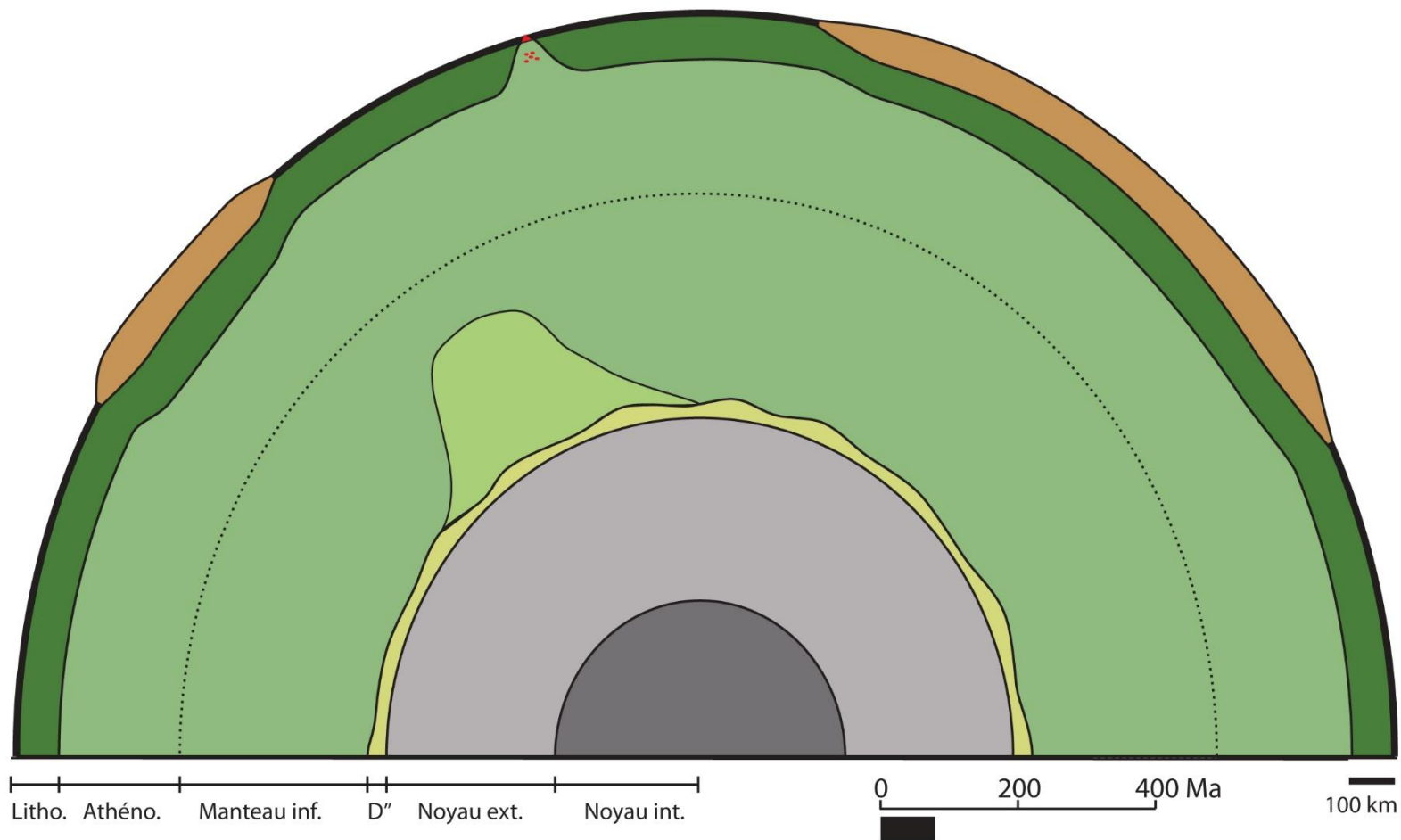
Litho. Athéno. Manteau inf. D'' Noyau ext. Noyau int.

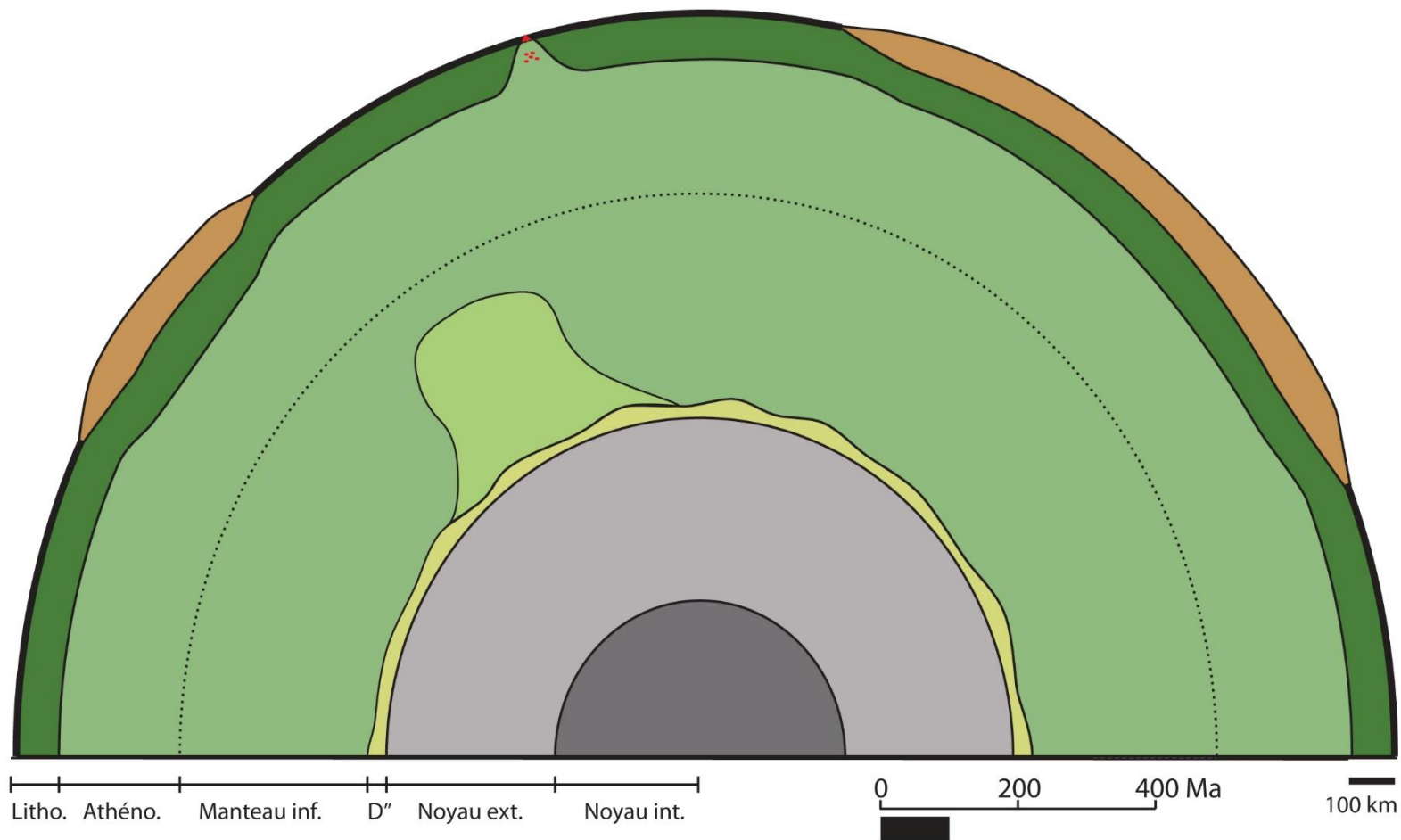
0 200 400 Ma

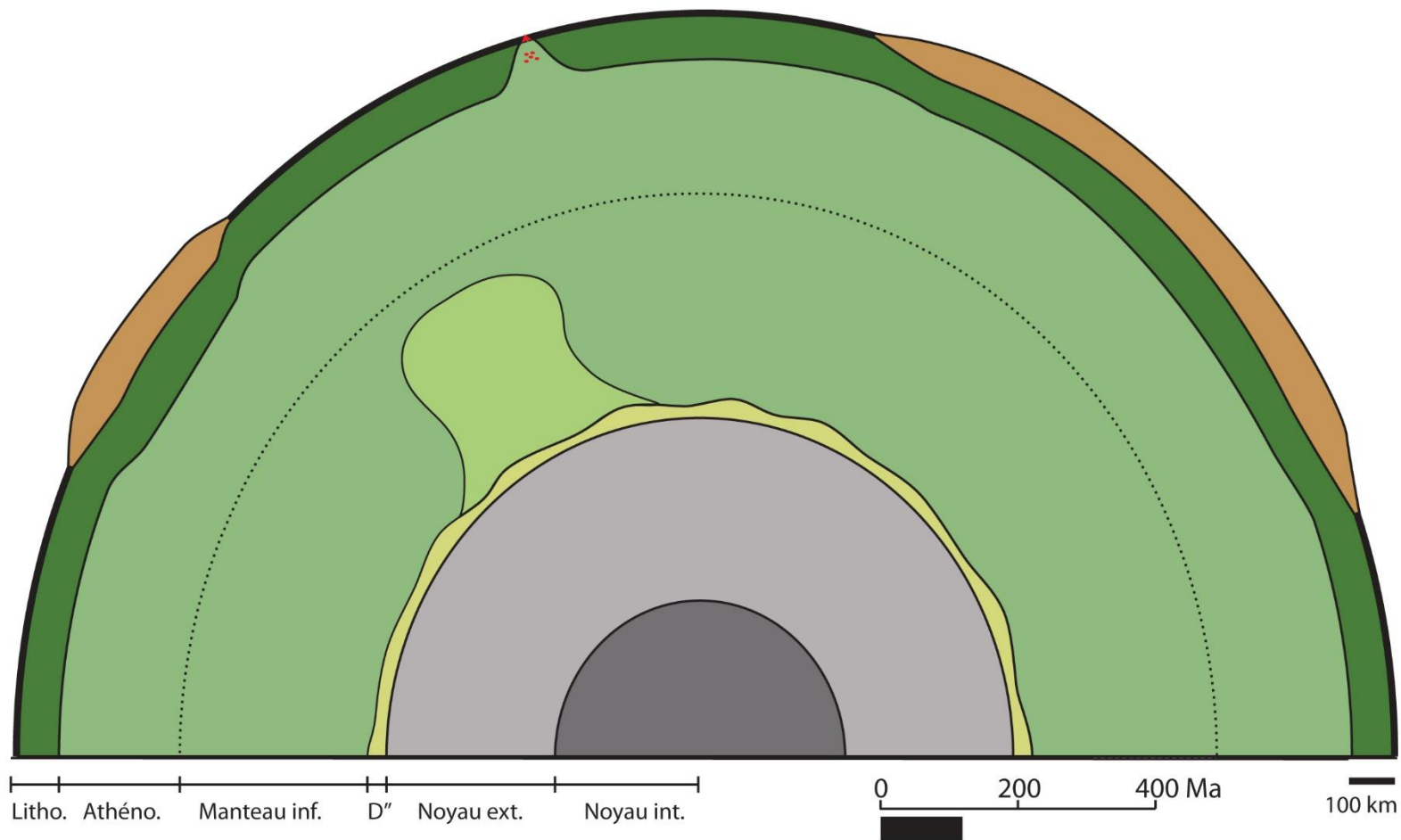
100 km

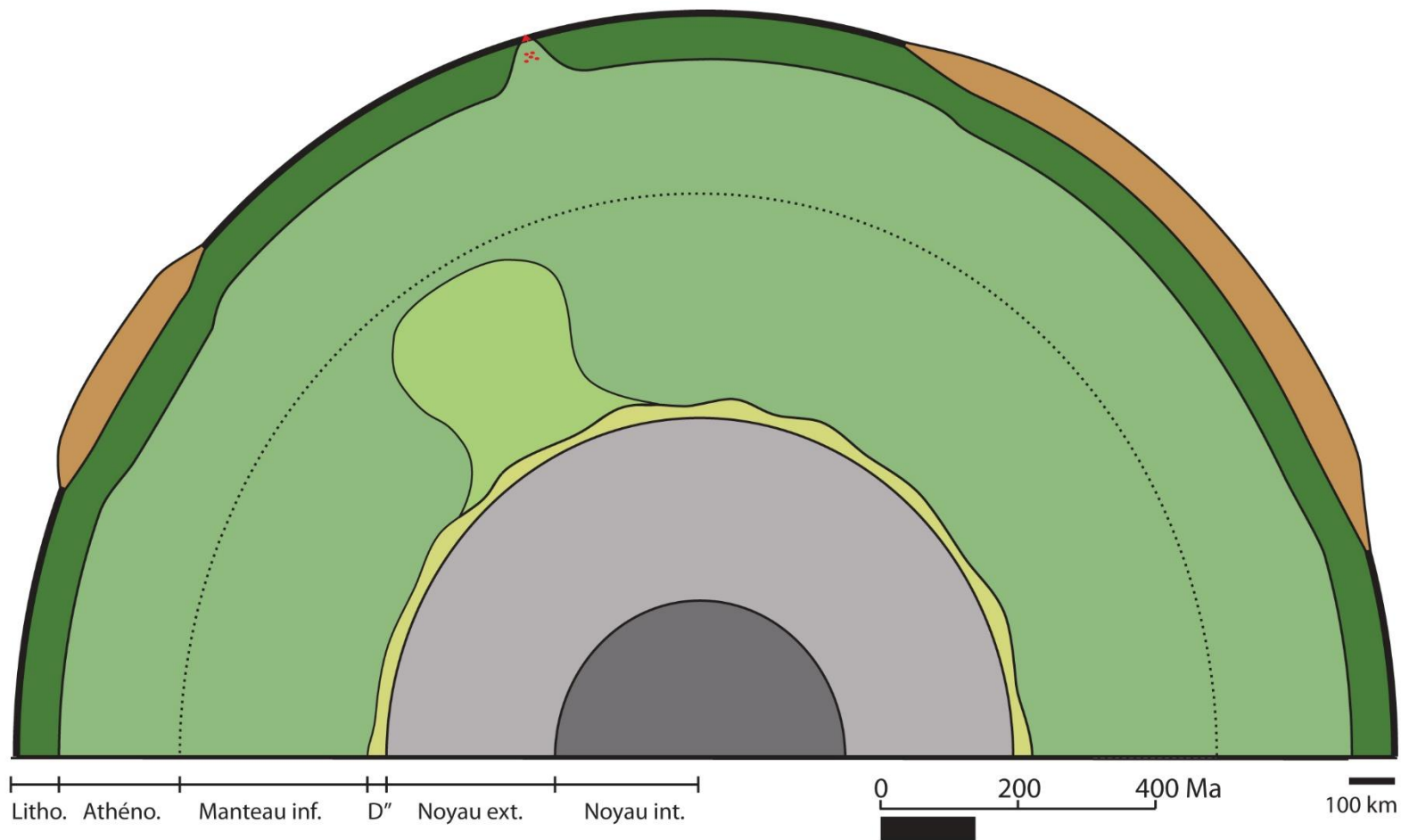


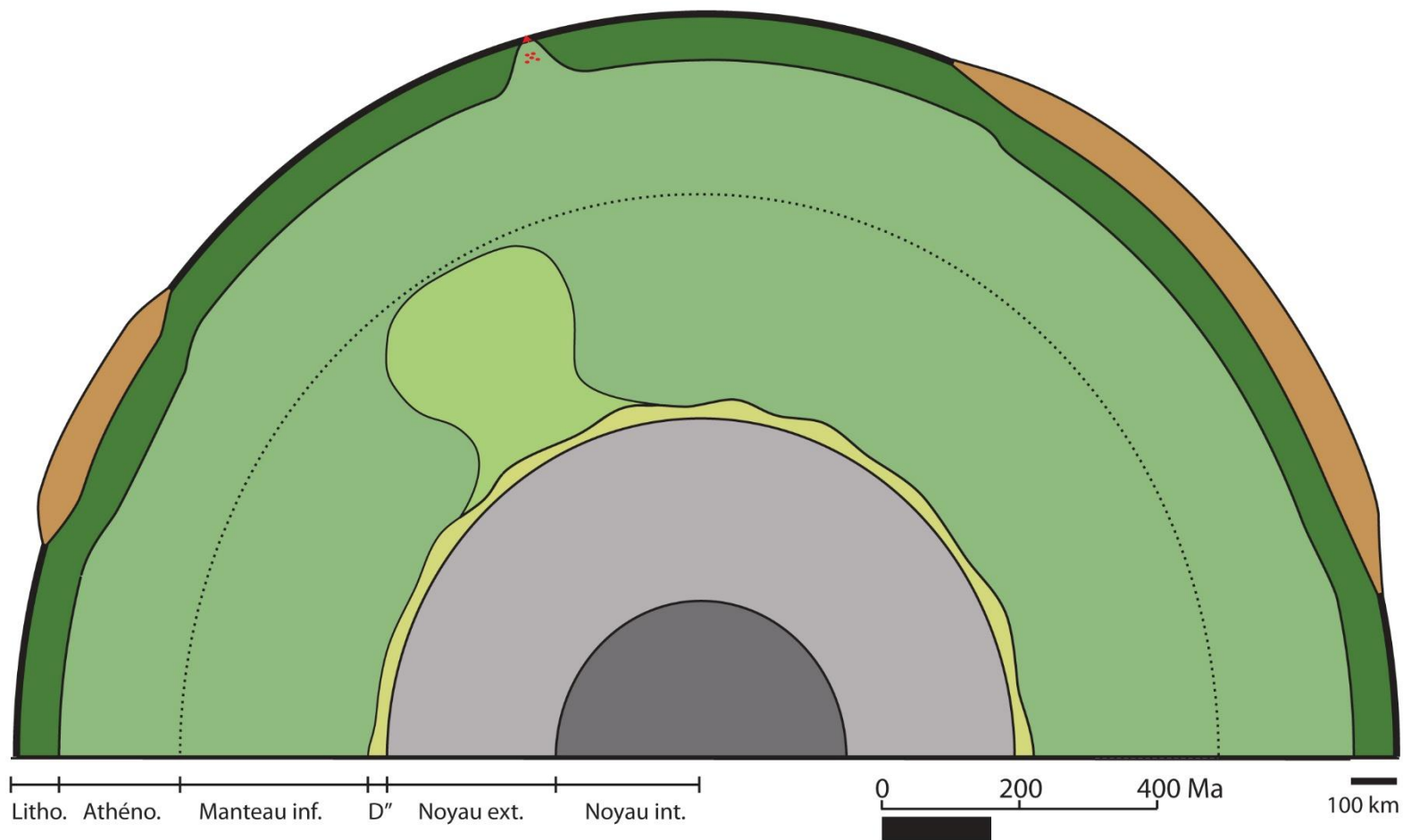


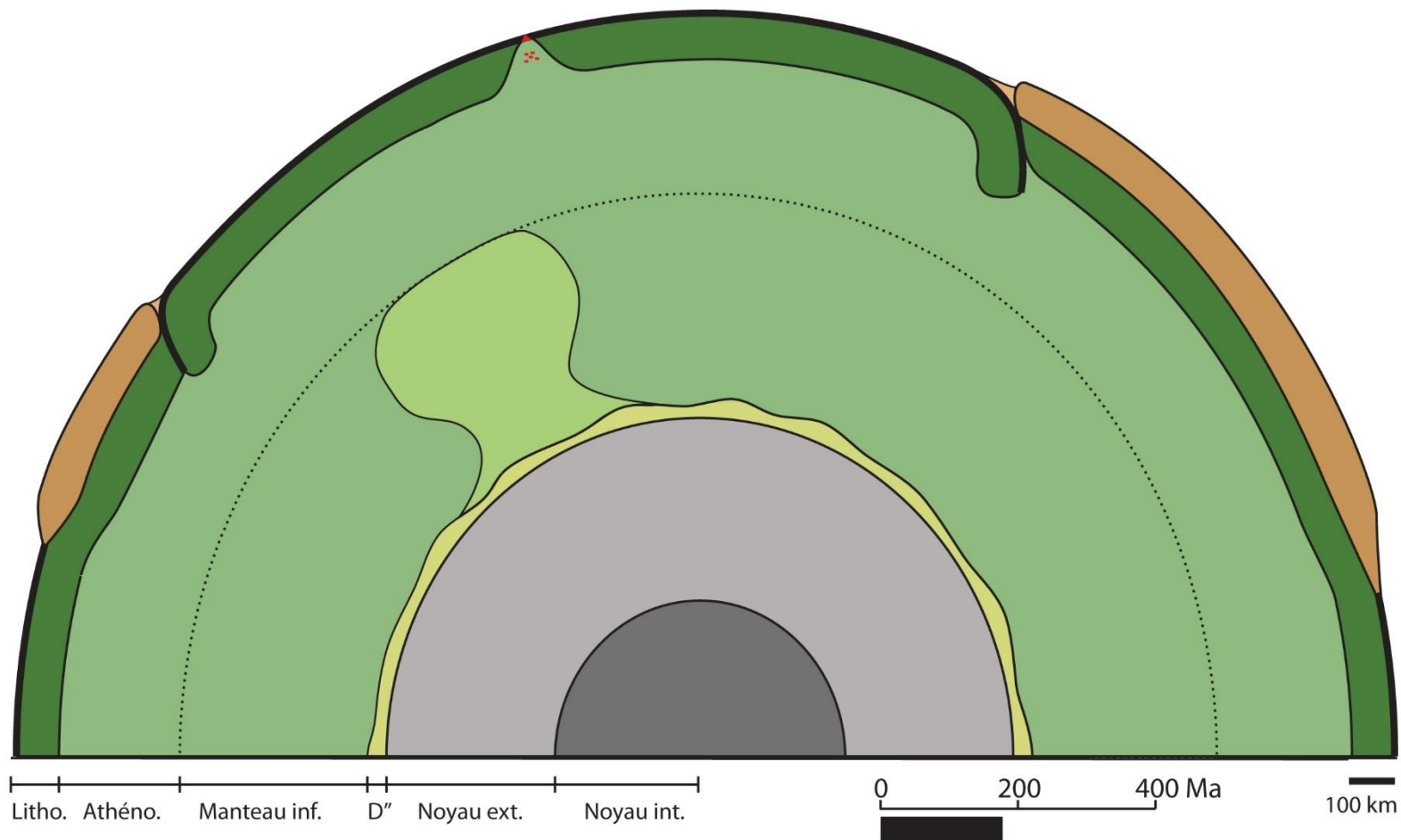


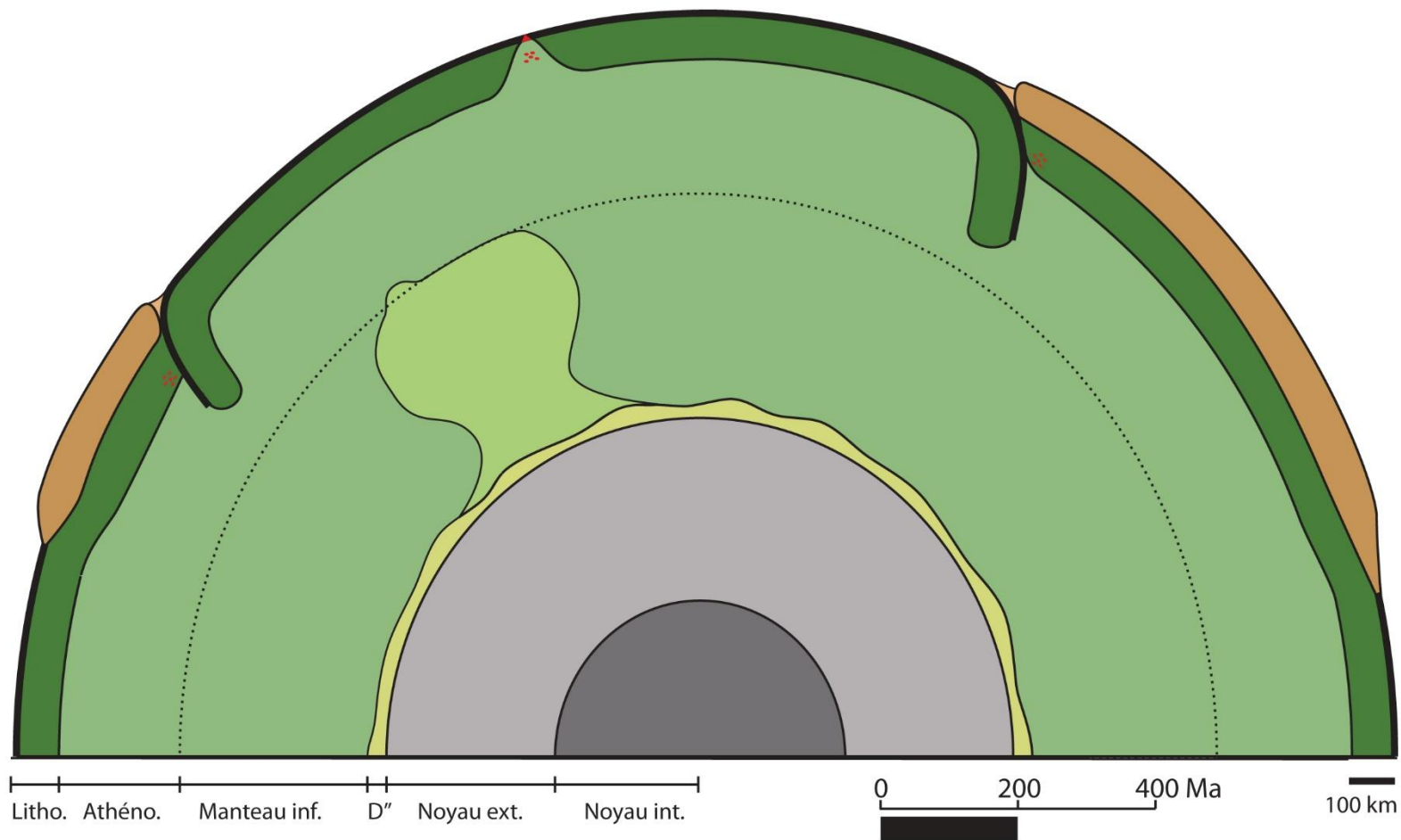


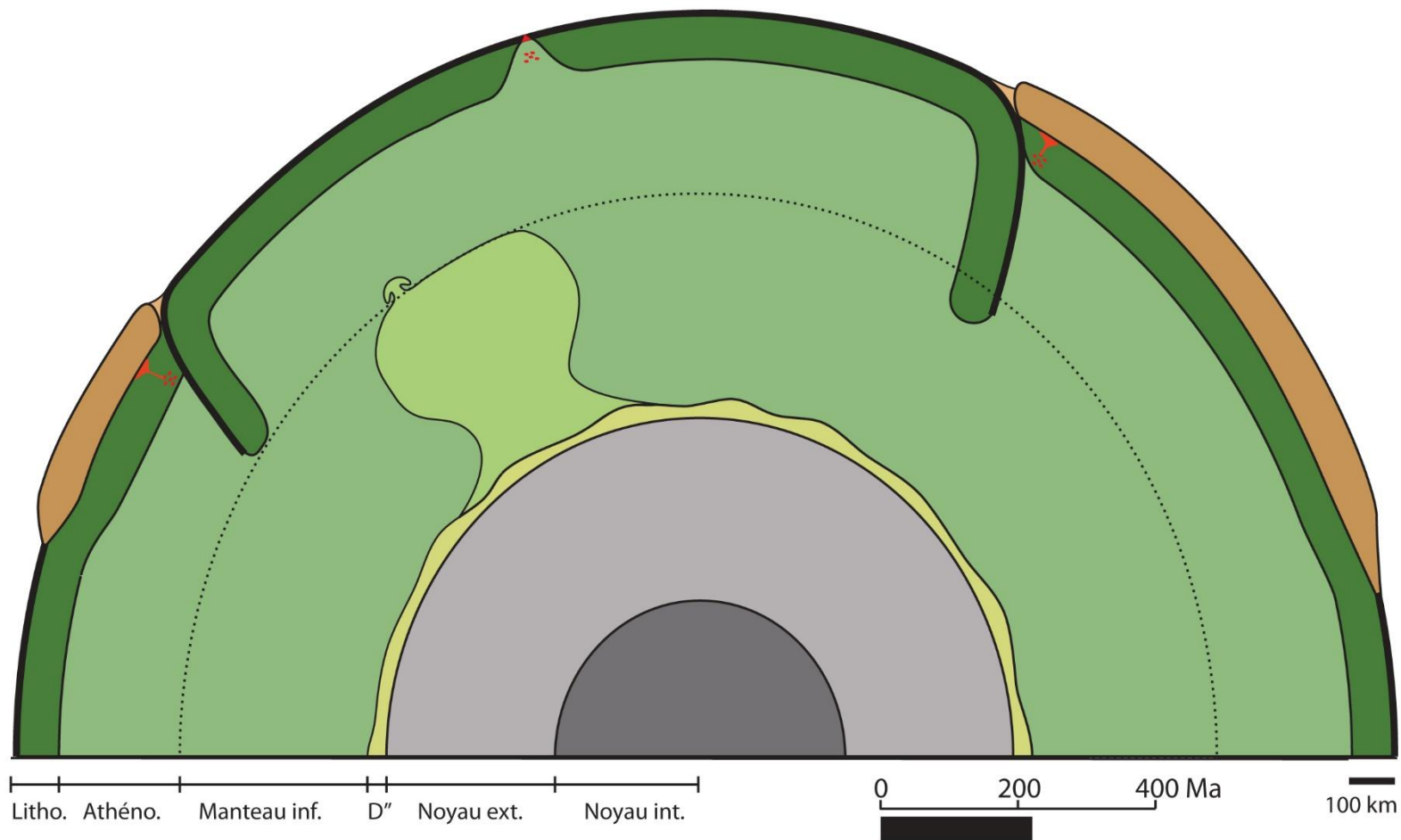


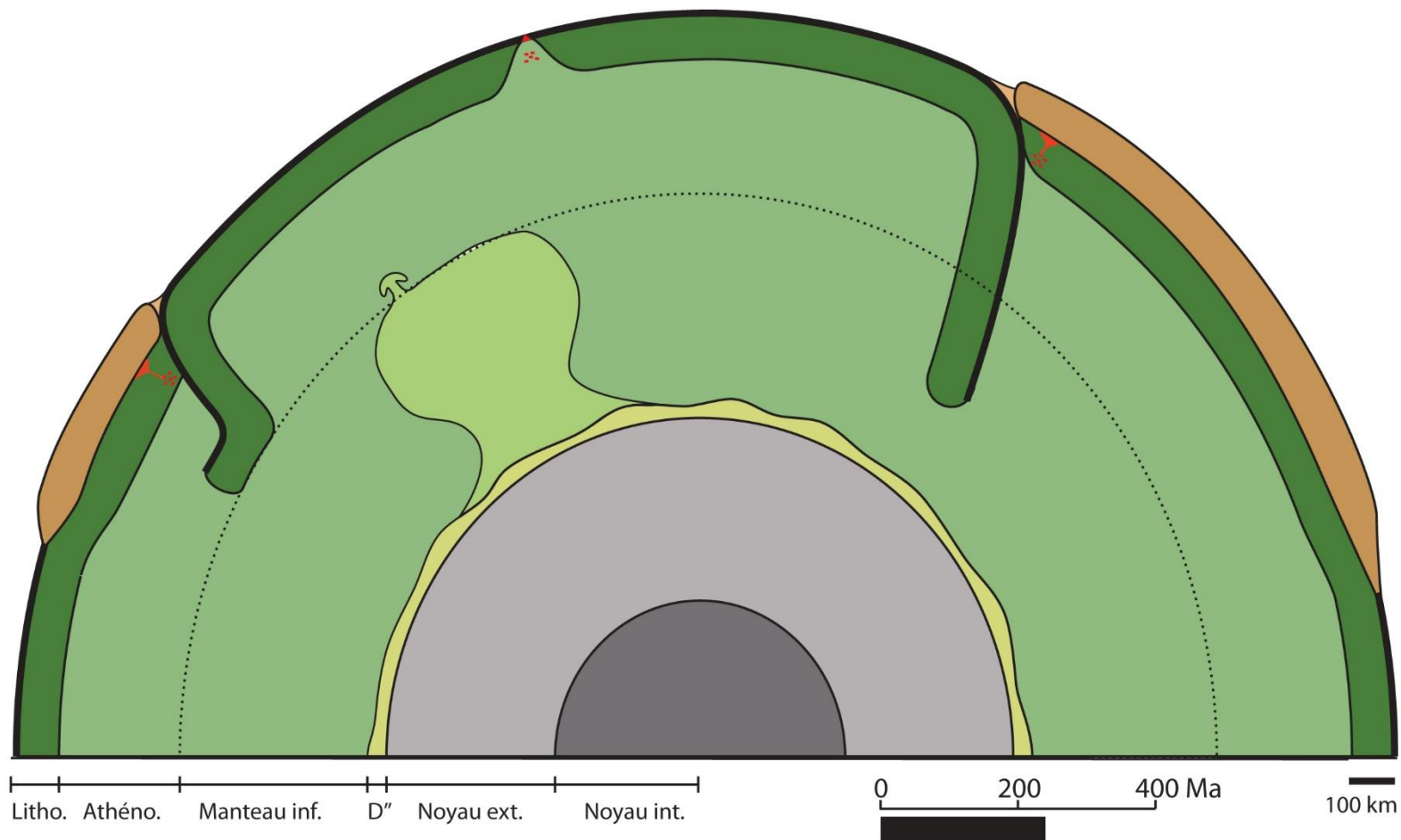


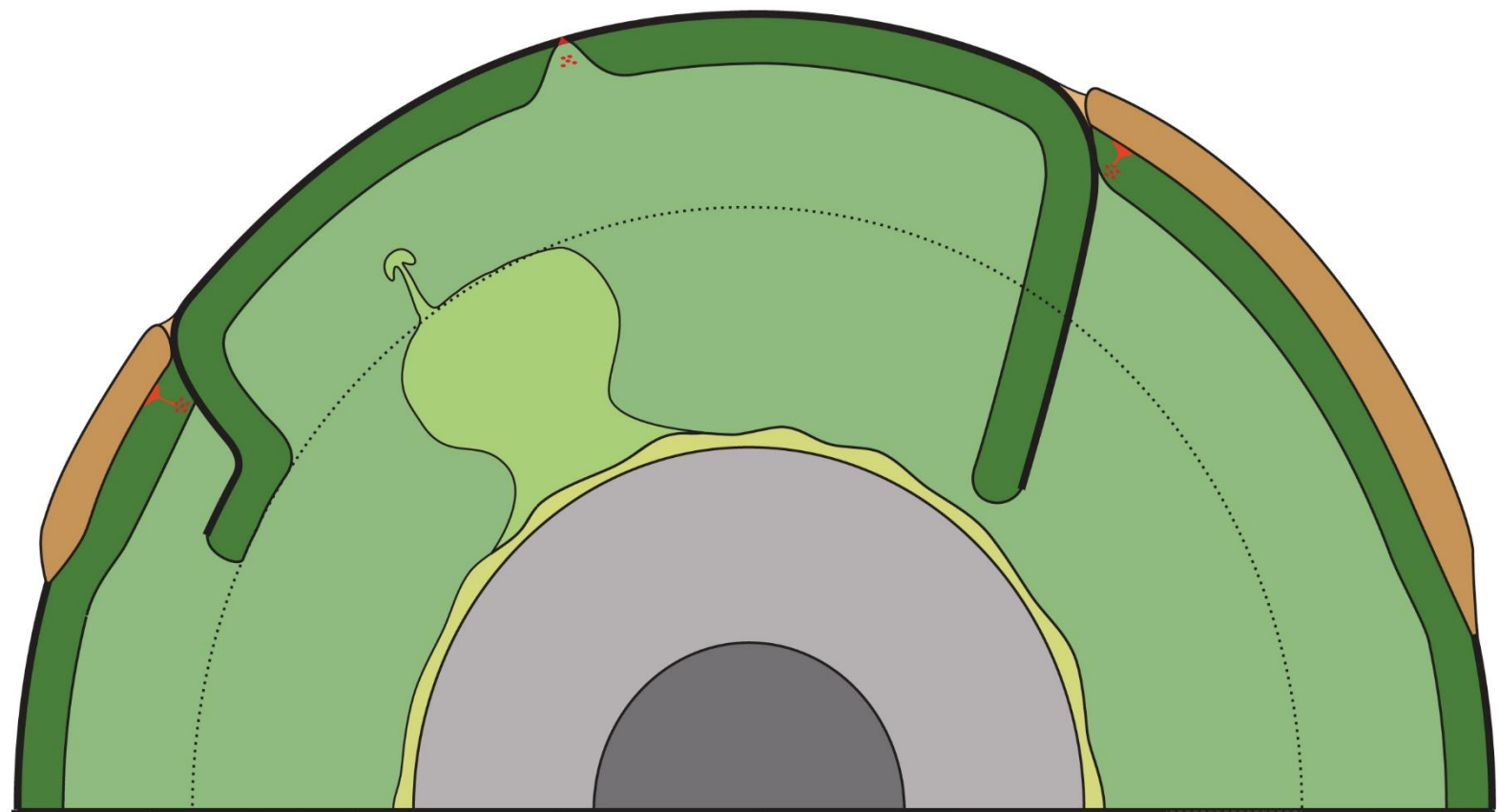








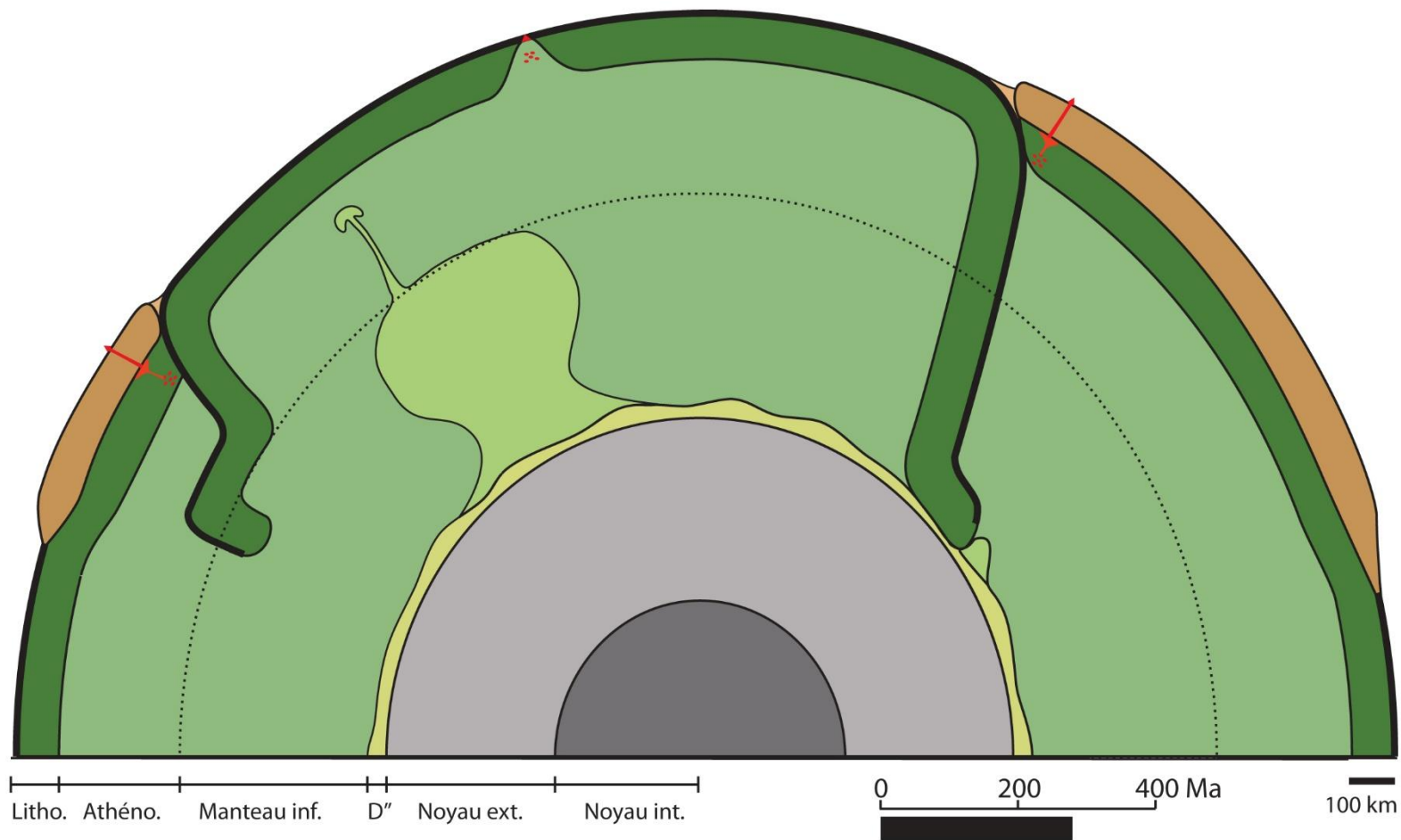


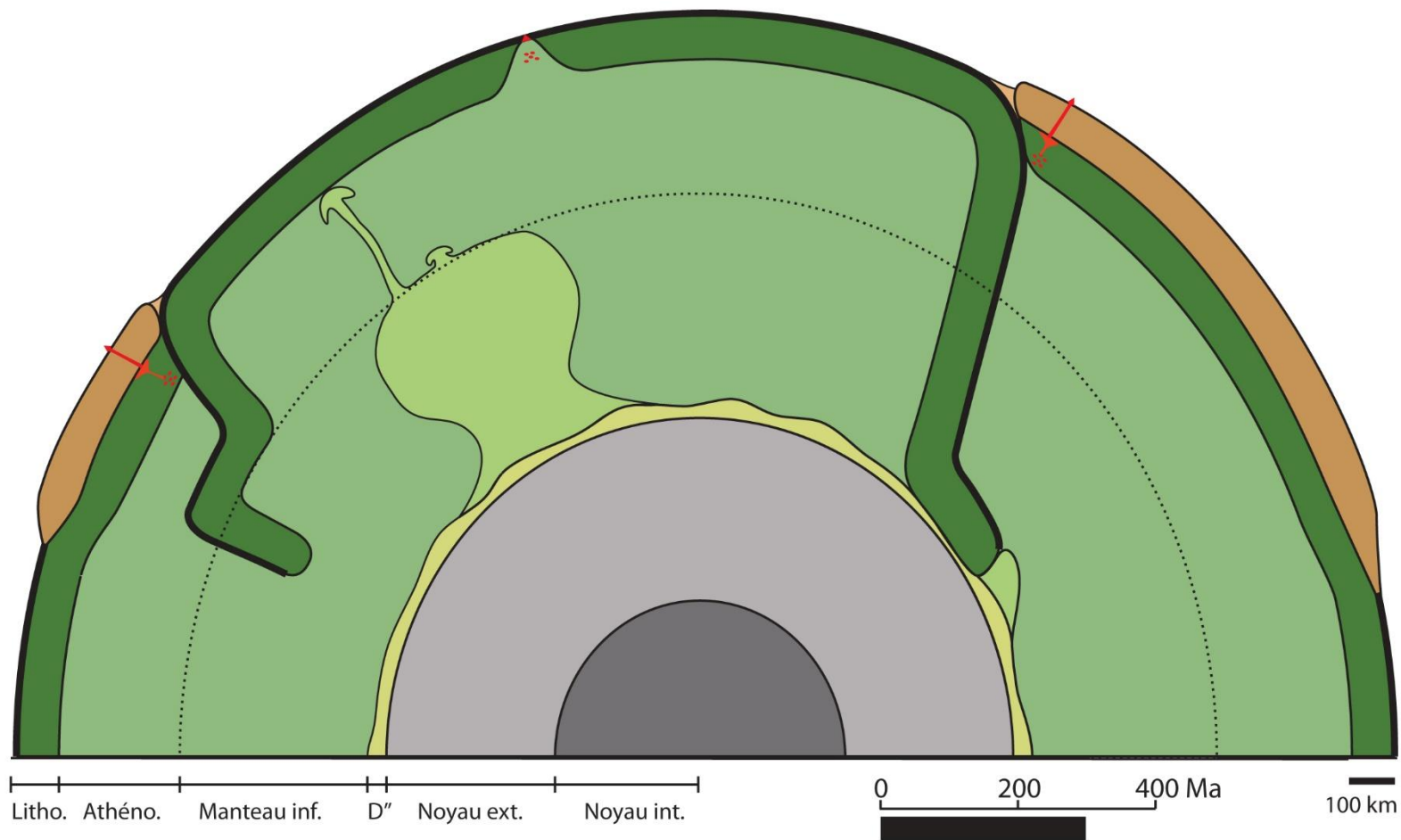


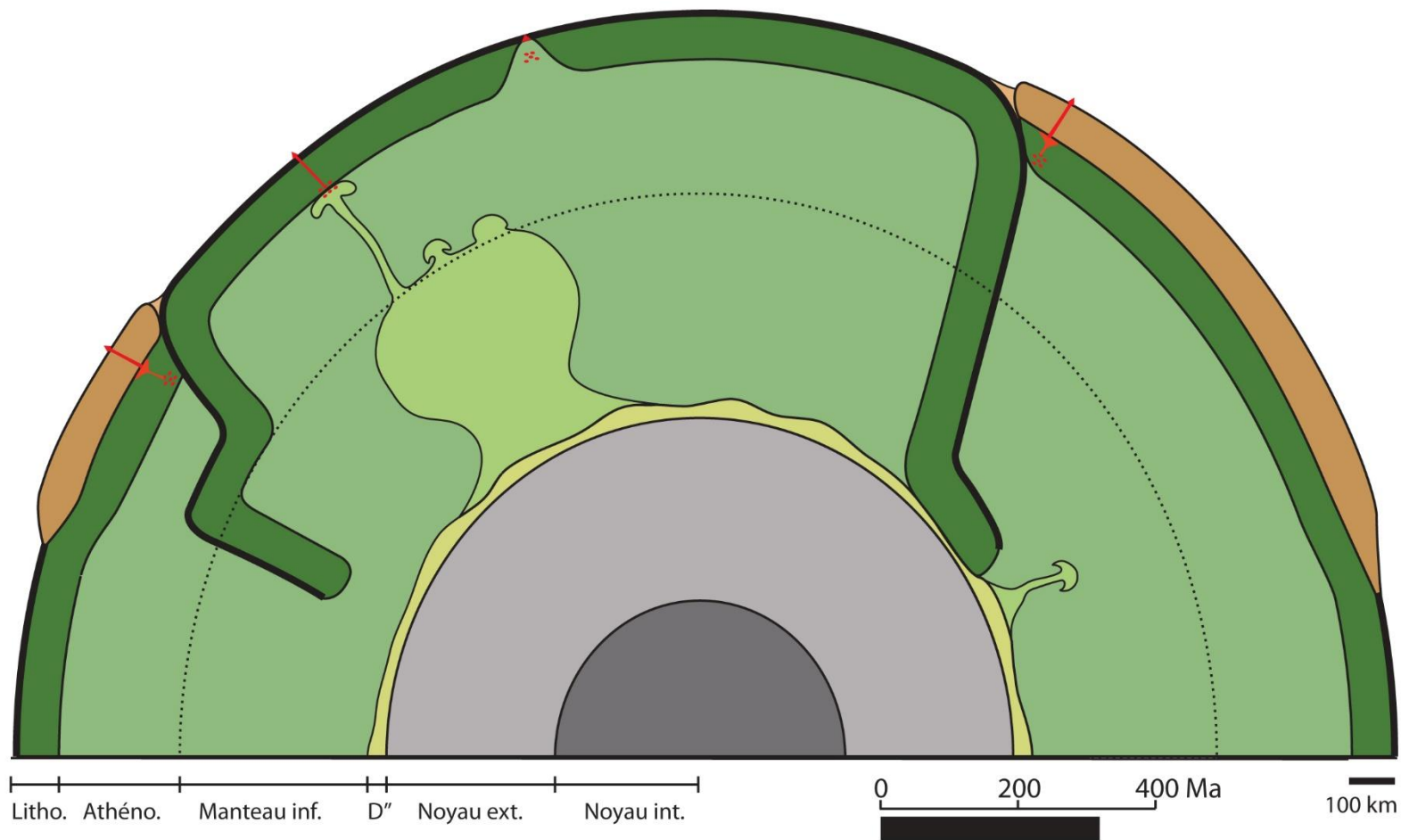
Litho. Athéno. Manteau inf. D'' Noyau ext. Noyau int.

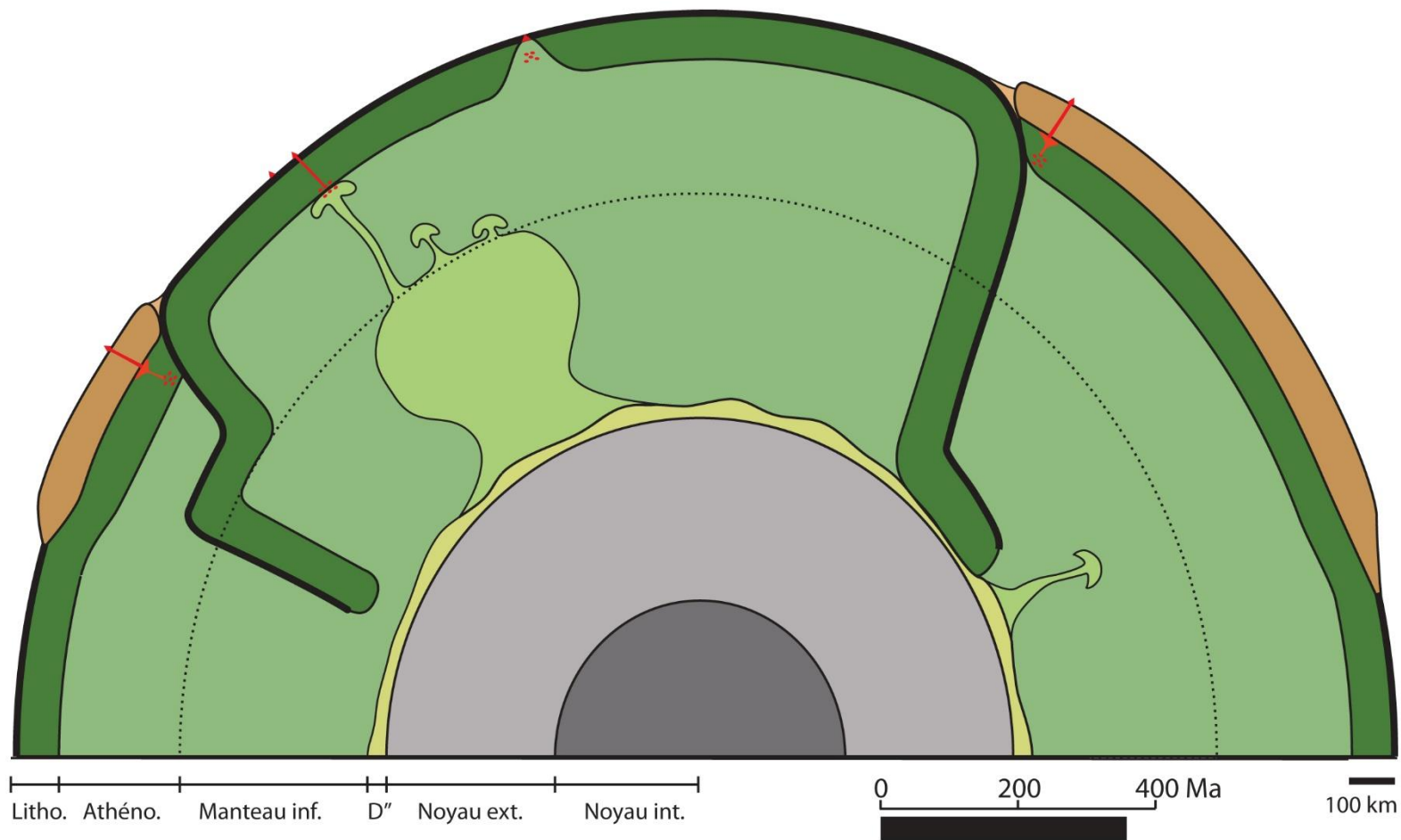
0 200 400 Ma

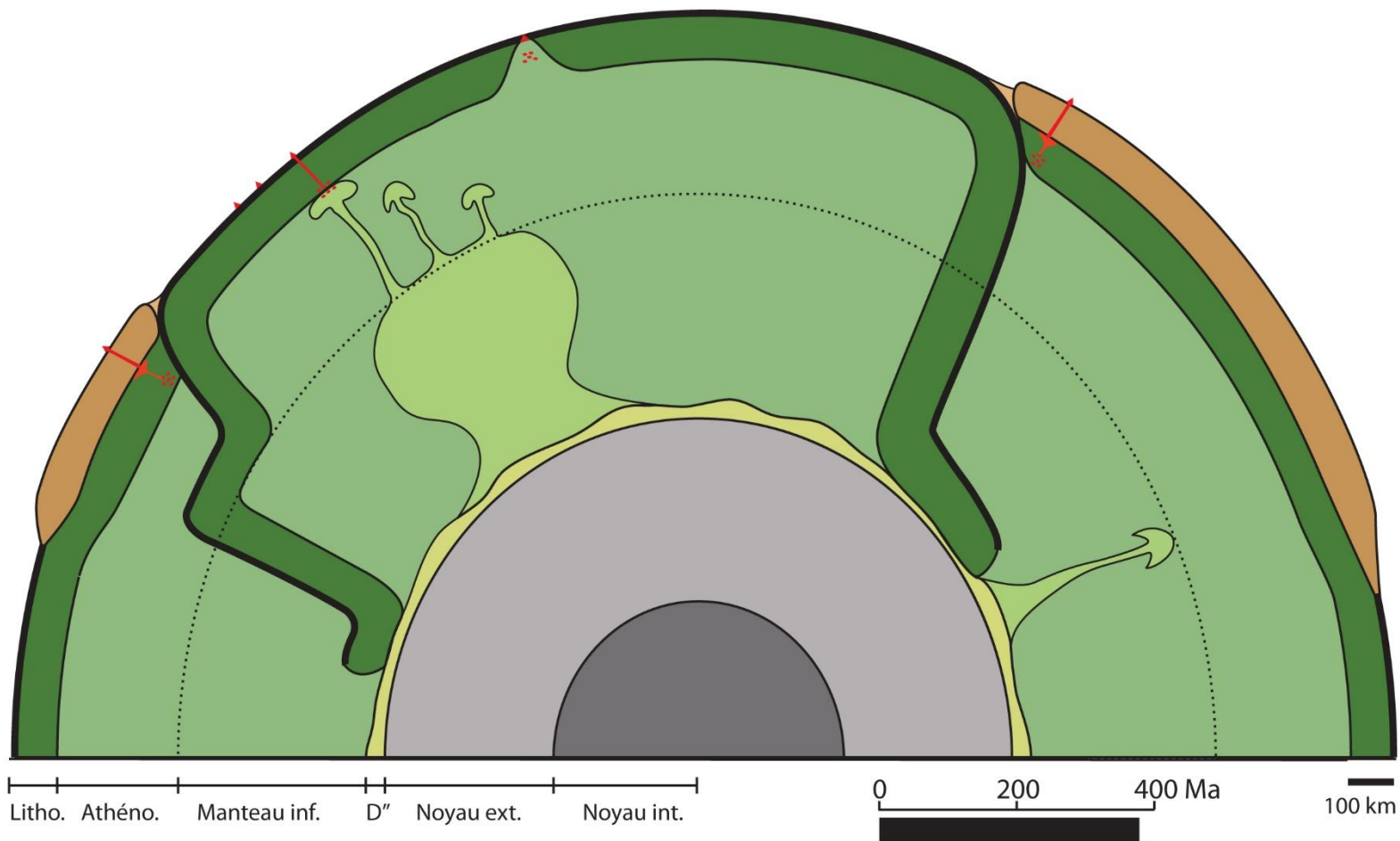
100 km

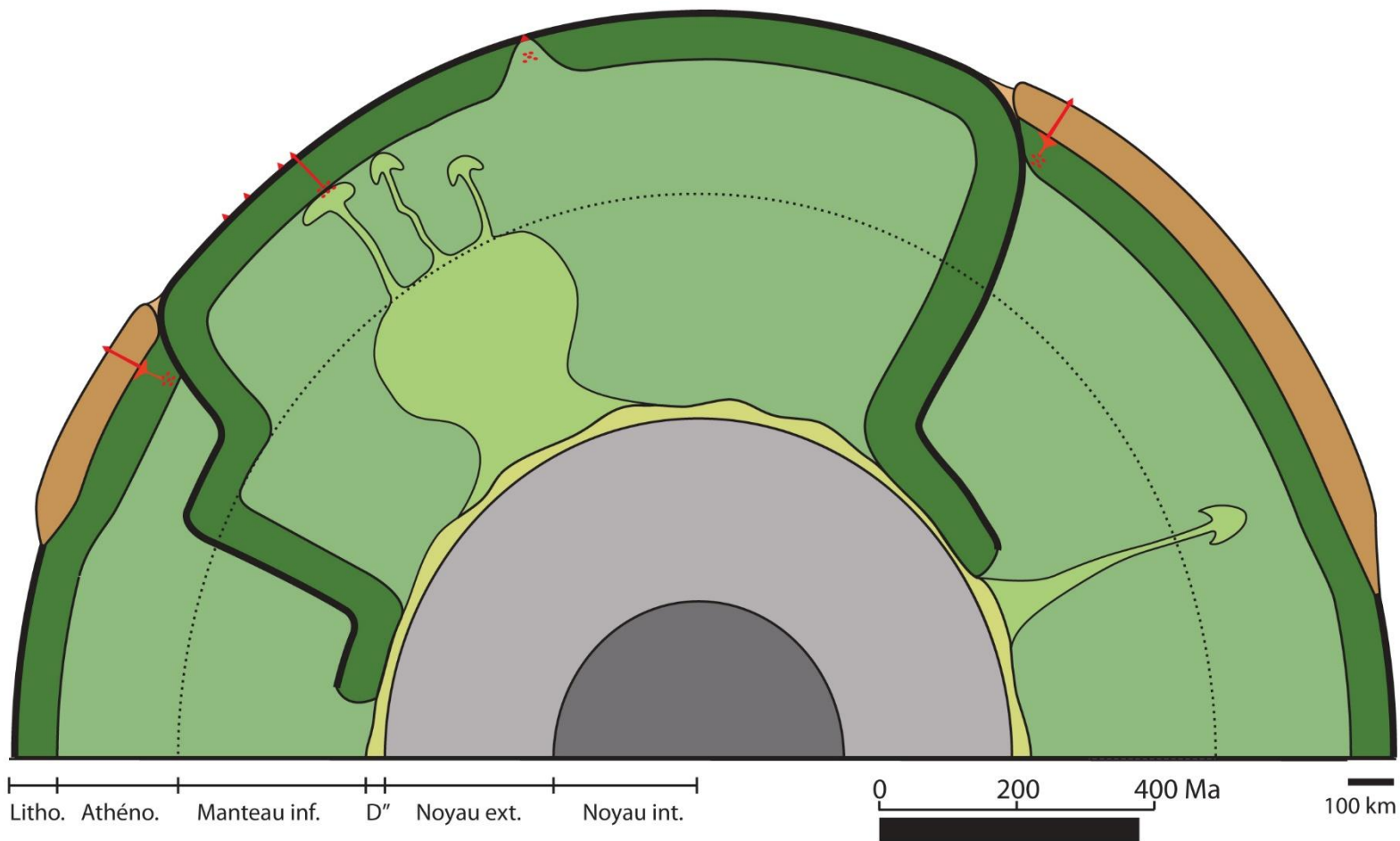


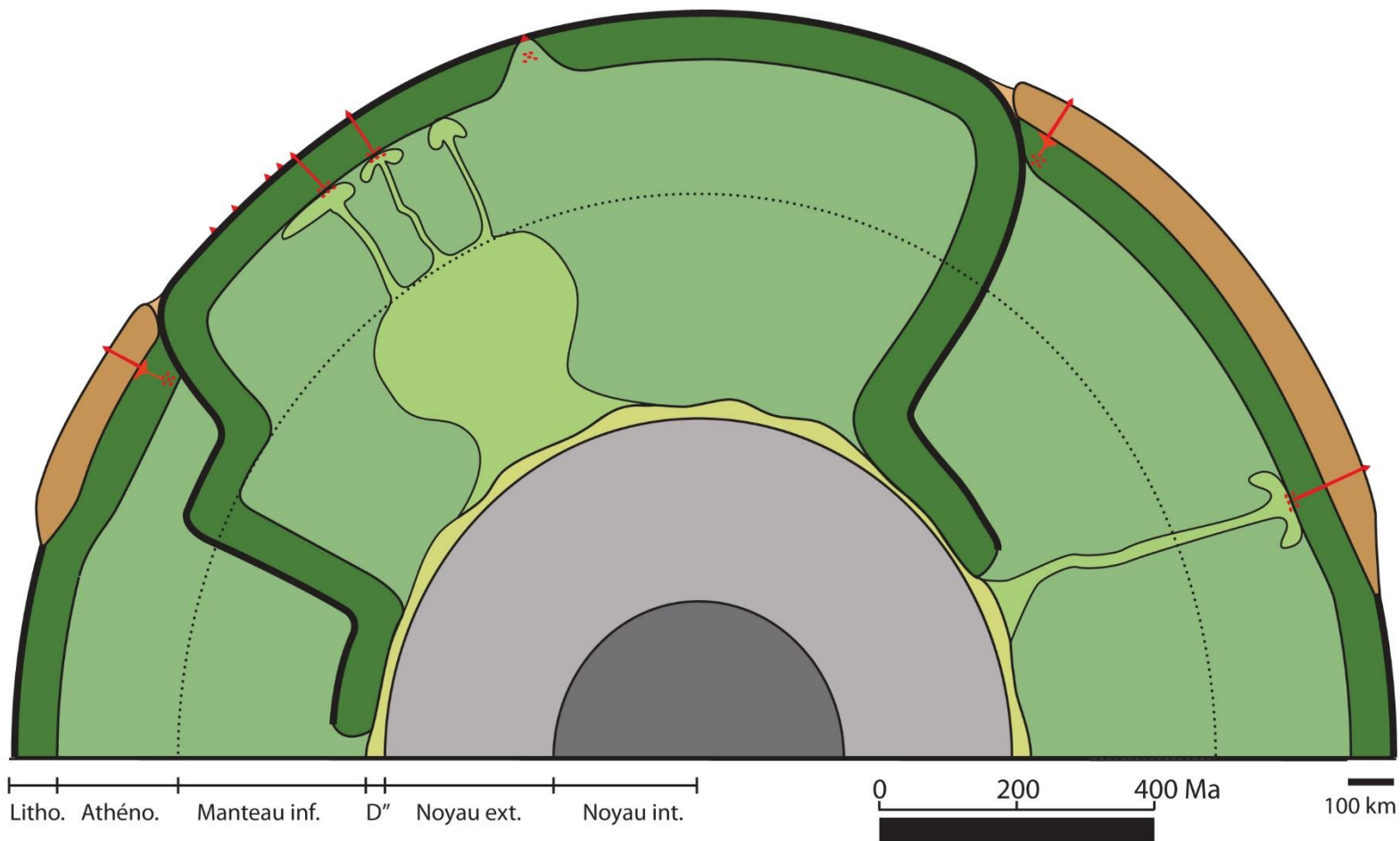


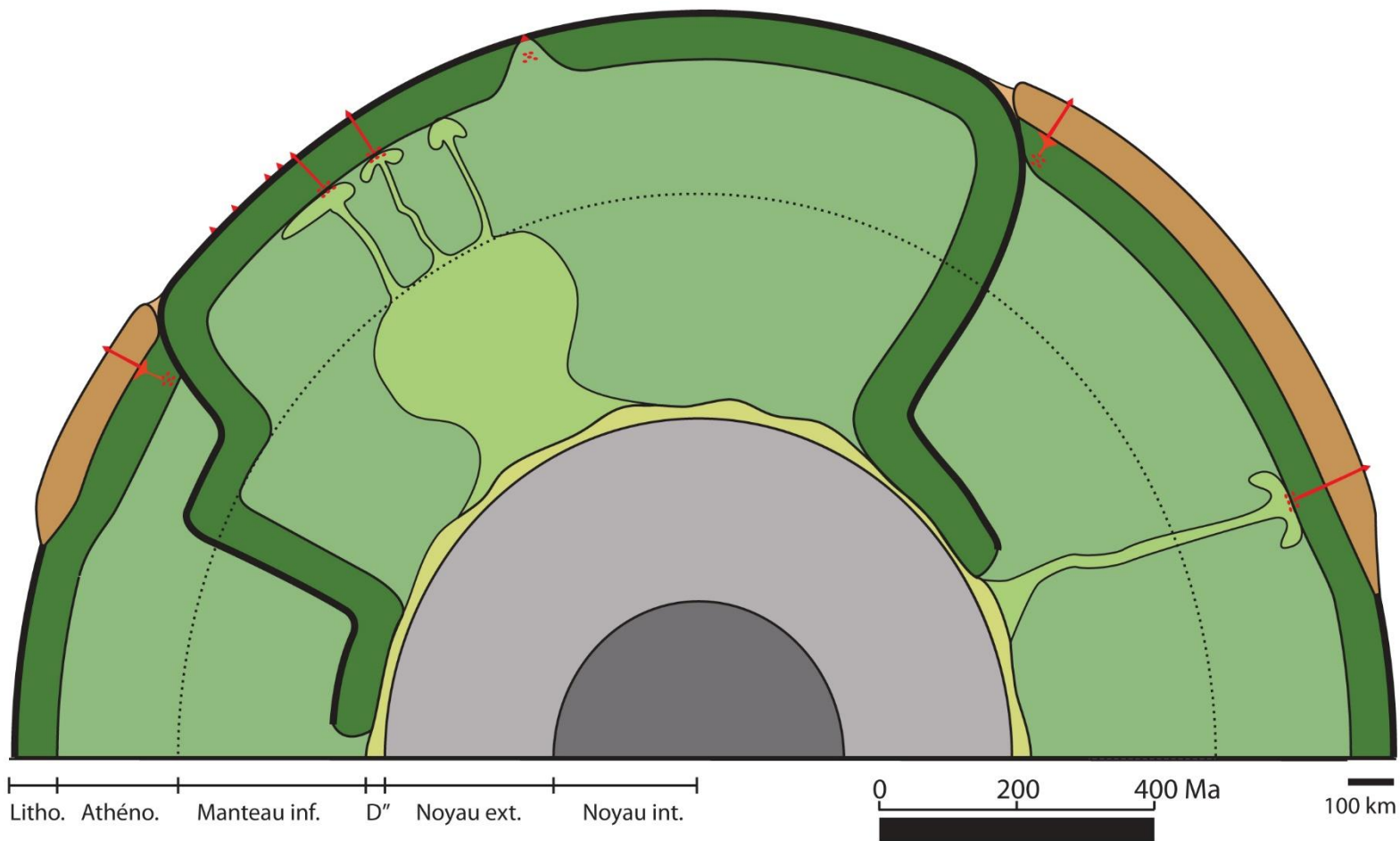




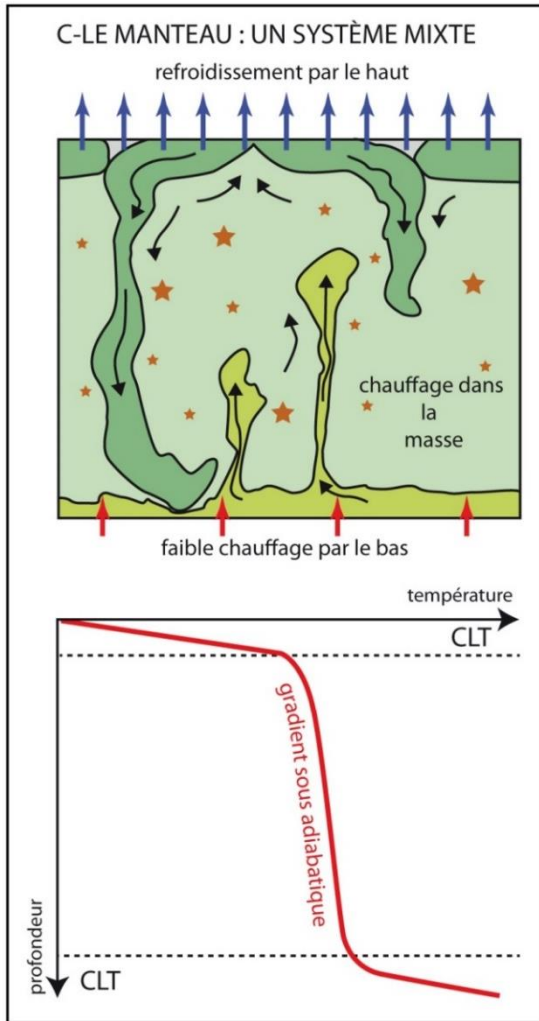








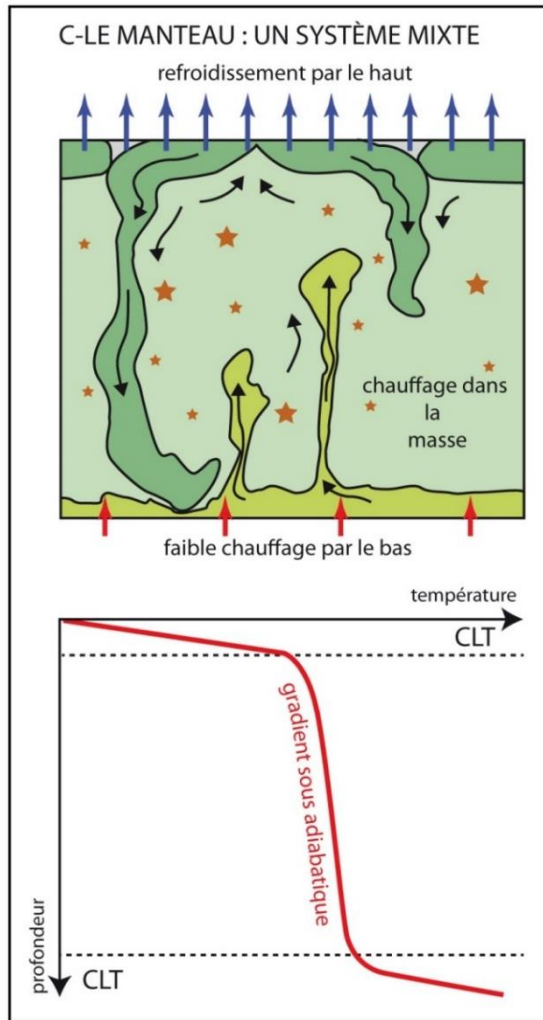
Mouvements de convection = mouvements engendrés par des différences de masse volumique « inverse ».



Le mouvement des plaques ne doit pas être dissocié du phénomène de convection, c'est la partie visible en surface de la convection terrestre .

La dynamique interne de la Terre est une conséquence de la dissipation de la chaleur interne

Mouvements de convection = mouvements engendrés par des différences de masse volumique « inverse ».



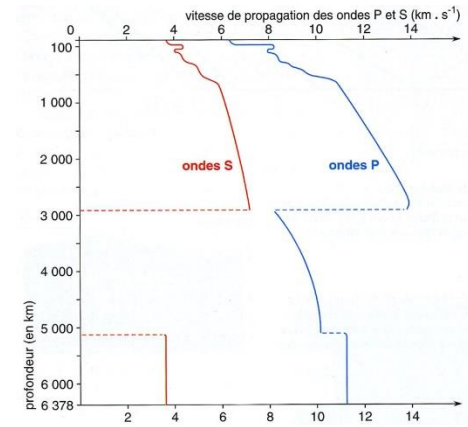
Le mouvement des plaques ne doit pas être dissocié du phénomène de convection, c'est la partie visible en surface de la convection terrestre.

BO : La mobilité des plaques lithosphériques résulte de phénomènes de convection impliquant les plaques elles-mêmes et l'ensemble du manteau.

L'augmentation de la densité de la lithosphère constitue un facteur important contrôlant la subduction et, par suite, les mouvements descendants de la convection.

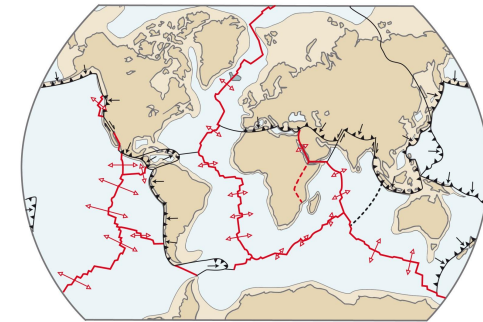
- **Apport de la sismologie dans la connaissance de la structure interne de la Terre :**

- les sismogrammes sont les **données** brutes, PREM est un **modèle**
- la LVZ (découplage mécanique litho/asthéro) est expliquée par des conditions proches de la fusion
- les lois de Descartes expliquent la trajectoire courbe des rais sismiques et la présence de la zone d'ombre.



- **Caractérisation du mouvement des plaques :**

- tout « vecteur déplacement » ne correspond pas forcément à des données GPS
- certains **modèles** (ex : NUVEL1) utilisent uniquement des **données** géologiques (et non géodésiques)
- attention aux confusions dans l'explication du paléomagnétisme
- cinématique absolue : les panaches ne sont pas fixes



- **Lien entre le mouvement des plaques et la convection :**

- le moteur principal du mouvement des plaques est la **traction des panneaux plongeants** en zone de subduction et non la convection asthénosphérique.
- le plongement d'une plaque **est** un mouvement de convection (branche descendante)
- les mouvements horizontaux des plaques sont la partie visible en surface des cellules de convection
- attention à la vision schématisée d'une « cellule » de convection

