TP ST B-C : Structure et dynamique de la planète Terre



Eruption de l'Etna, Février 2021



Eruption de l’Etna, Février 2021

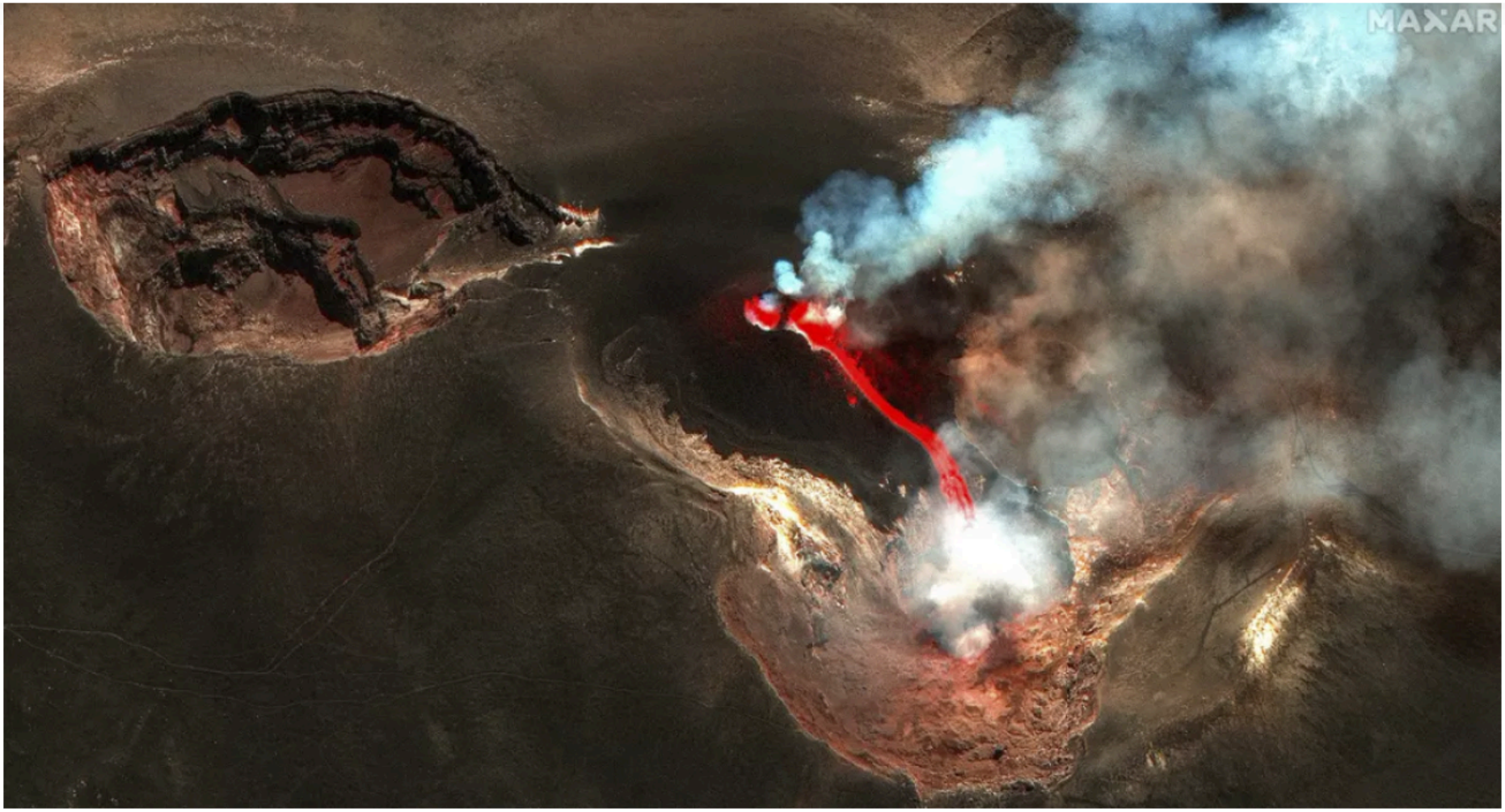


Image infrarouge en couleur publiée par Maxar Technologies montre la lave s'écoulant du volcan Etna en éruption, en Sicile, le 4 juillet 2024. - AP/AP

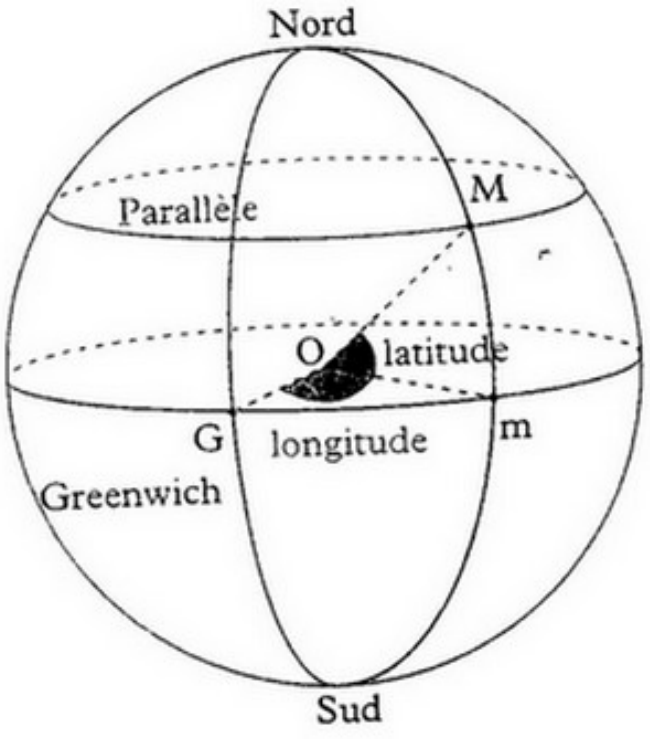


La précédente éruption a eu lieu le 14 janvier et a duré environ deux jours. / ILLUSTRATION MAXPPP

Eruption en Islande, février 2024

Caractéristiques de la Terre :

- Rayon terrestre : $\mathbf{R_T = 6370\ km}$.
- Masse de la Terre : $M_T = 5{,}96.10^{24}$ kg.
- Densité de la Terre : **d = 5,52**



Surface d'une sphère de rayon R :

$\mathbf{S = 4.\pi.R^2}$

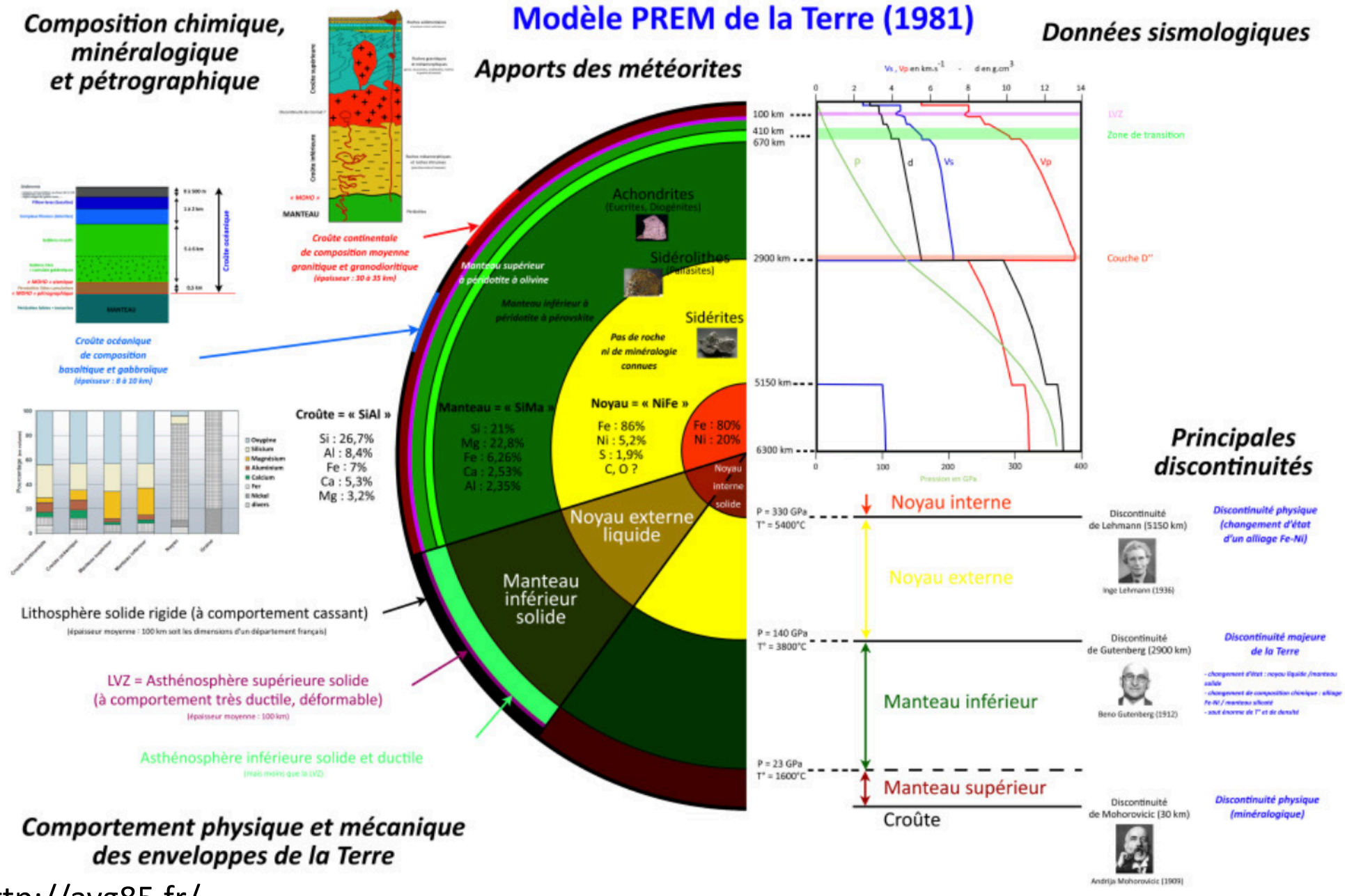
Volume d'une sphère de rayon R :

$\mathbf{V = 4/3.\pi.R^3}$

Périmètre d'un disque de rayon R :

$\mathbf{P = 2\pi.R}$

I. Structure géologique de la Terre



http://avg85.fr/

Exercice n°1 : calculs de la masse et de la densité terrestre

$$F = G * [(m.m')/d^2]$$

avec G constante gravitationnelle G = $6{,}67.10^{-11}$ $N.kg^{-2}.m^2$. (N = $kg.m.s^{-2}$).

Soit un corps de masse m à la surface de la Terre, il est soumis à la force d'attraction de la Terre (on néglige les autres forces comme la force centrifuge par exemple).

On a ainsi : **$\Sigma F = m*a$ avec $a = g$** (l'accélération correspond ici à l'accélération de la pesanteur).

Donc **$m*g = (G*m*M_{Terre})/(R_{Terre})^2$** soit $M_{Terre} = (g*(R_{Terre})^2)/G \approx$ **6.10^{24} kg**

En considérant que le Terre est une sphère de rayon 6370 km

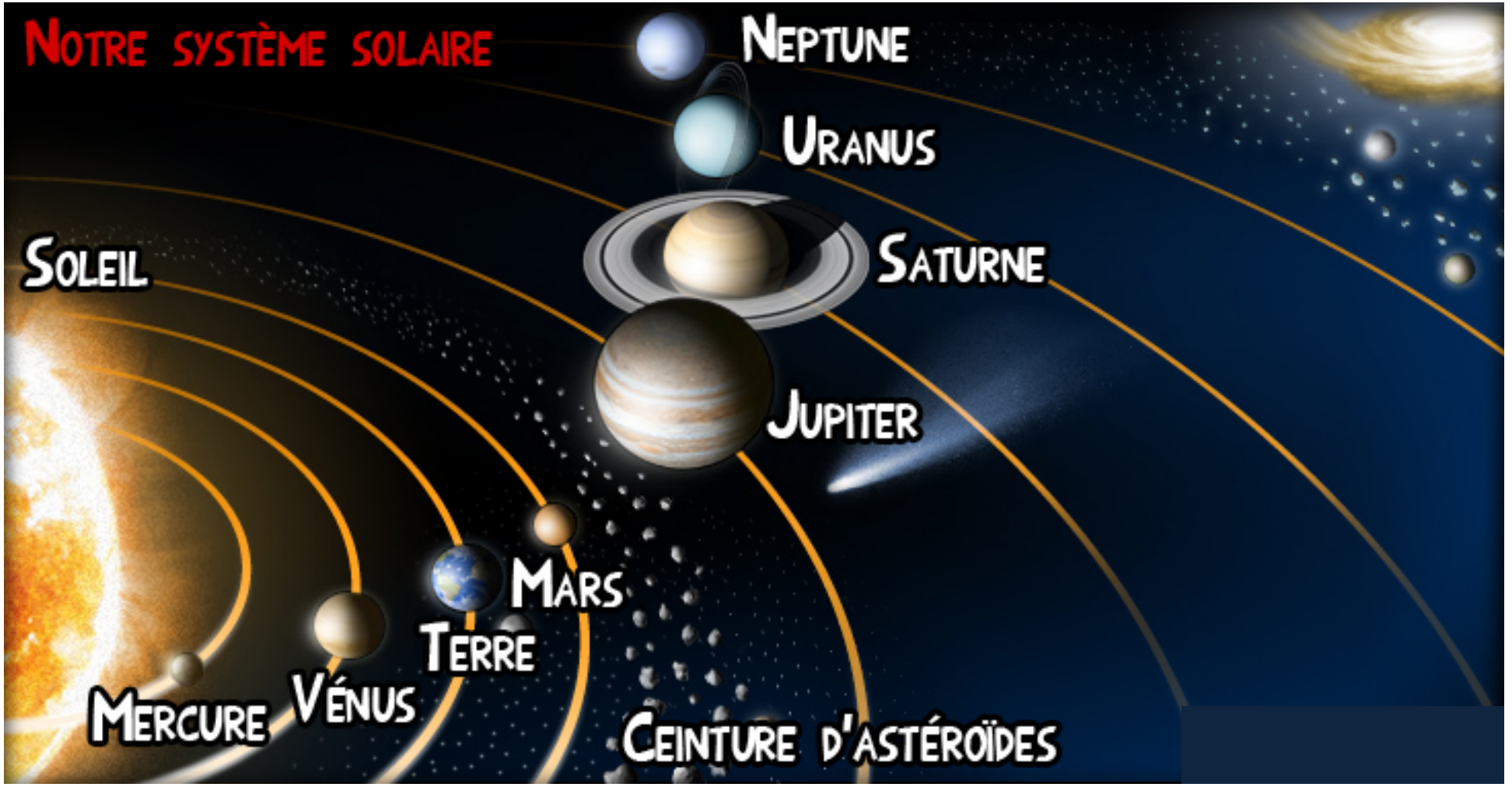
$V = 4/3 * (\pi R^3) \approx 1{,}08.10^{12}\ km^3 = 1{,}08.10^{27}\ cm^3$

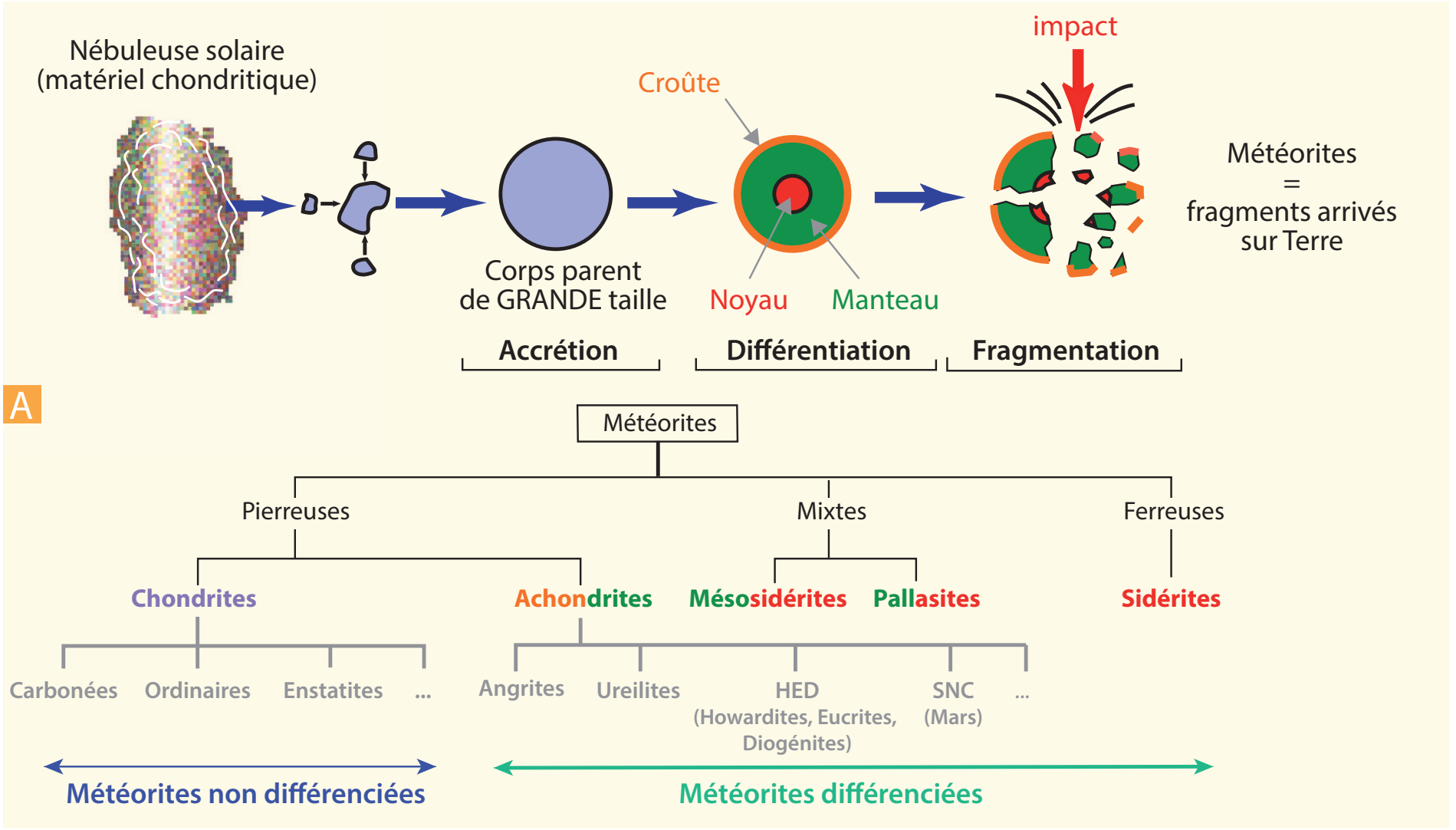
Densité et masse volumique terrestres peuvent ainsi être déduites, car on connaît le volume de la Terre.

$\rho_{Terre} = M_{Terre} / V_{Terre} = 6.10^{27}$ (en g) / $1{,}08.10^{27}$ (en cm^3) $\approx$ **5,52 g.cm^{-3}**.

Pour la densité on divise par les 1 g.cm^{-3} de l'eau.

<u>Exercice n°2</u> : calcul de la composition du noyau

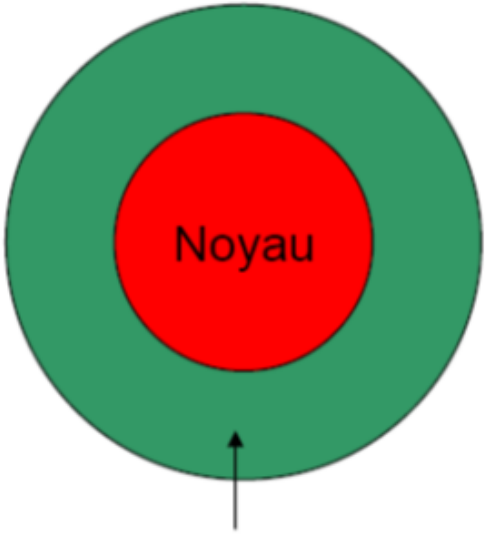



Nébuleuse solaire
(matériel chondritique)
Corps parent
de GRANDE taille
Croûte
Noyau
Manteau
impact
Météorites
=
fragments arrivés
sur Terre
Accrétion
Différentiation
Fragmentation
A
Météorites
Pierreuses
Mixtes
Ferreuses
Chondrites
Achondrites
Mésosidérites
Pallasites
Sidérites
Carbonées
Ordinaires
Enstatites
...
Angrites
Ureilites
HED
(Howardites, Eucrites,
Diogénites)
SNC
(Mars)
...
Météorites non différenciées
Météorites différenciées

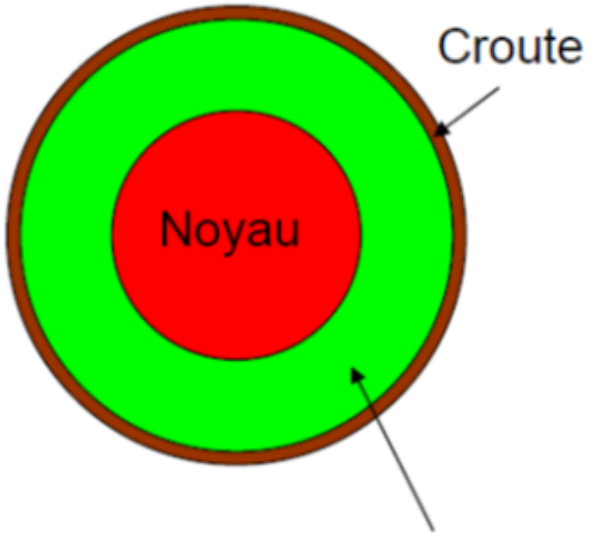
Chondrites=Terre Globale



Terre primitive



Terre différentiée



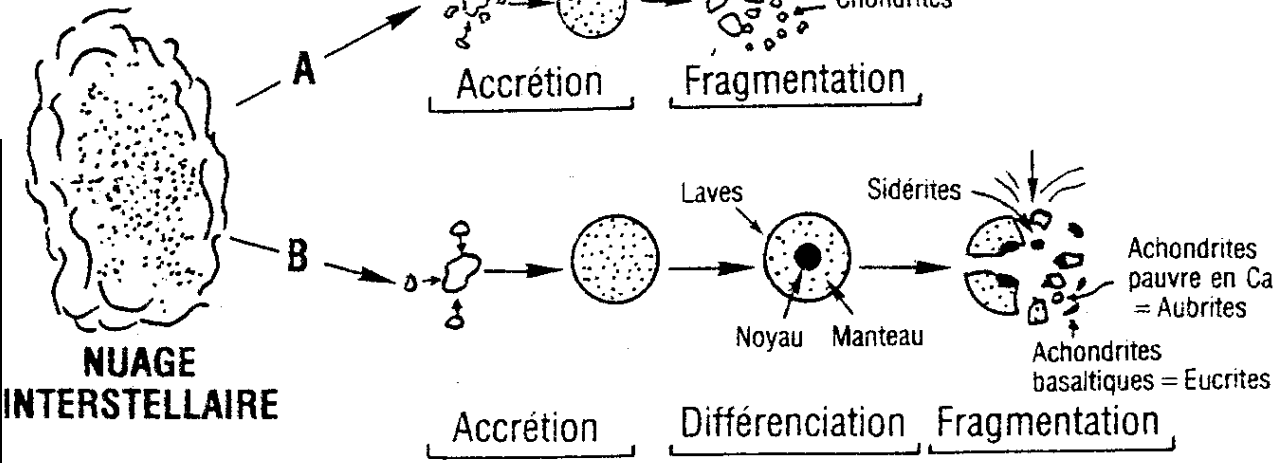
Moteur de la différentiation: - contraste de densité
- affinité des élements chimiques,
-fusion.



Etude des météorites

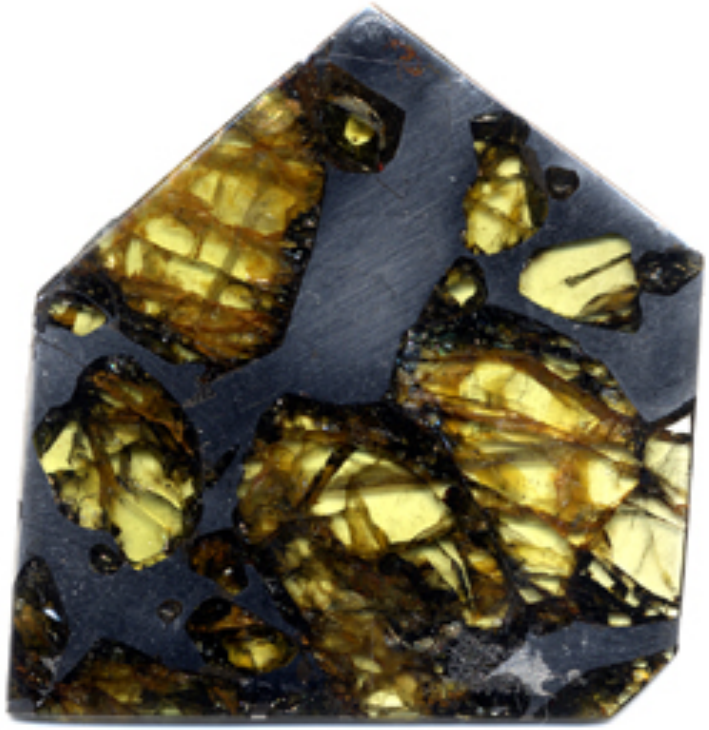
Chondrite







Achondrite



Sidérite

	O	Si	Fe	Ni	Al	Ca	Na	K	S
Pourcentages massiques dans l'ensemble croûte + manteau	39	23	4	0,2	1,3	1,46	0,66	0,26	0,1
Pourcentages massiques dans les chondrites = dans la Terre globale	29,5	17,5	23	1,7	1	1,1	0,5	0,2	0,5

Bilan de masse pour un élément (le fer) : $m_{fer\text{-}Terre} = m_{fer\text{-}manteau} + m_{fer\text{-}noyau}$

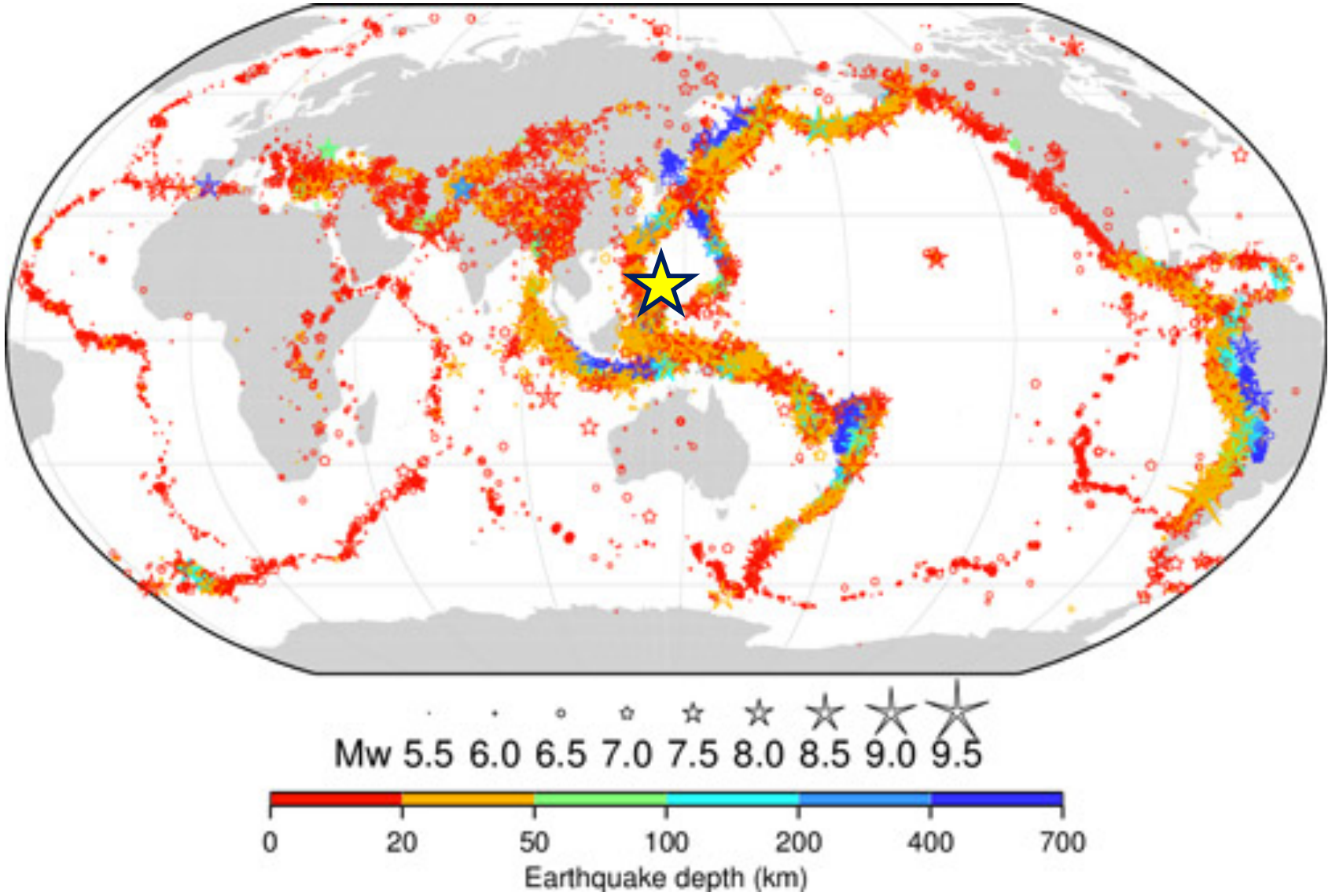
$\%Fer_{Terre} = m_{fer}/m_{terre}$

$m_{Terre} \times \%Fer_{Terre} = 0{,}75\ m_{Terre} \times \%Fer_{manteau} + 0{,}25\ m_{Terre} \times \%Fer_{noyau}$

	O	Si	Fe	Ni	Al	Ca	Na	K	S
Pourcentages massiques dans l'ensemble croûte + manteau	39	23	4	0,2	1,3	1,46	0,66	0,26	0,1
Pourcentages massiques dans les chondrites = dans la Terre globale	29,5	17,5	23	1,7	1	1,1	0,5	0,2	0,5
Pourcentages dans le noyau	1	1	80	6,2	0,1	0,02	0,02	0,02	1,7

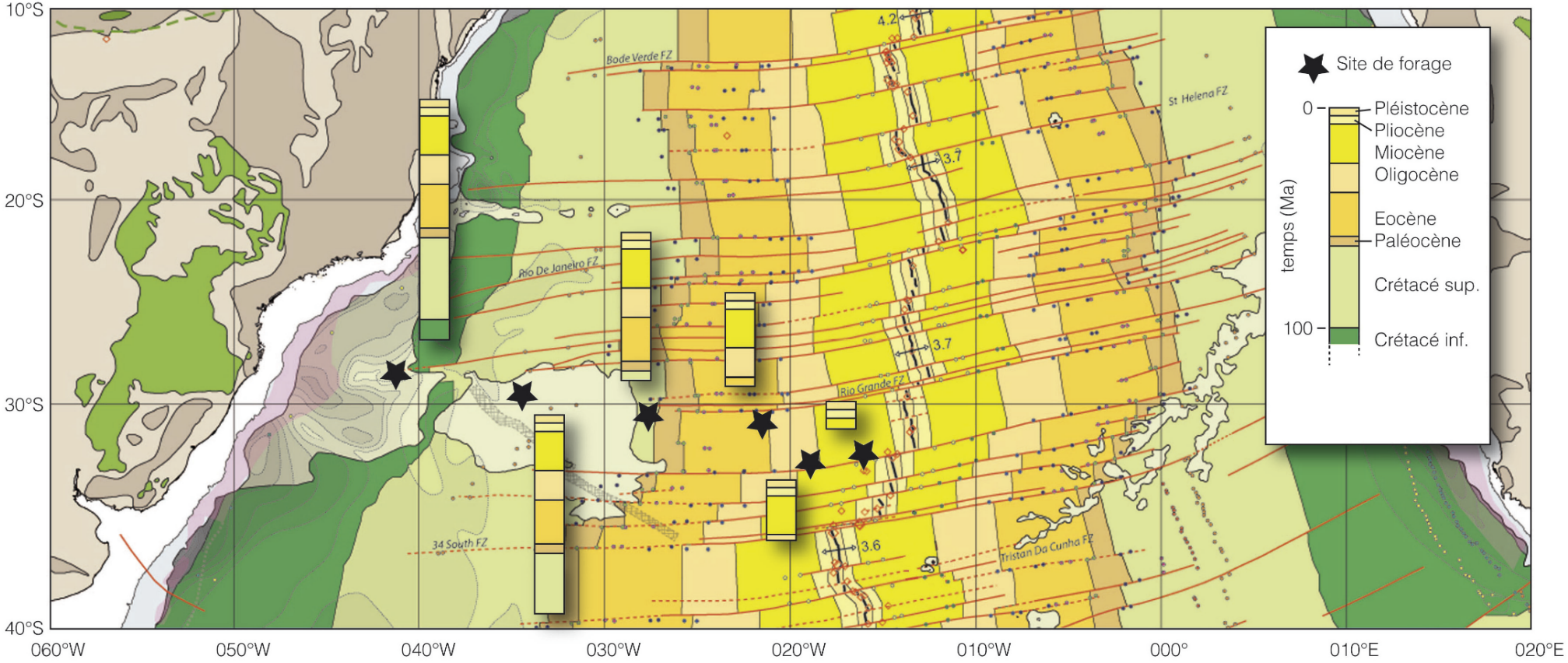
II. La dynamique des enveloppes terrestres

Taïwan, 17-09-22
Magnitude 6,5

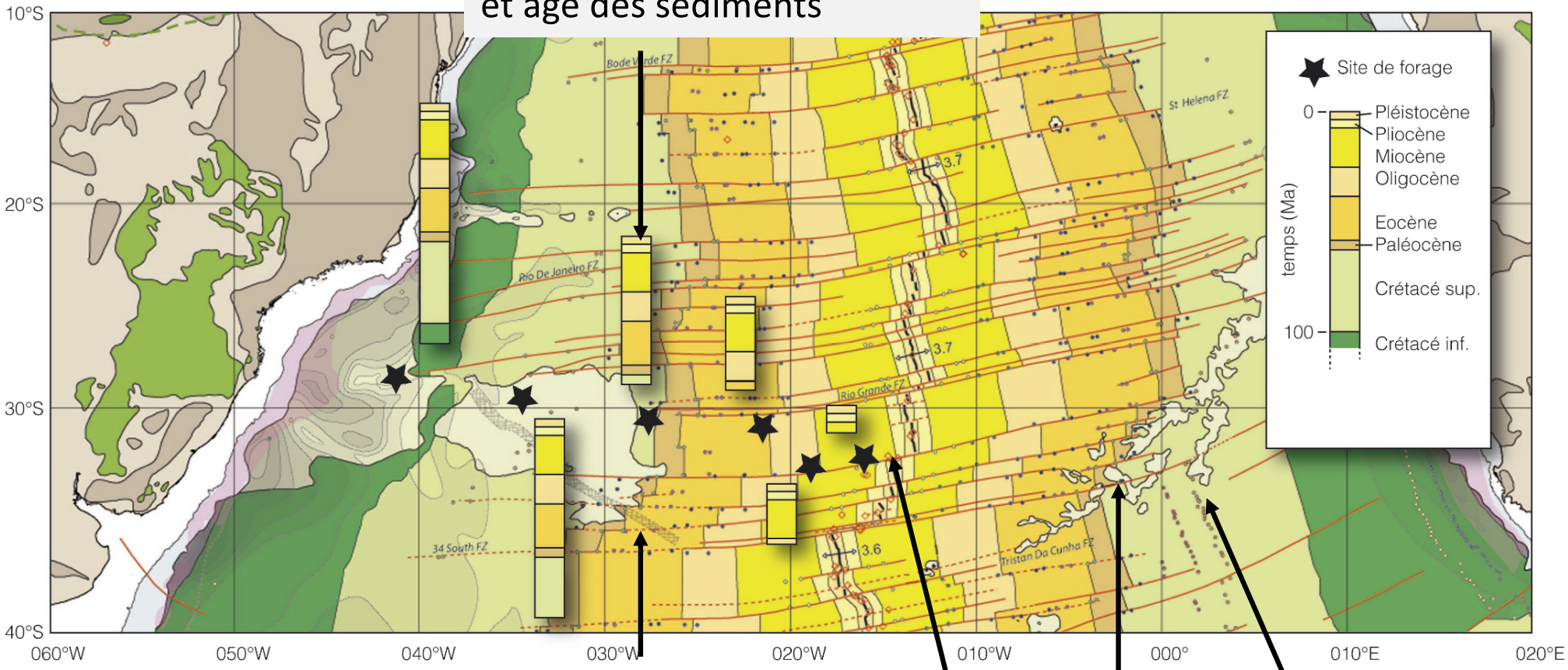


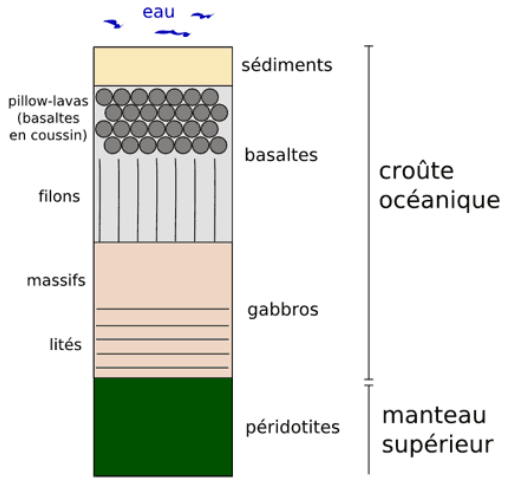
http://www.isc.ac.uk/iscgem/overview.php

Exercice n°3 : exploitation de cartes de fonds océaniques



Carotte de forage : lithologie et âge des sédiments



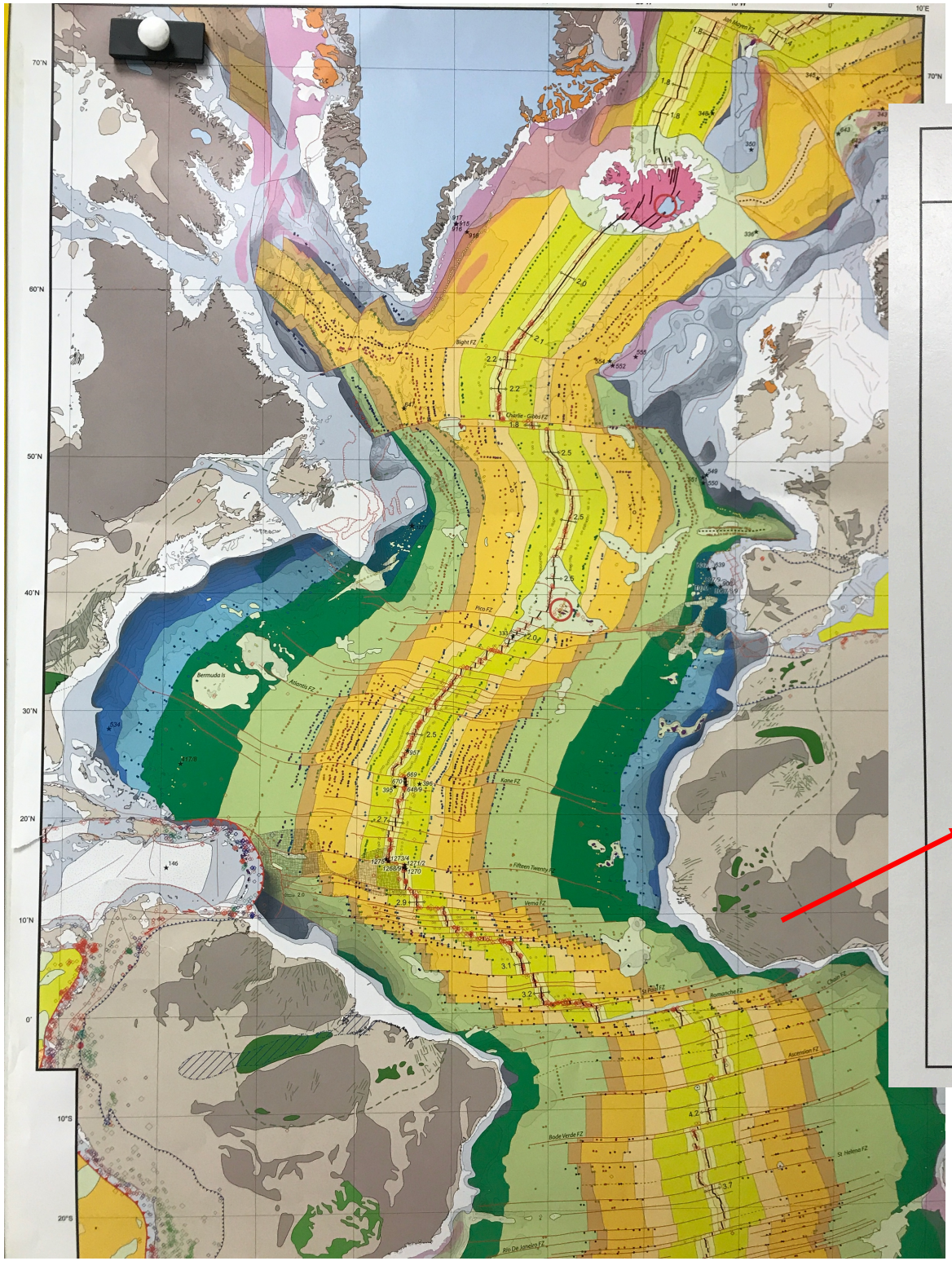


Couleur = âge des sédiments en soubassement = âge des premiers sédiments déposés sur la croûte océanique

Point ou <u>segment</u> = point de mesure d'une anomalie magnétique

Faille transformante

Losange ou <u>rond</u>: foyer de séisme (indications de profondeur dans la légende)

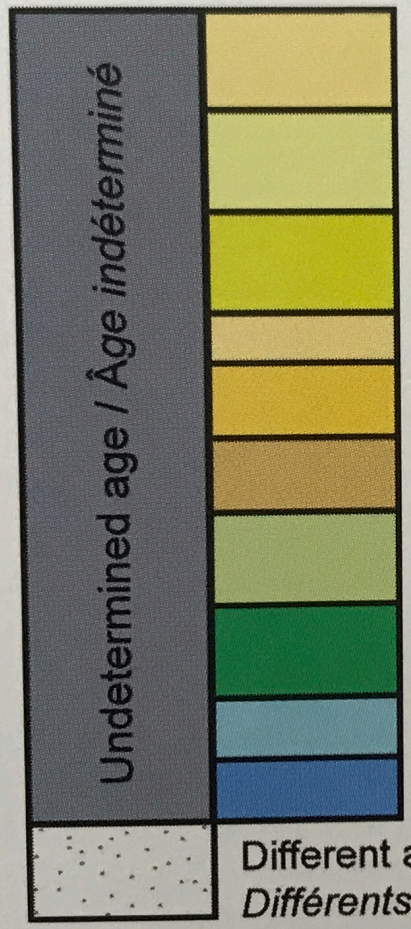


ONSHORE AREAS / *ZONES ÉMERGÉES*

- Ice cap (and ice-shelf in Antarctica)
  Calotte glaciaire (plate-forme de glace en Antarctique)
- Neogene-Quaternary intra-Atlantic volcanism
  a: Iceland; b: small islands
  Volcanisme Néogène-Quaternaire intra-Atlantique
  a : Islande; b : petites îles
- Paleogene volcanism
  Volcanisme Paléogène
- Cenozoic volcanism (Cameroon 'hot line')
  Volcanisme Cénozoïque ('ligne chaude'du Cameroun)
- Parana-Entendeka traps; a: buried in Angola
  Trapps du Parana-Etendeka; a : enfouis en Angola
- Early Cretaceous rifts (3000 m isopach)
  Rifts du Crétacé inférieur (isopaque 3000 m)
- Central Atlantic Magmatic Province (CAMP)
  a: subaerial & buried basaltic flows ; b: sills; c: inferred limit of CAMP extent
  Province Magmatique de l'Atlantique Central (CAMP)
  a : coulées basaltiques affleurantes ou enfouies; b : sills; c: limite supposée de l'extension de la CAMP
- Phanerozoic unspecified
  Phanérozoïque indifférencié
- Precambrian basement outcrop (locally including Lower Paleozoic)
  Socle Précambrien affleurant (incluant localement du Paléozoïque inférieur)
- Limit of the "Alpine" orogens
  Limite des orogènes "alpins"
- Main fault (Caribbean plate); half arrow: sense of slip
  Faille majeure (plaque Caraïbe); demi-flèche : sens du déplacement
- Hotspot
  Point chaud

Oceanic crust / *Croûte océanique*

Age / *Âge*

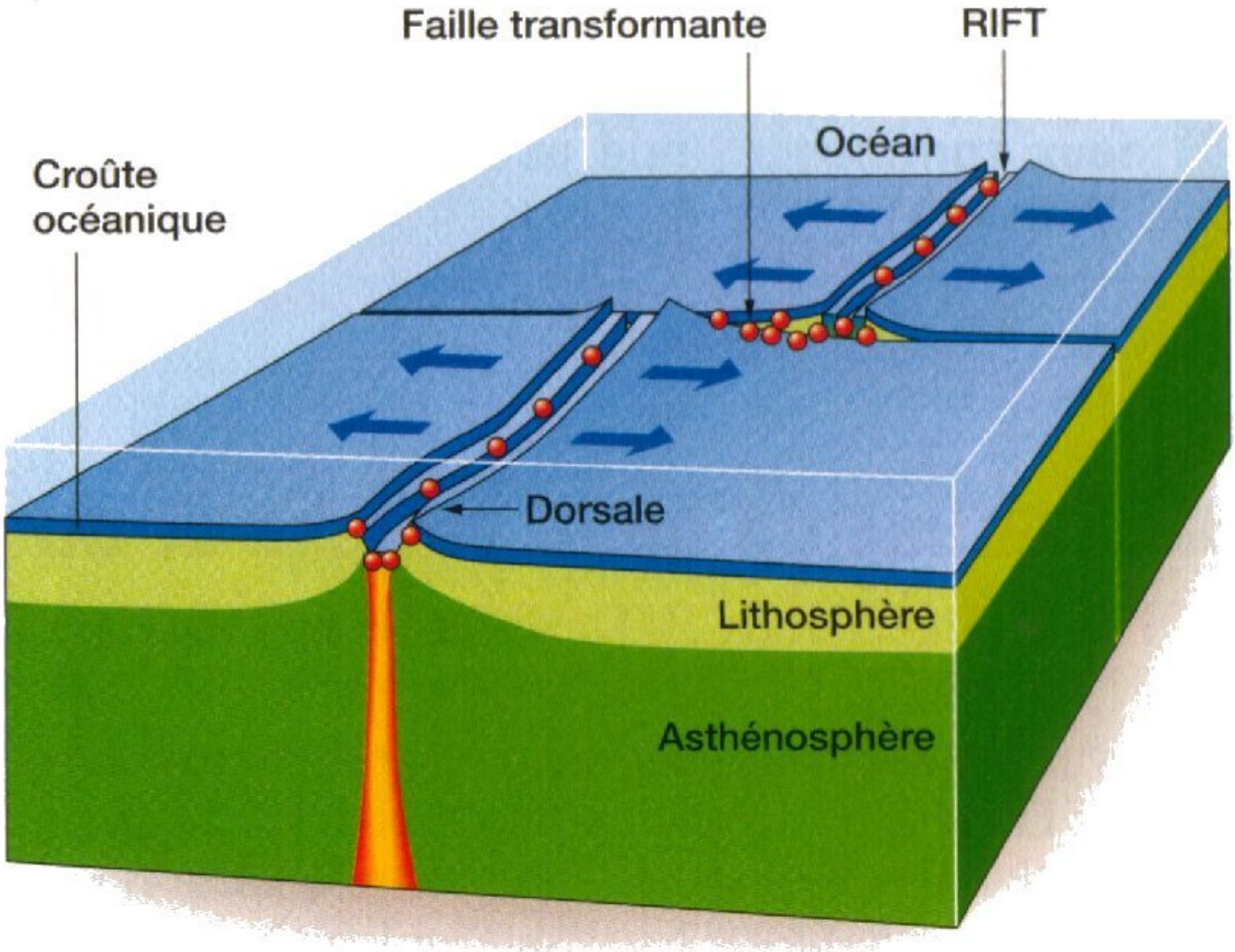


1.81
5.33
23.0
33.9±0.1
55.8±0.2
65.5±0.3
99.6±0.5
145.5
161.2±2
175.6

Quaternary / *Quaternaire*
Pliocene / *Pliocène*
Miocene / *Miocène*
Oligocene / *Oligocène*
Eocene / *Éocène*
Paleocene / *Paléocène*
Upper Cretaceous / *Crétacé sup.*
Lower Cretaceous / *Crétacé inf.*
Upper Jurassic / *Jurassique sup.*
Middle Jurassic / *Jurassique moy.*

Different ages and natures of crust in the Caribbean Sea
Différents âges et natures de croûte dans la mer des Caraïbes

* Chronostratigraphic ages after / *Âges chronostratigraphiques d'après*: F. M. Gradstein & J. G. Ogg (2004) A Geological Time Scale 2004, Cambridge University Press



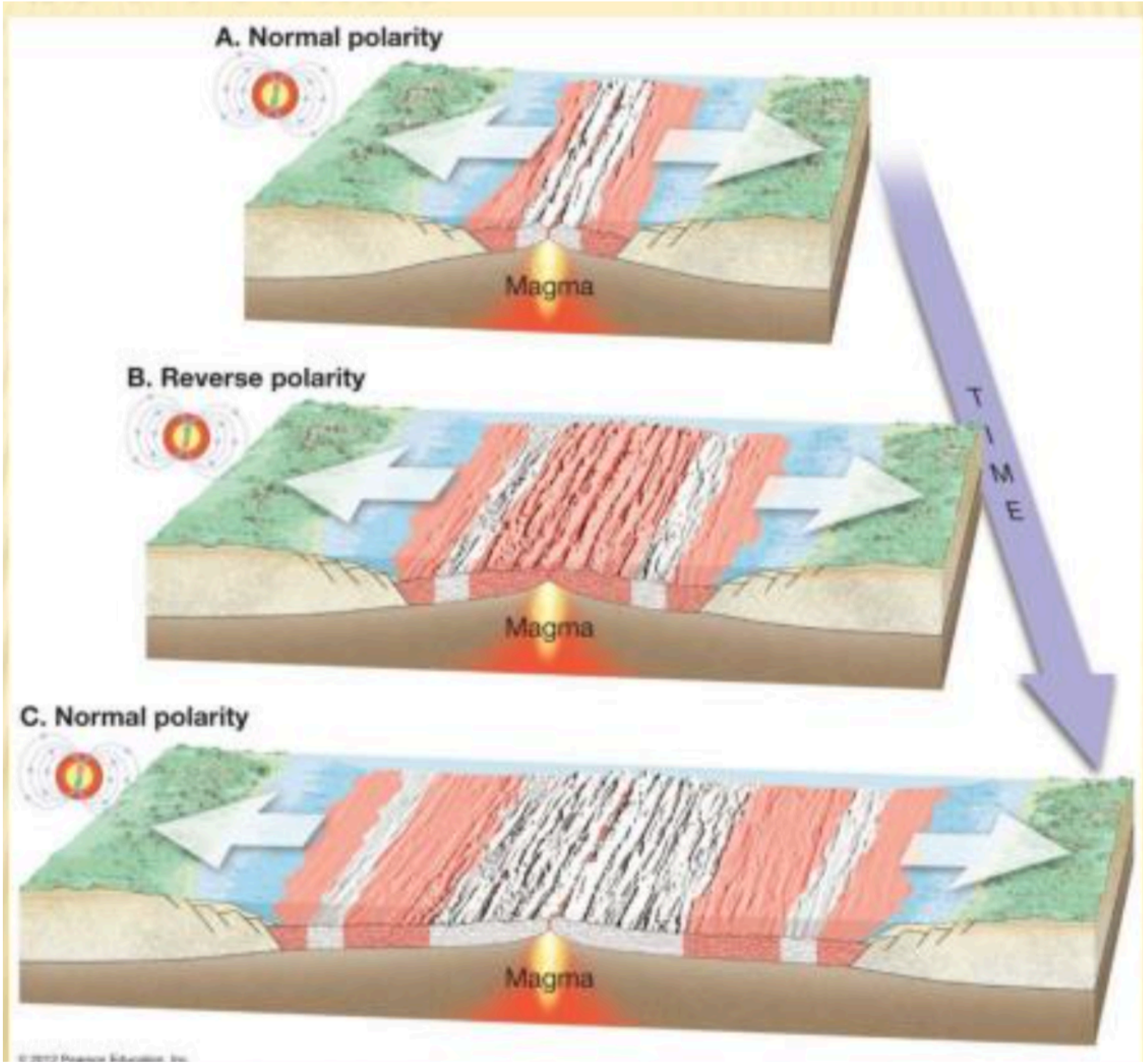
● Foyers des séismes

Faille transformante. La partie de la faille située entre les deux segments de dorsale constitue une frontière entre les deux plaques.

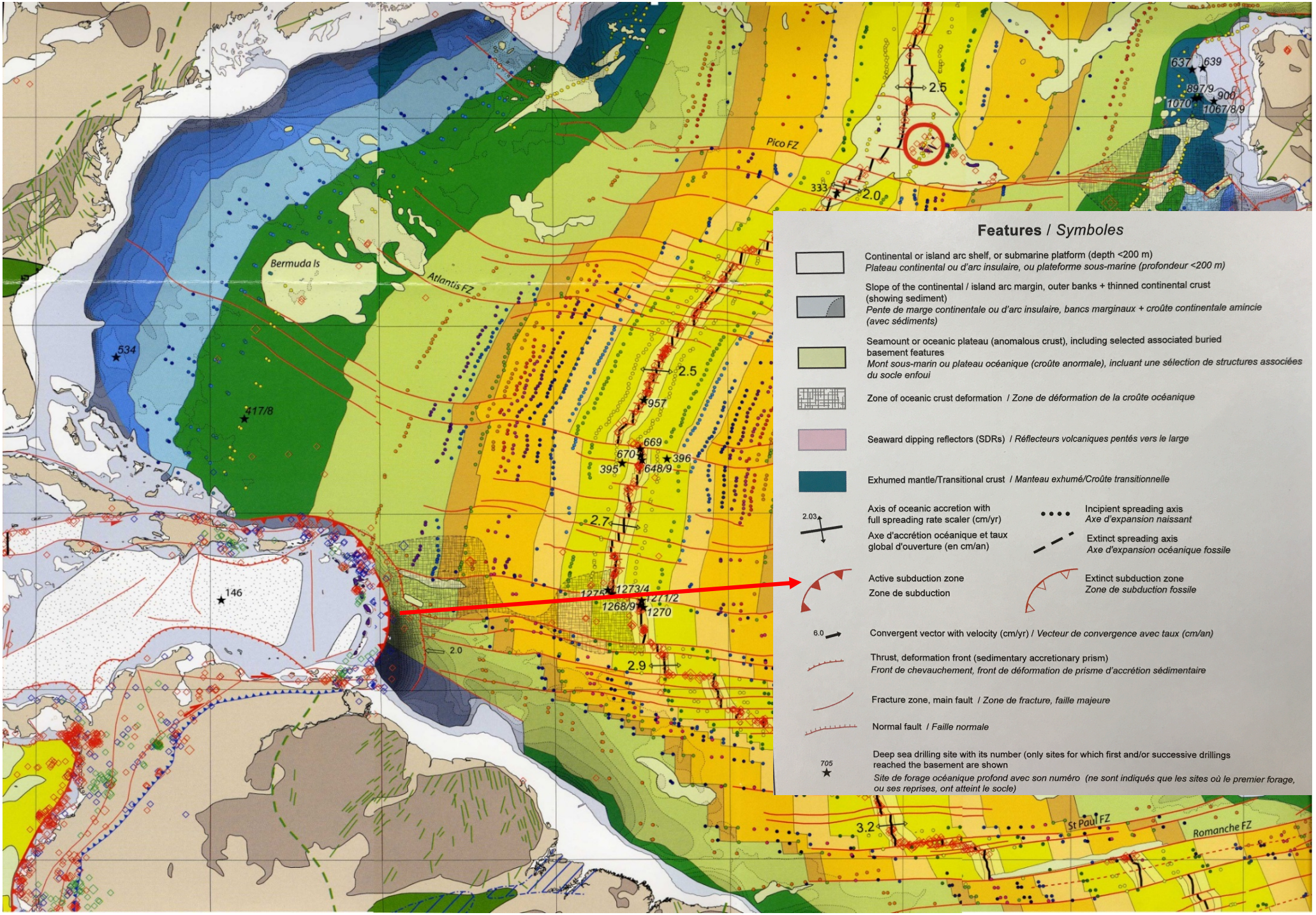
Magnetic anomaly picks
Points de mesure de l'anomalie magnétique

South of the Fifteen Twenty FZ *Au sud de FZ Quinze-Vingt* (after Müller et al. (1997)	South of Newfoundland-Azores-Gibraltar lineation including A13-A34 in the Nfld & Iberia APs. *Au sud de Terre-neuve, Açores-Gibraltar lineation* (after Müller et al. (1999) & Müller et al. (1997)	North of Newfoundland-Azores-Gibraltar lineation *Au nord de Terre-Neuve, Açores-Gibraltar lineation* after Gaina et al. (2002) & Tucholke et al. (2007)
C5o *(10.9 Ma)*	C5y *(9.74 Ma)*	C5o *(10.95 Ma)*
C6o *(20.1 Ma)*	C6y *(19.05 Ma)*	C6o *(20.13 Ma)*
C13y *(33.1 Ma)*	C8y *(25.82 Ma)*	C13y *(33.06 Ma)*
C18o *(40.1 Ma)*	C13y *(33.06 Ma)*	C18o *(40.13 Ma)*
C21o *(47.9 Ma)*	C18y *(38.43 Ma)*	C20o *(43.783 Ma)*
C25y *(55.9 Ma)*	C20y *(Ma)*	C21o *(47.91 Ma)*
C31y *(67.7 Ma)*	C21y *(46.26 Ma)*	C22o *(49.71 Ma)*
C34y *(83.0 Ma)*	C22y *(Ma)*	C24o *(53.35 Ma)*
	C24y *(52.36 Ma)*	C25y *(55.90 Ma)*
	C25y *(55.90 Ma)*	C31y *(67.74 Ma)*
	C30y *(65.58 Ma)*	C33o *(79.08 Ma)*
	C32y *(71.59 Ma)*	C34y *(83.0 Ma)*
	C33o *(79.08 Ma)*	CM0y *(121 Ma)*
	C34y *(83.00 Ma)*	CM3 *(124.05 Ma)*
	CM0y *(121 Ma)*	
	CM4o *(126.72 Ma)*	
	CM10o *(131.88 Ma)*	
	CM16o *(141.9 Ma)*	
	CM20y *(145.09 Ma)*	

y: young - o:old
y: jeune - o: ancien


A. Normal polarity
Magma
B. Reverse polarity
Magma
TIME
C. Normal polarity
Magma

Subduction de l'Océan Atlantique



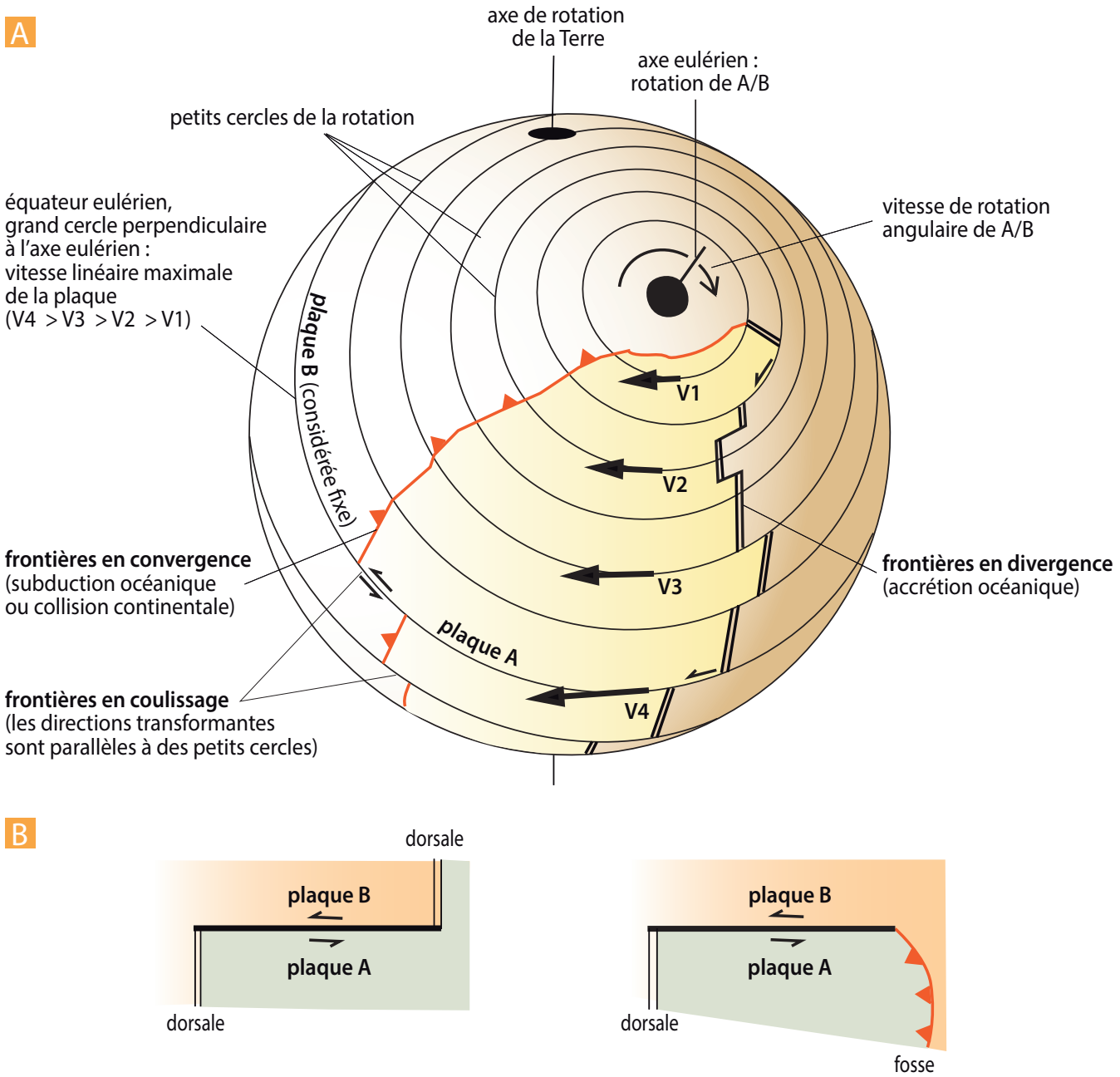
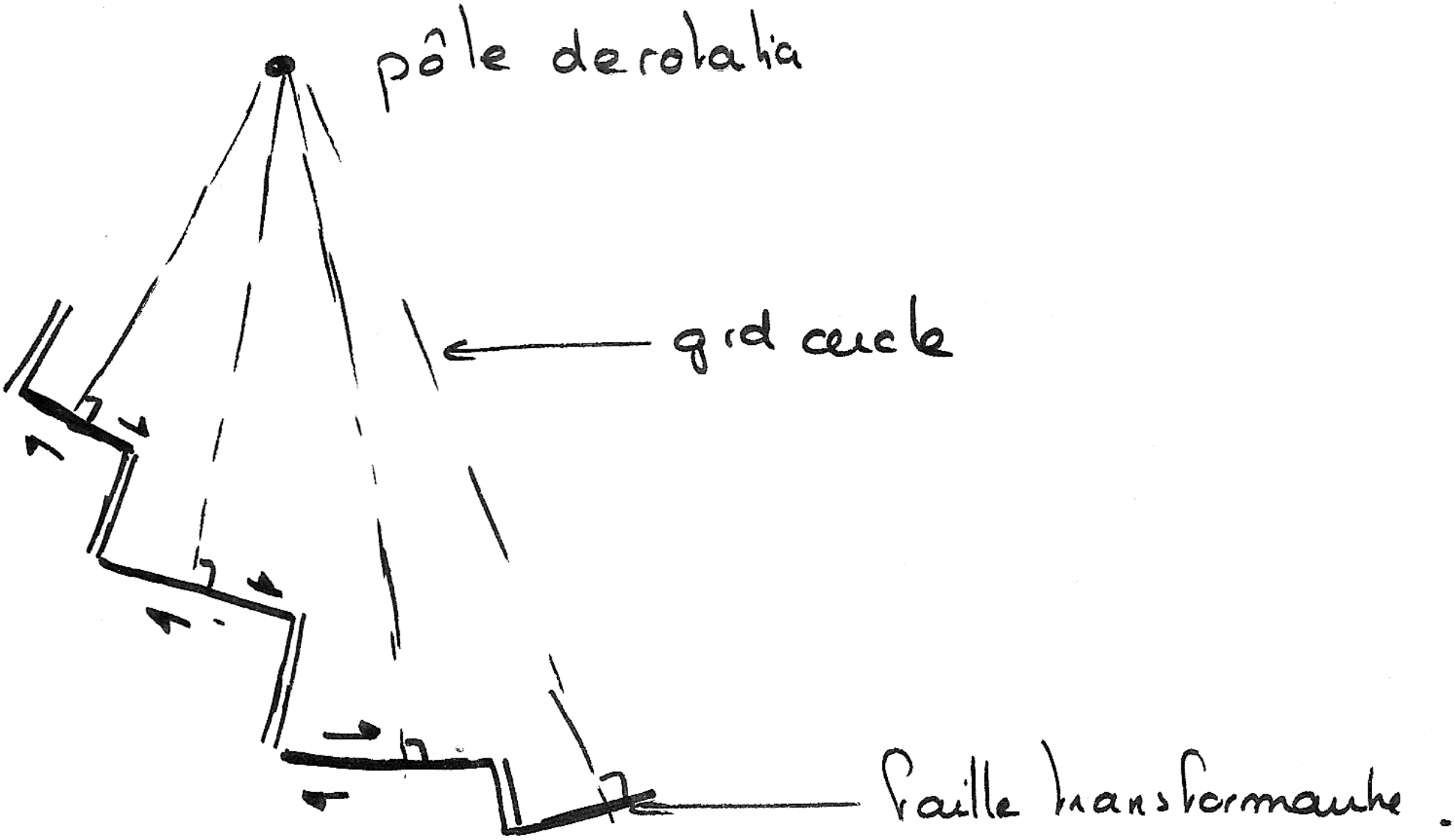
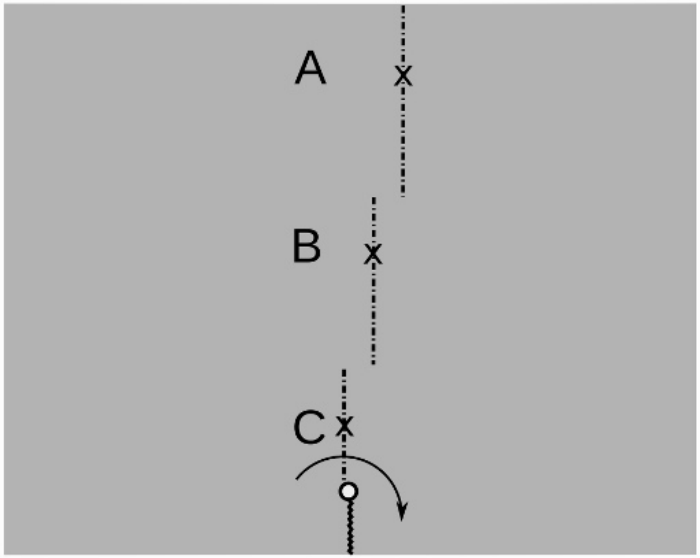


Figure 7.12 Principe de la cinématique des plaques.

A. Définition des principaux paramètres de la cinématique et nature des frontières de plaques.

B. Failles transformantes *Ride-Ride* et *Ride-Fosse* (*Ride* = Dorsale).


pôle de rotation
grd cercle
faille transformante

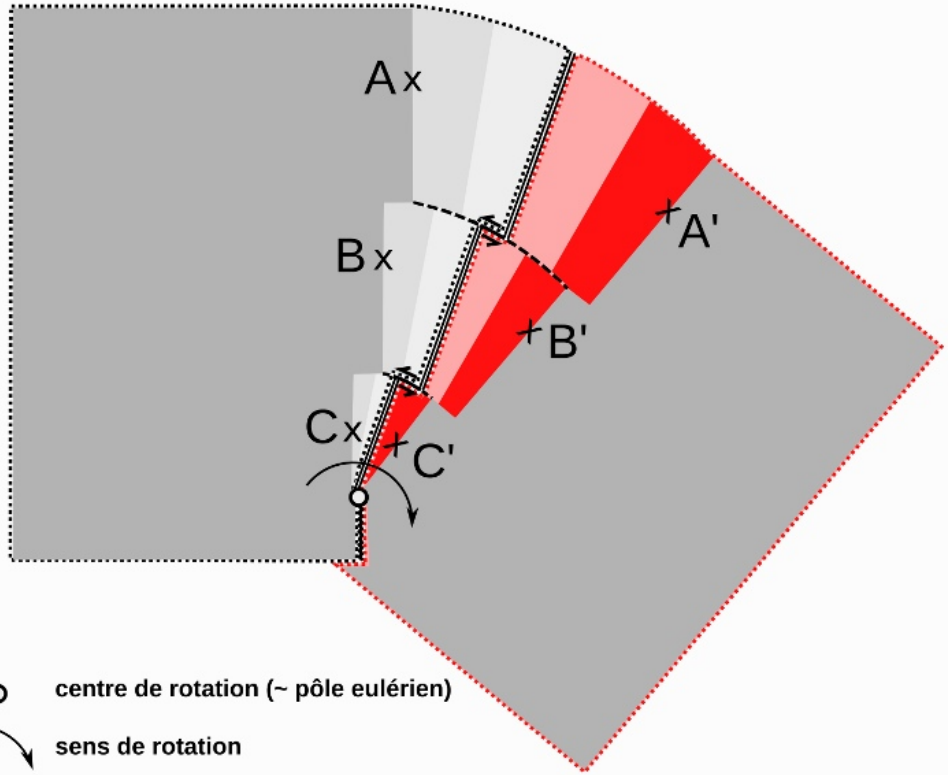


ligne de fracture initiale

ligne de compression initiale

centre de rotation (~ pôle eulérien)

sens de rotation



centre de rotation (~ pôle eulérien)

sens de rotation

zone de subduction

décrochement sismiquement actif

ligne sismiquement inactive

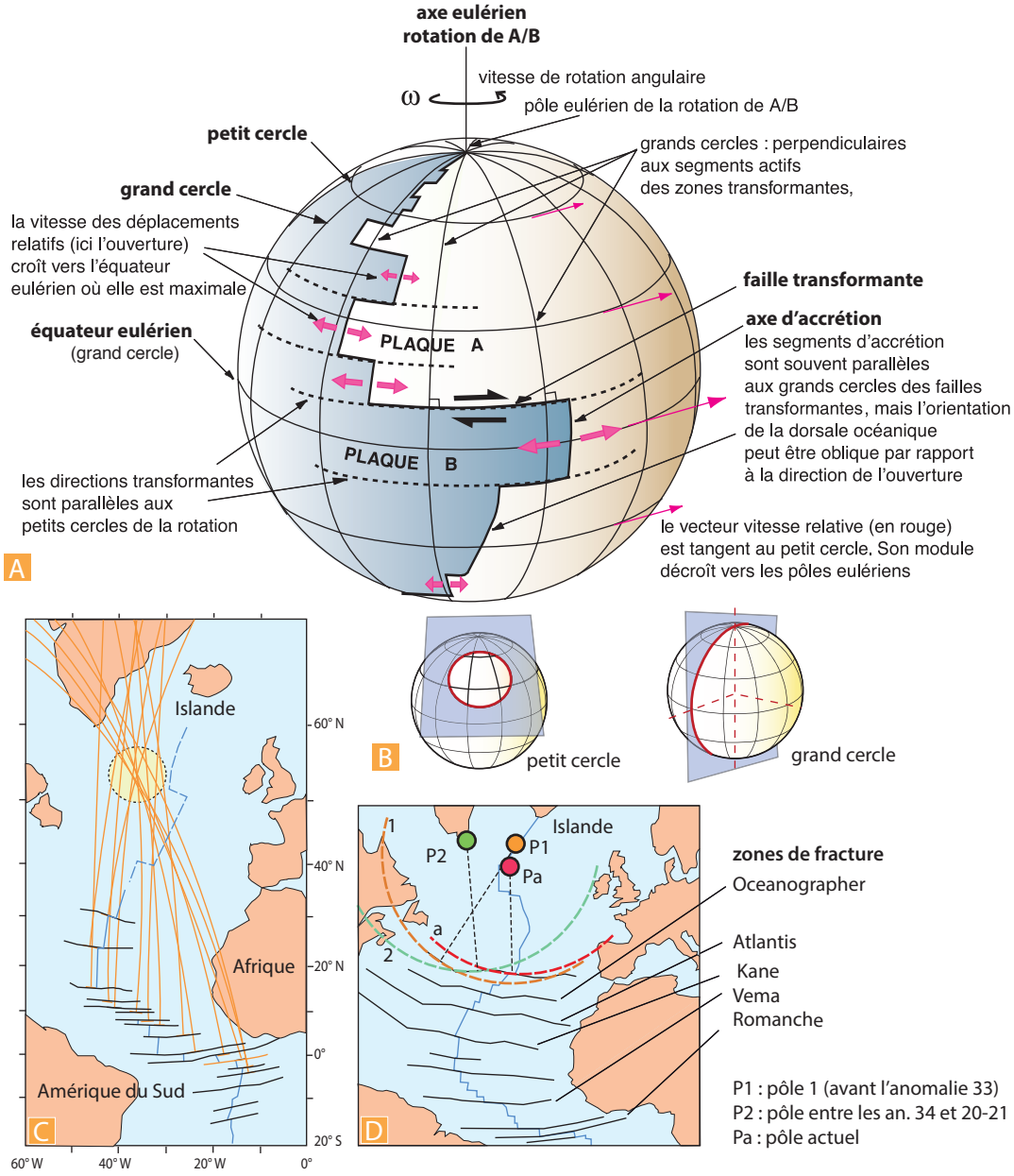


Figure 7.13 **Les propriétés géométriques des frontières des plaques.**

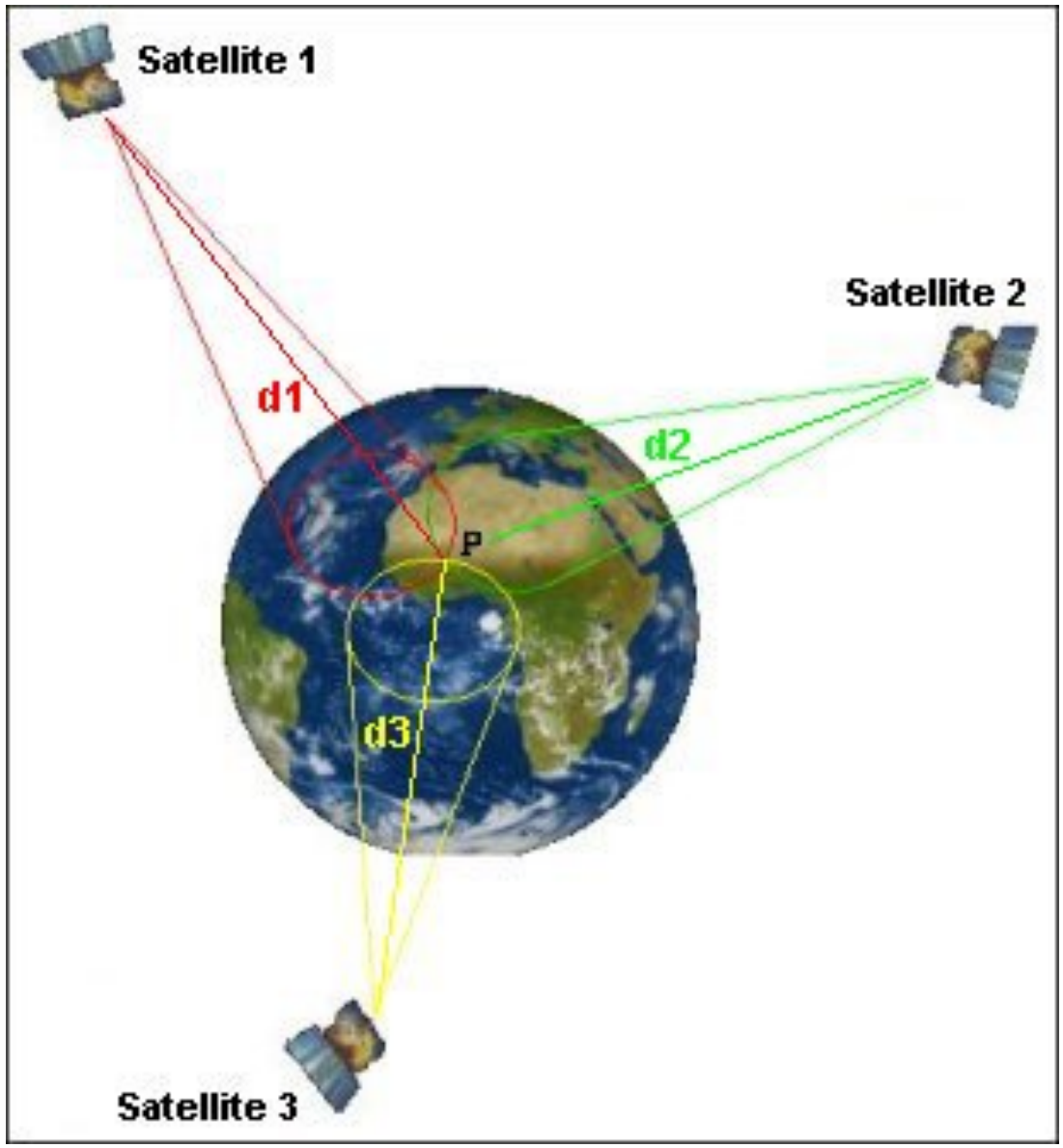
A. Cas d'un globe comprenant deux plaques (voir encart 7.10).

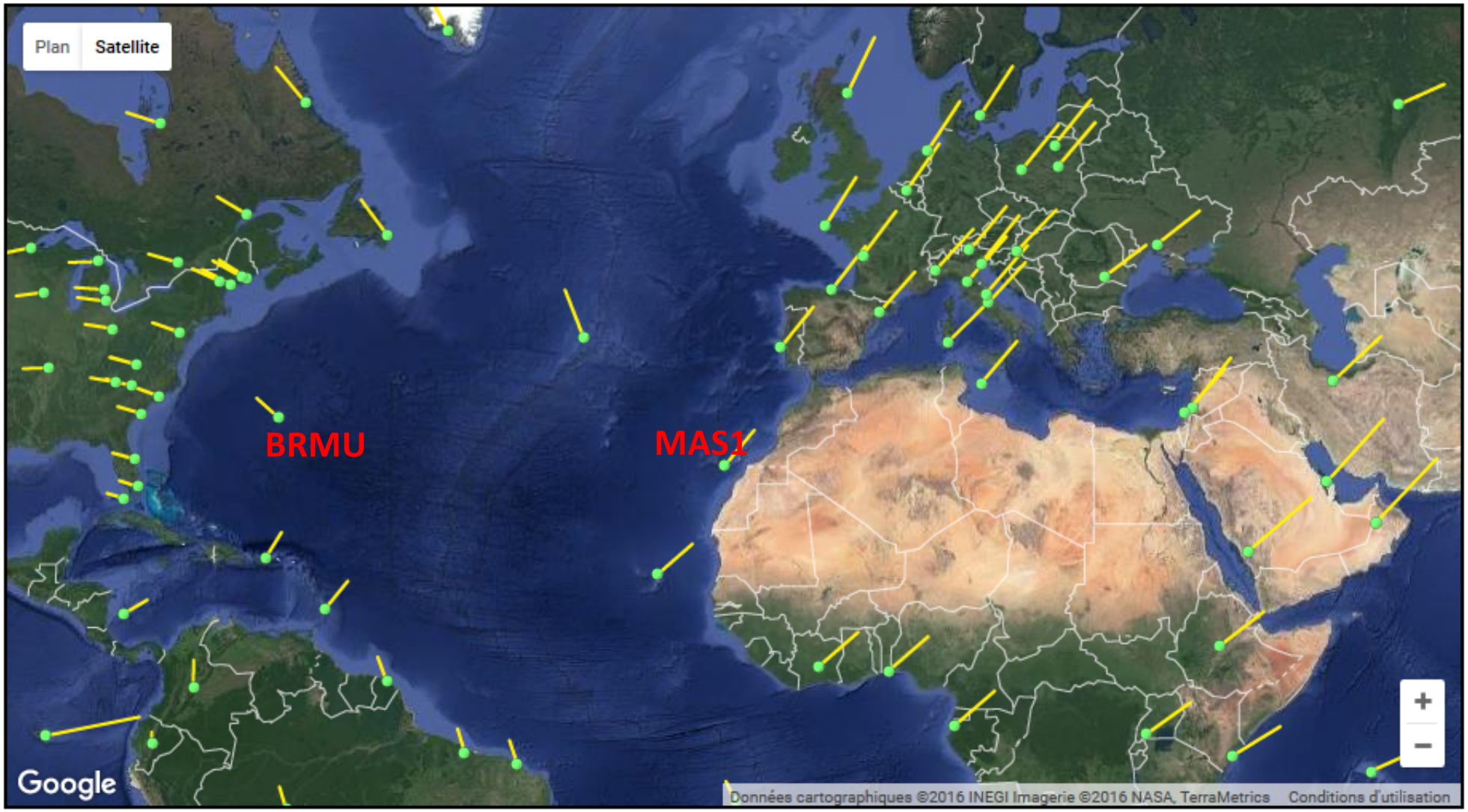
B. Grand cercle et petit cercle : définitions géométriques

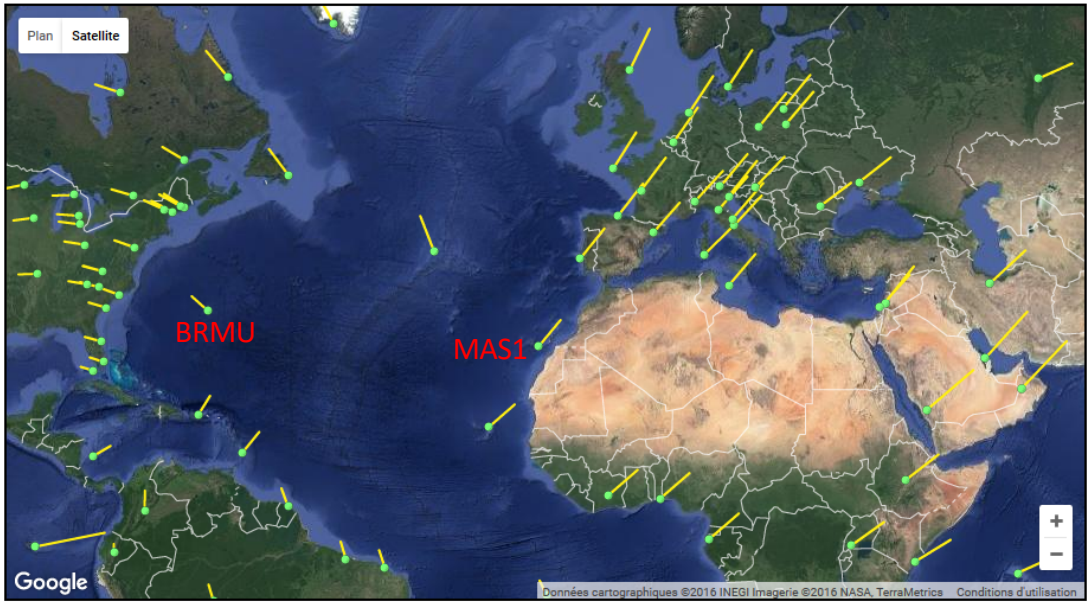
C. Utilisation de l'orientation des zones de fracture pour déterminer le pôle de rotation entre deux plaques : exemple des plaques Afrique et Amérique du Sud.

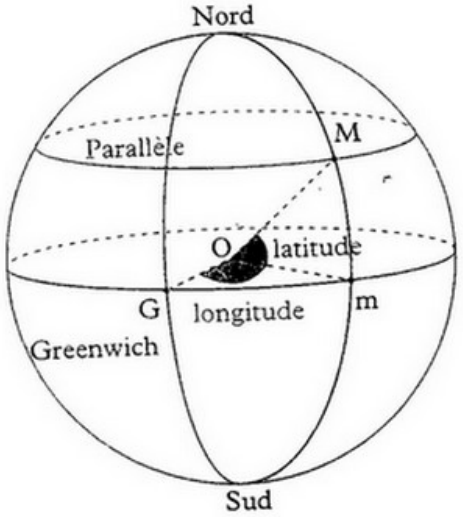
D. Utilisation de la segmentation des zones de fracture pour déterminer les variations de la position des pôles de rotation : exemple de l'Atlantique central (commentaire encart 7.11).

Principe du système de localisation GPS



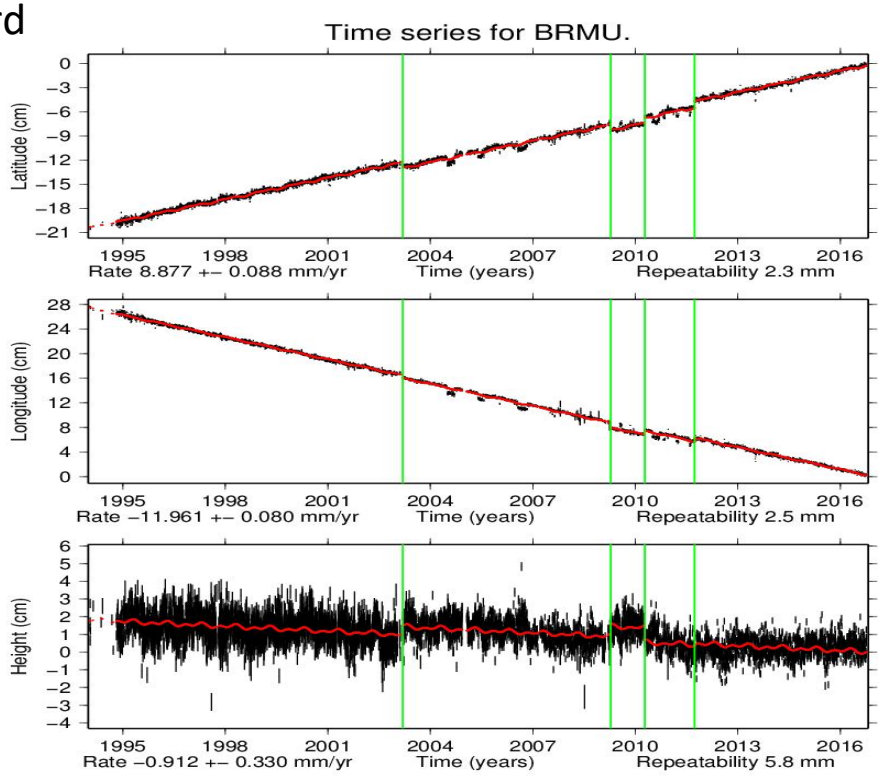

Plan
Satellite
BRMU
MAS1
Google
Données cartographiques ©2016 INEGI Imagerie ©2016 NASA, TerraMetrics
Conditions d'utilisation

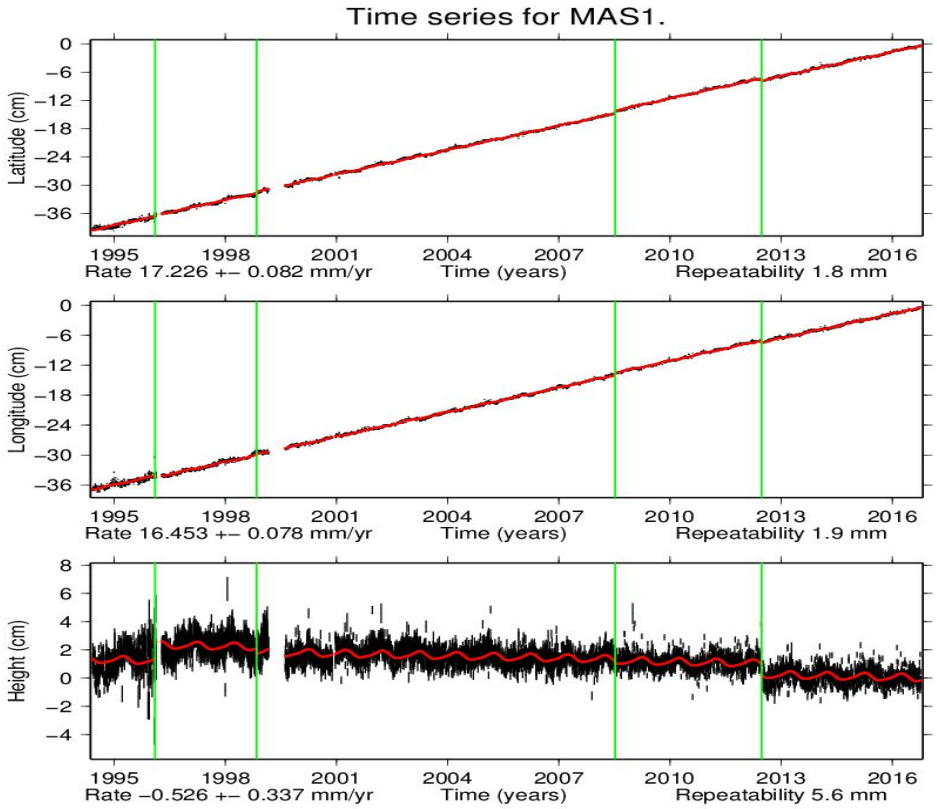

Plan
Satellite
BRMU
MAS1
Google
Données cartographiques ©2016 INEGI Imagerie ©2016 NASA, TerraMetrics
Conditions d'utilisation

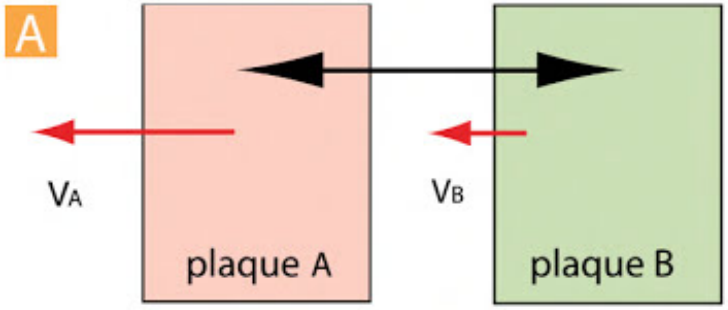

Nord
Parallèle
M
O
latitude
G
longitude
m
Greenwich
Sud

Nord

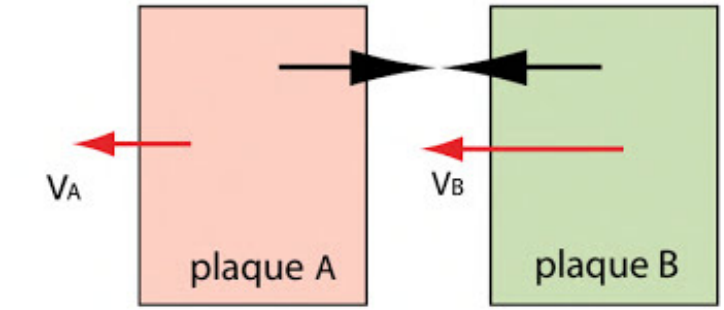
Est


Time series for BRMU.
Latitude (cm)
Rate 8.877 +– 0.088 mm/yr
Time (years)
Repeatability 2.3 mm
Longitude (cm)
Rate –11.961 +– 0.080 mm/yr
Time (years)
Repeatability 2.5 mm
Height (cm)
Rate –0.912 +– 0.330 mm/yr
Time (years)
Repeatability 5.8 mm

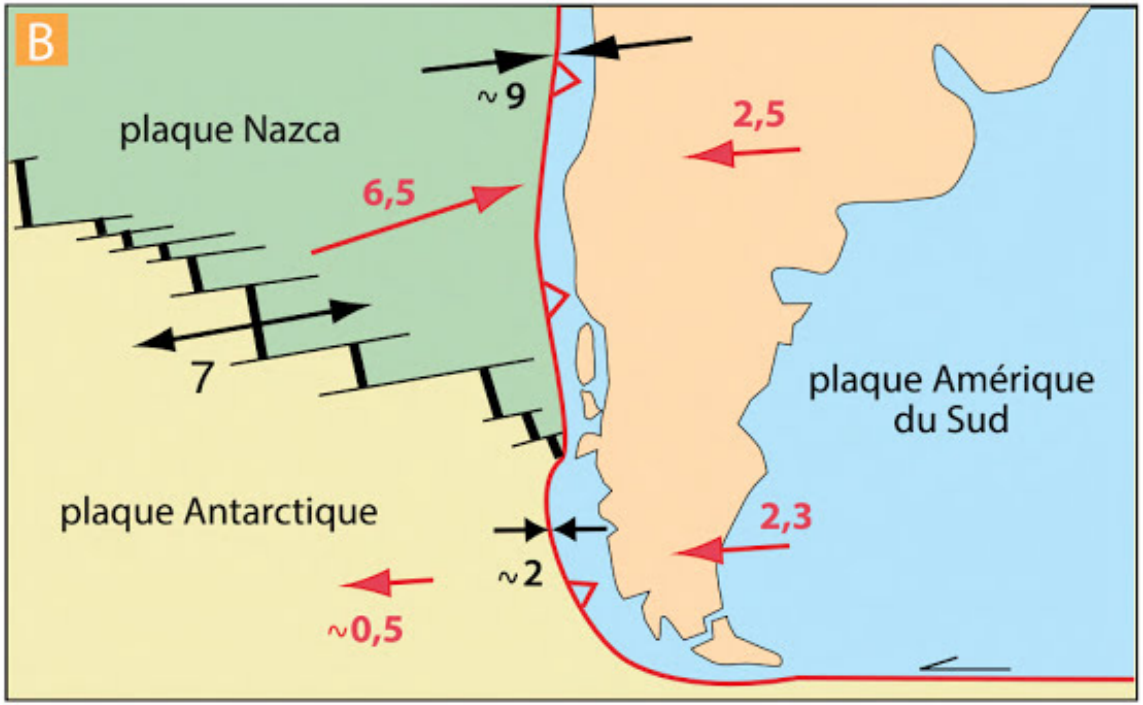

Time series for MAS1.
Latitude (cm)
Rate 17.226 +– 0.082 mm/yr
Time (years)
Repeatability 1.8 mm
Longitude (cm)
Rate 16.453 +– 0.078 mm/yr
Time (years)
Repeatability 1.9 mm
Height (cm)
Rate –0.526 +– 0.337 mm/yr
Time (years)
Repeatability 5.6 mm



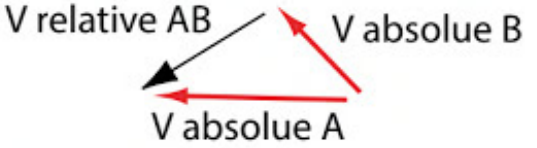
1. VA > VB, mouvement relatif en divergence



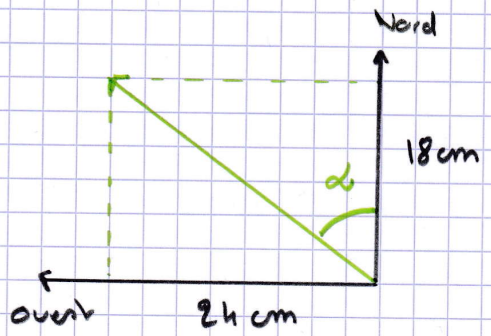
2. VA < VB, mouvement relatif en convergence



C Triangle des vitesses



Déplacement BRHU (2a ans)

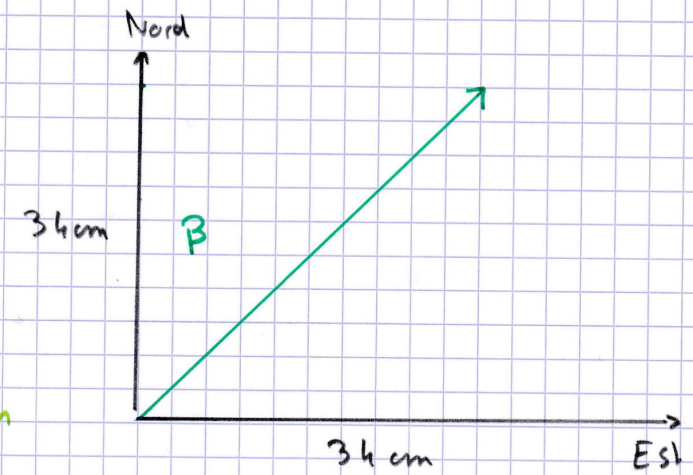


déplacement: $\sqrt{18^2+24^2} = 30\text{cm}$

vitesse : $v = 1,5\text{ cm/an}$

azimut : $-53°$

Déplacement HAS1 (20 ans)

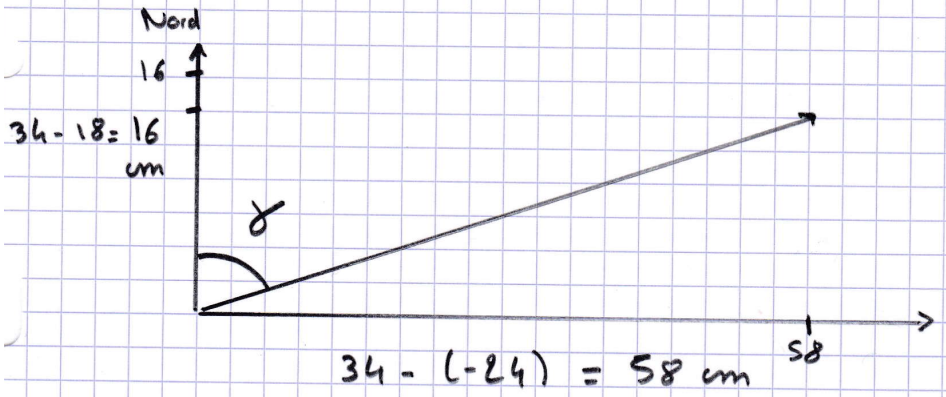


déplacement: $\sqrt{34^2+34^2} = 48\text{cm}$

vitesse : $v = 2,4\text{ cm/an}$

azimut : $45°$

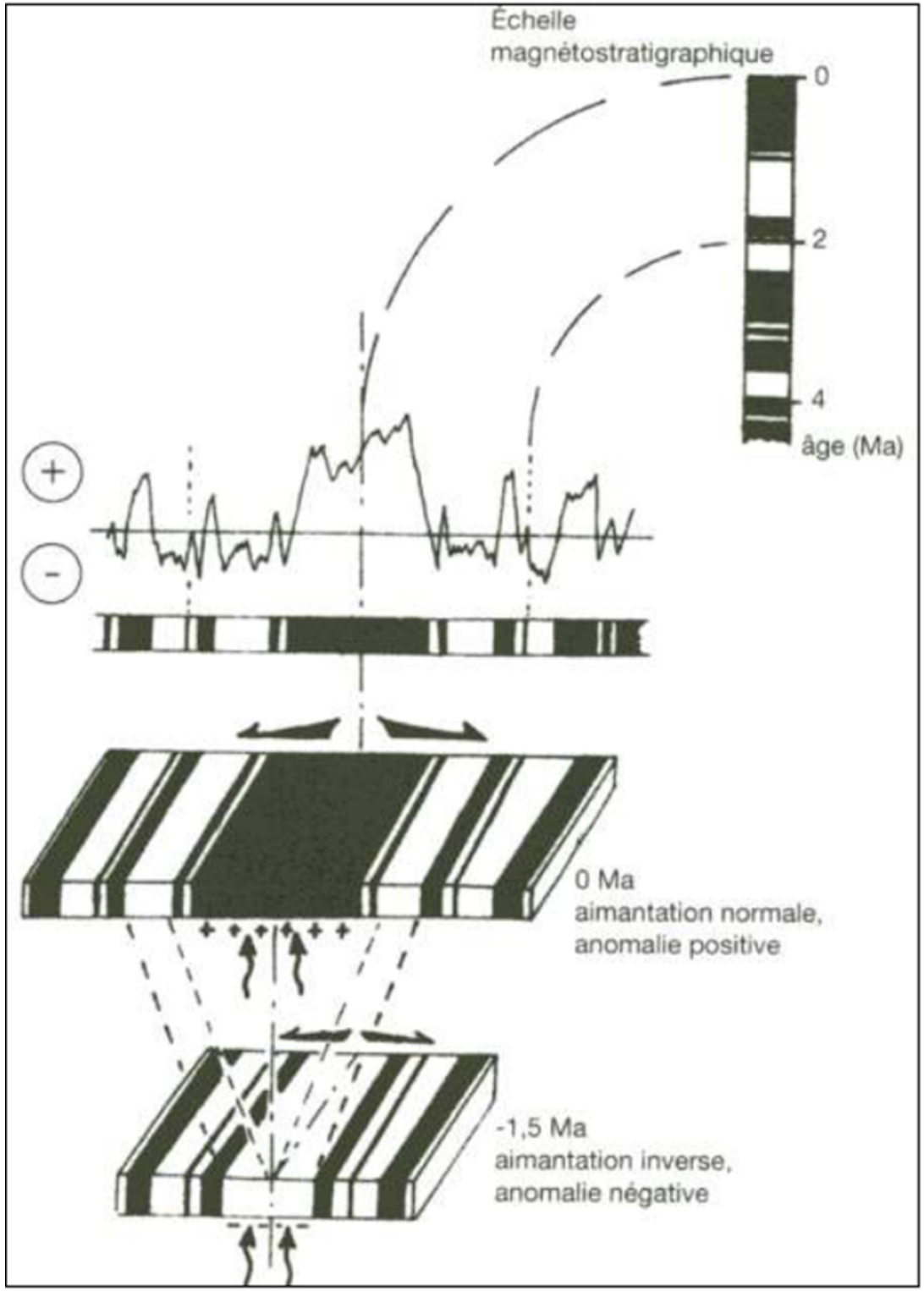
Déplacement relatif.



déplacement: $\sqrt{16^2+58^2} = 60,2\text{ cm}$

vitesse : 3 cm/an

azimut : 74°


Échelle
magnétostratigraphique
0
2
4
âge (Ma)
+
-
0 Ma
aimantation normale,
anomalie positive
-1,5 Ma
aimantation inverse,
anomalie négative

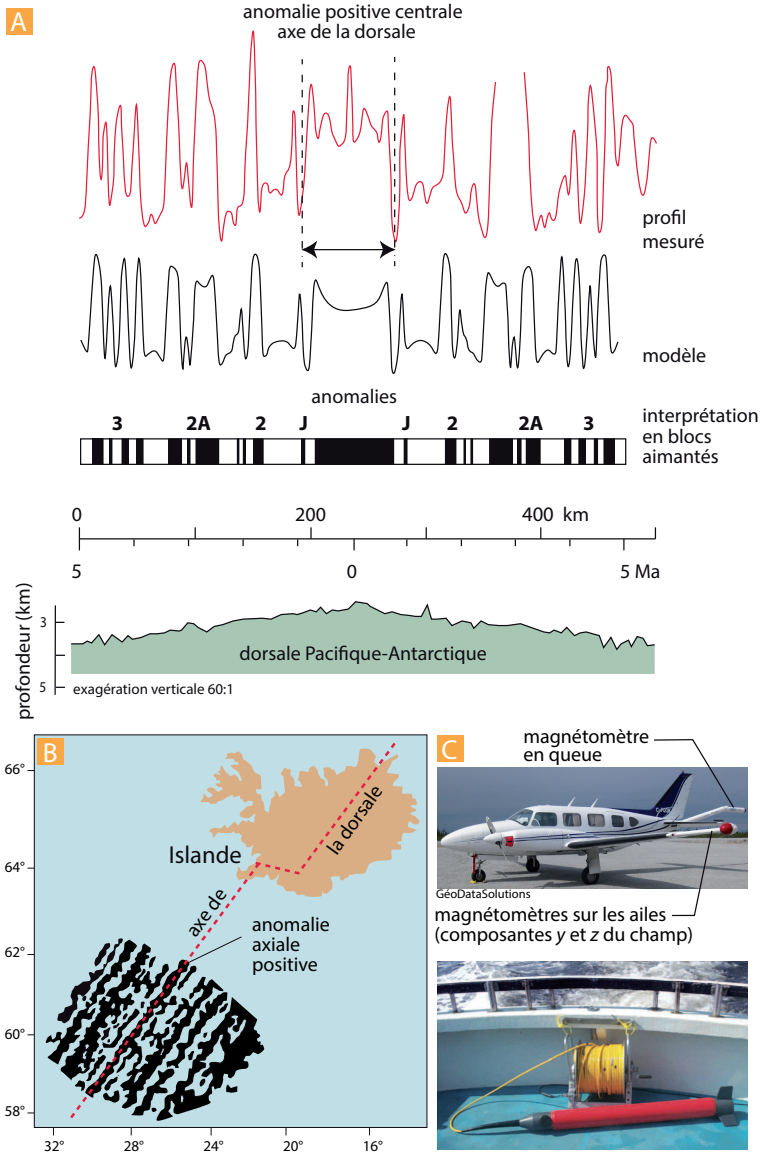
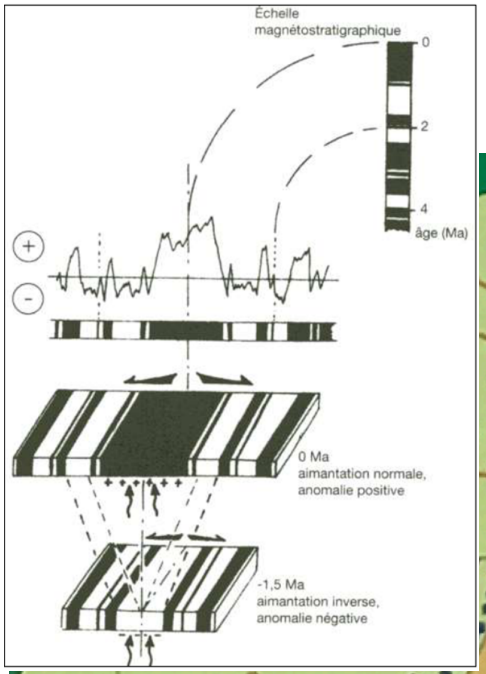


Figure 6.46 Les anomalies magnétiques et leurs mesures.

A. Exemple d'enregistrement du champ magnétique terrestre sur un profil perpendiculaire à une dorsale océanique. La courbe rouge correspond au profil des mesures, on notera la « tendance » à la symétrie par rapport à la dorsale et la corrélation avec la courbe théorique (en noire) calculée à partir de l'hypothèse de Vine et Mattews. En complément sont donnés une interprétation du profil magnétique en termes d'anomalies magnétiques (à comparer avec la figure 6.40), la topographie de la dorsale, l'étendue kilométrique du profil et l'âge des fonds océaniques par rapport à l'axe de la dorsale.

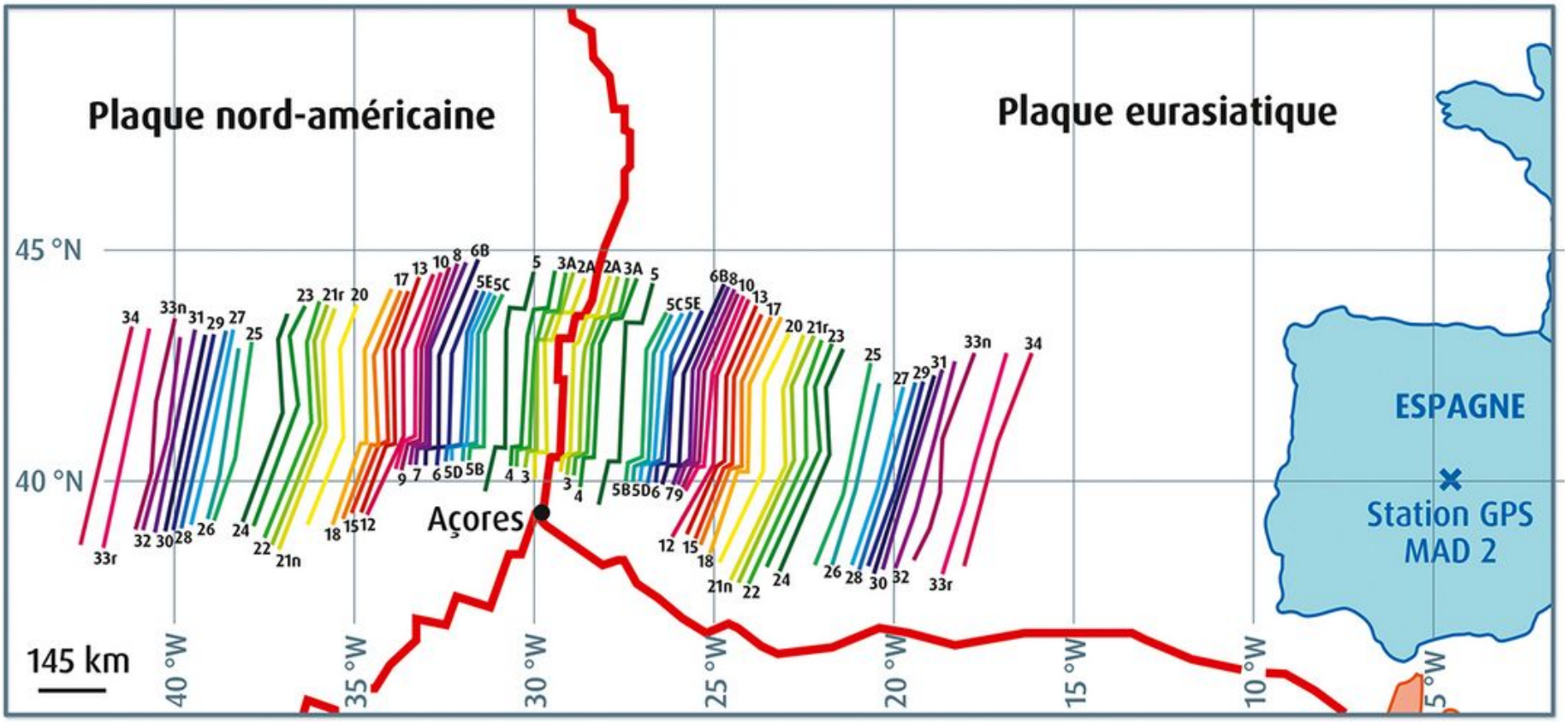
B. Une carte fondatrice montrant la symétrie des anomalies magnétiques au-dessus des dorsales océaniques. Levé aéromagnétique obtenu en 1966 par Heirtzler *et al.* au-dessus de la dorsale de Reykjanes au sud de l'Islande.

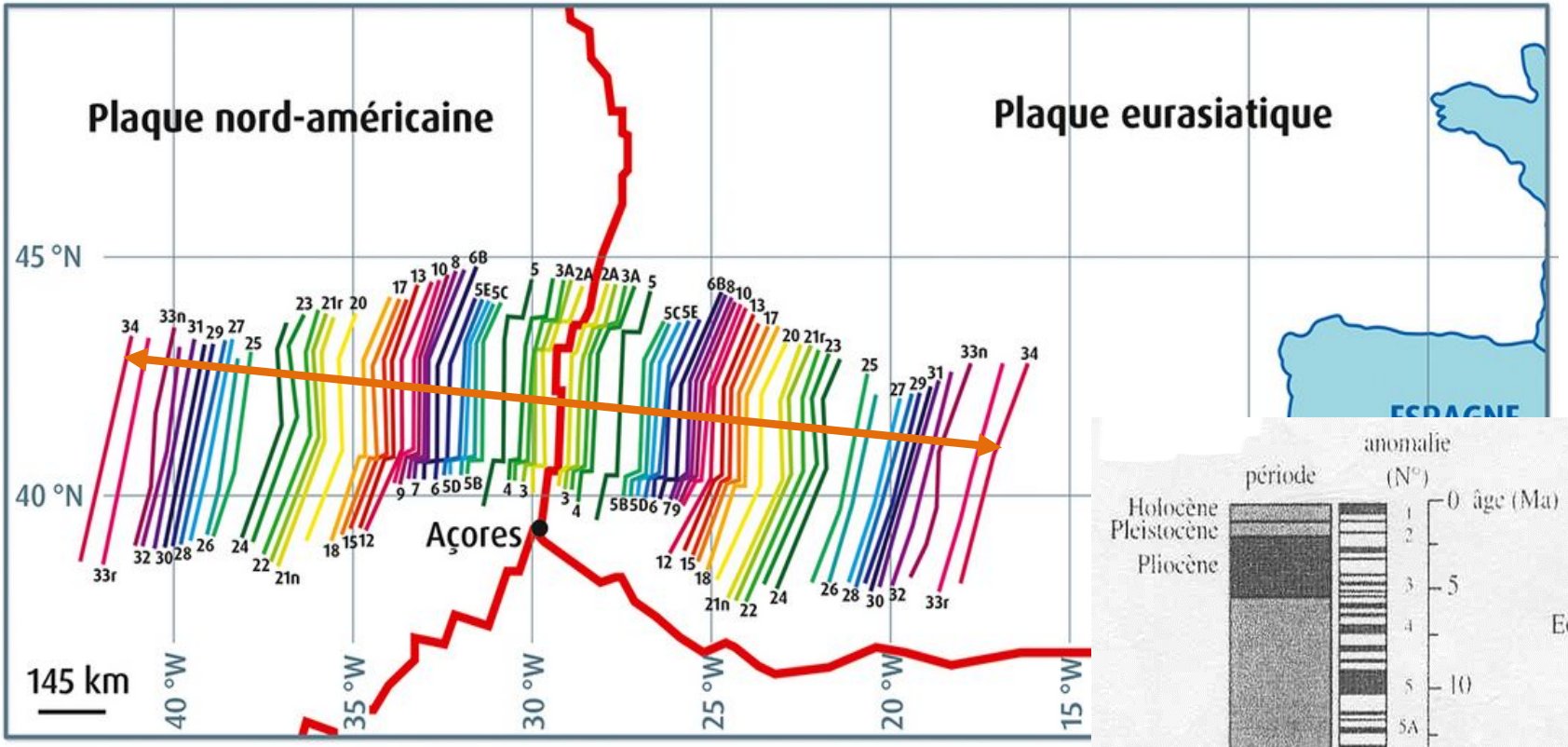
C. Exemple de magnétomètres embarqués dans les airs ou en mer (GéoDataSolutions, H. Ondréas (bas)).



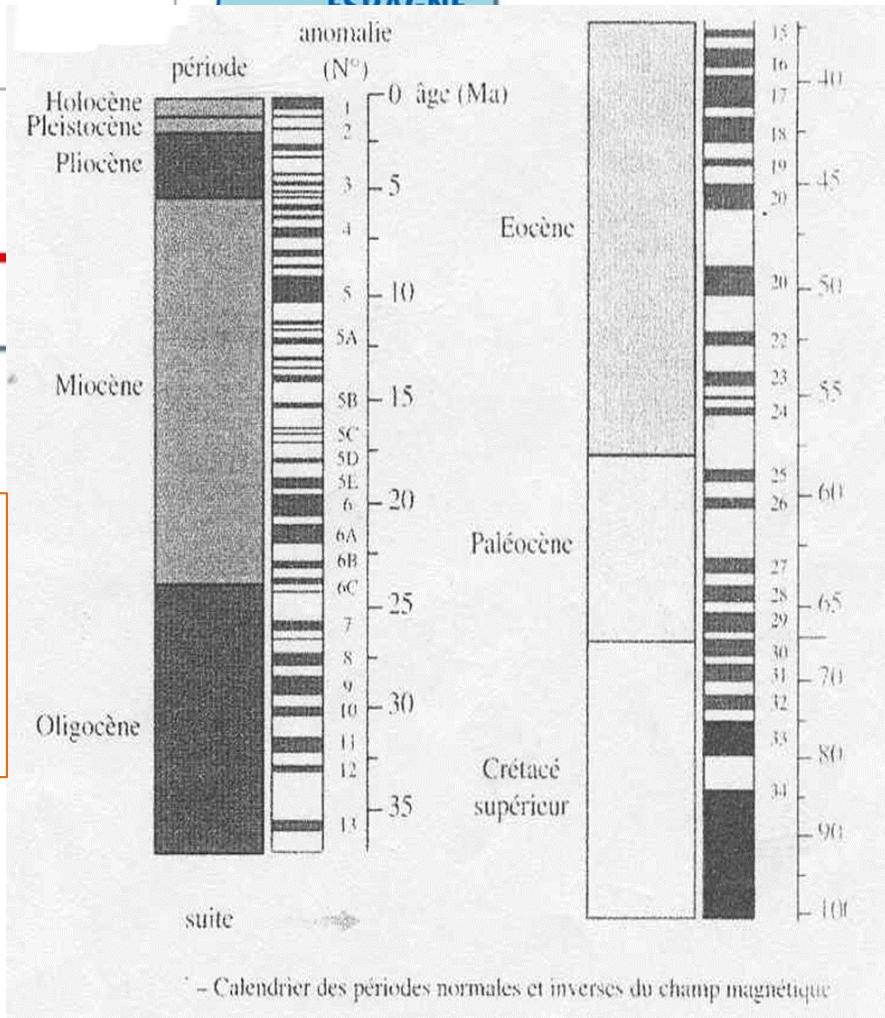
2.5
957
669
670
396
395
648/9
Kane FZ
2.7
1273/4

Carte des anomalies magnétiques de l'Atlantique nord (entre 40°N et 45°N de latitude)





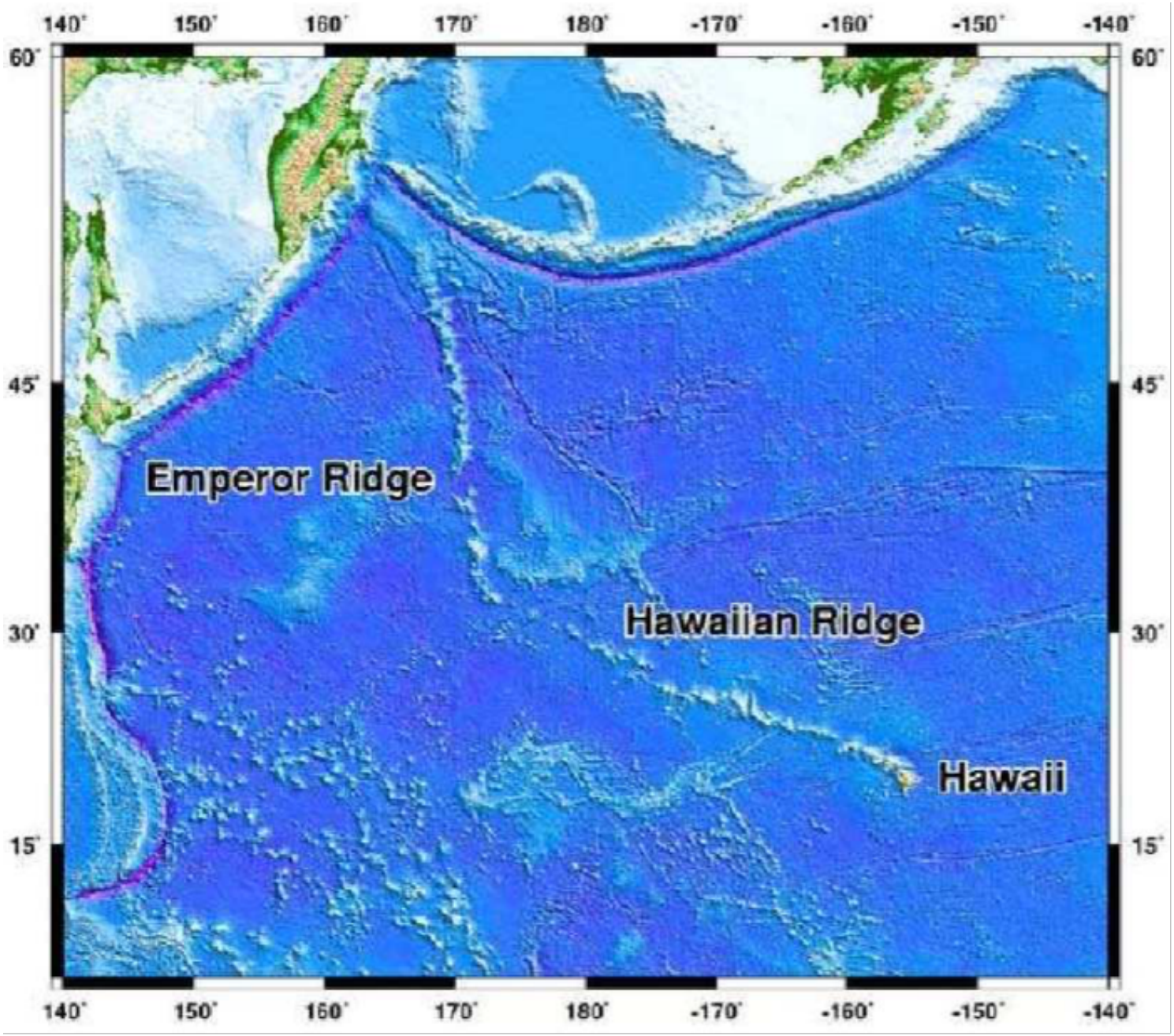
Avec l'anomalie 34 (85 Ma) : 2030 km de plancher océanique produit en 85 Ma **de part et d'autre de la dorsale** d'où une vitesse d'expansion océanique de **24 mm/an.**



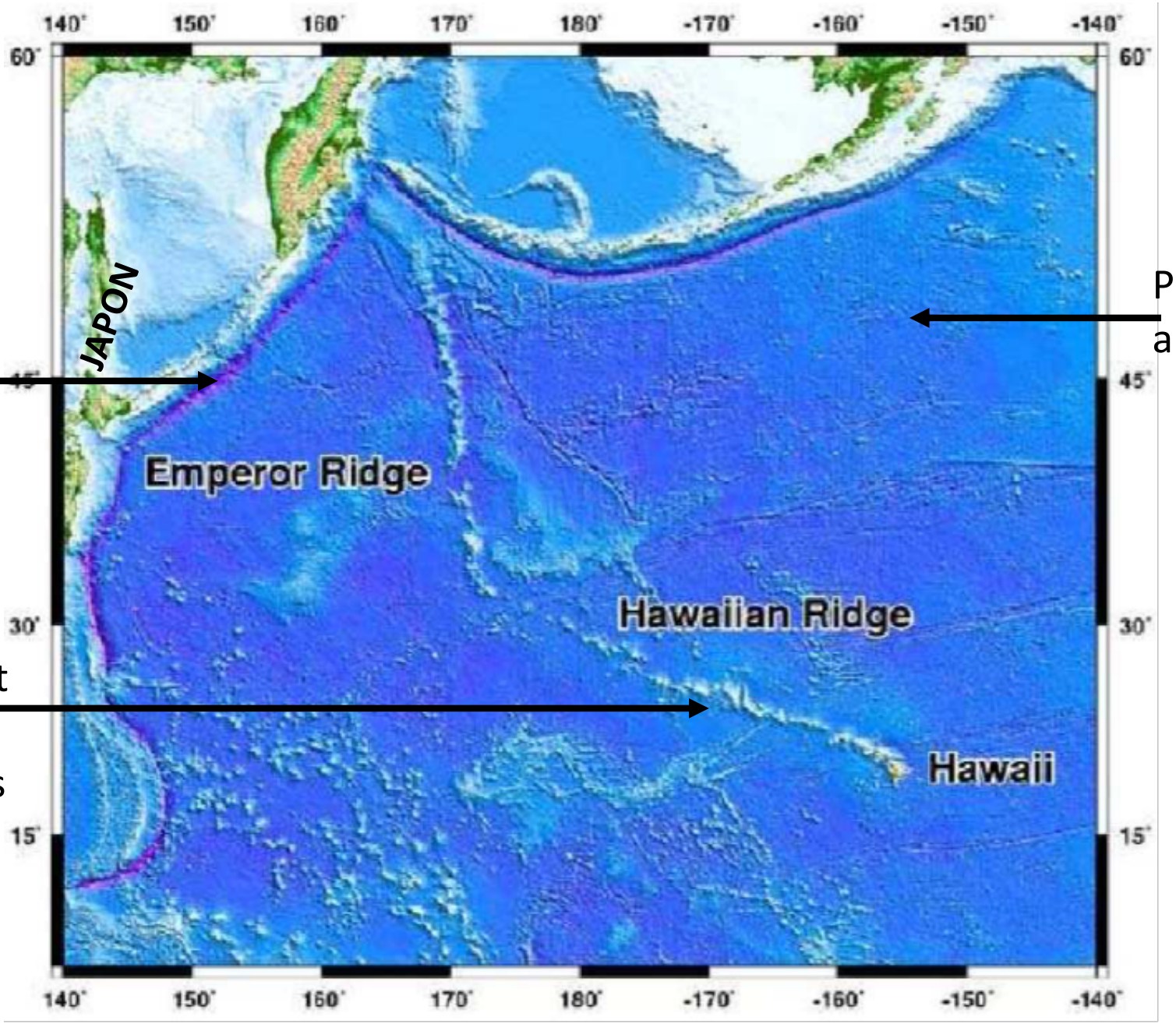
– Calendrier des périodes normales et inverses du champ magnétique

Echelle magnétostratigraphique

<u>Exercice n°4</u> : caractérisation des mouvements horizontaux de la tectonique des plaques



<u>Exercice n°8</u> : caractérisation des mouvements horizontaux de la tectonique des plaques

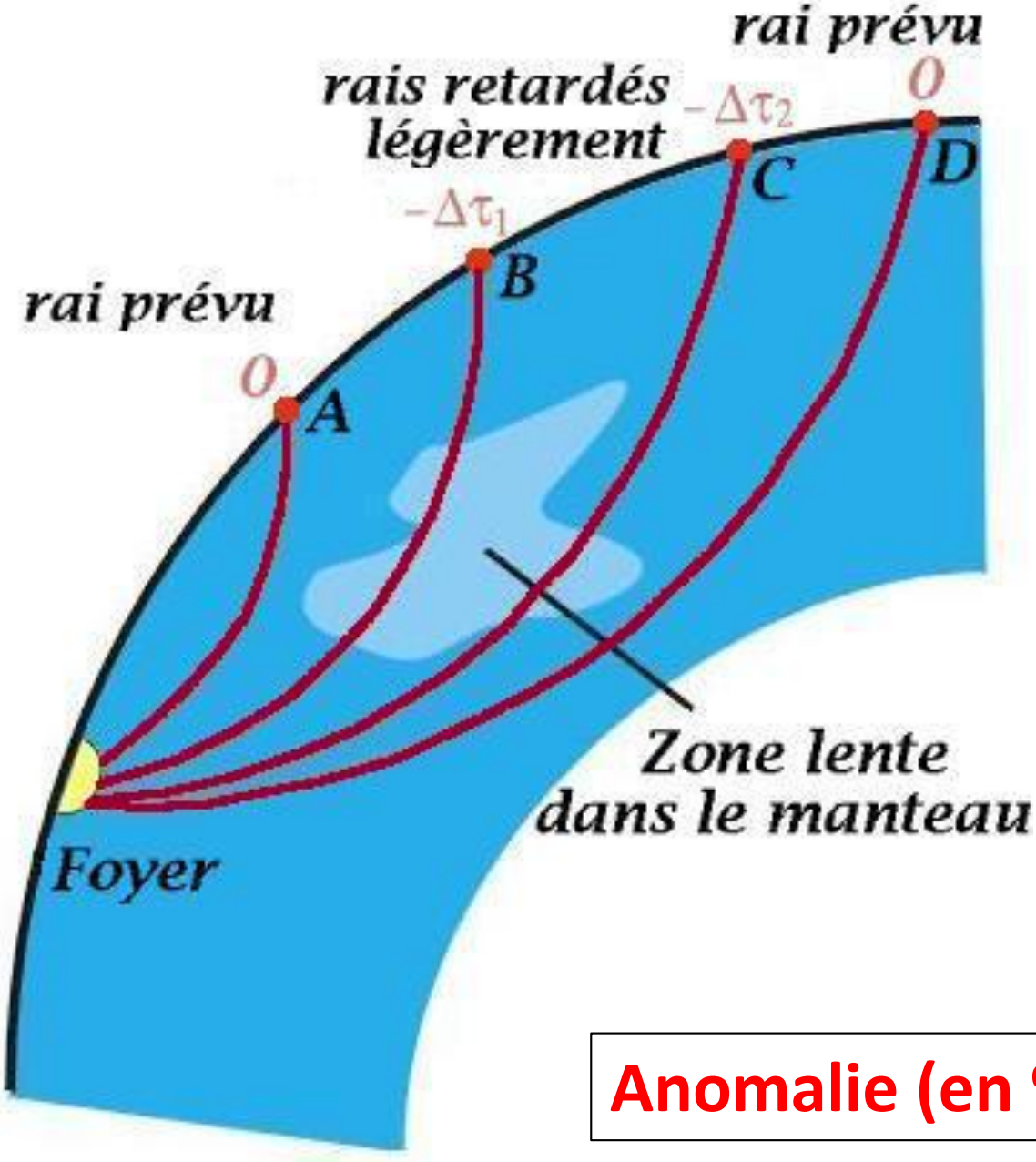


fosse océanique

Plaine abyssale

Alignement d'îles océaniques

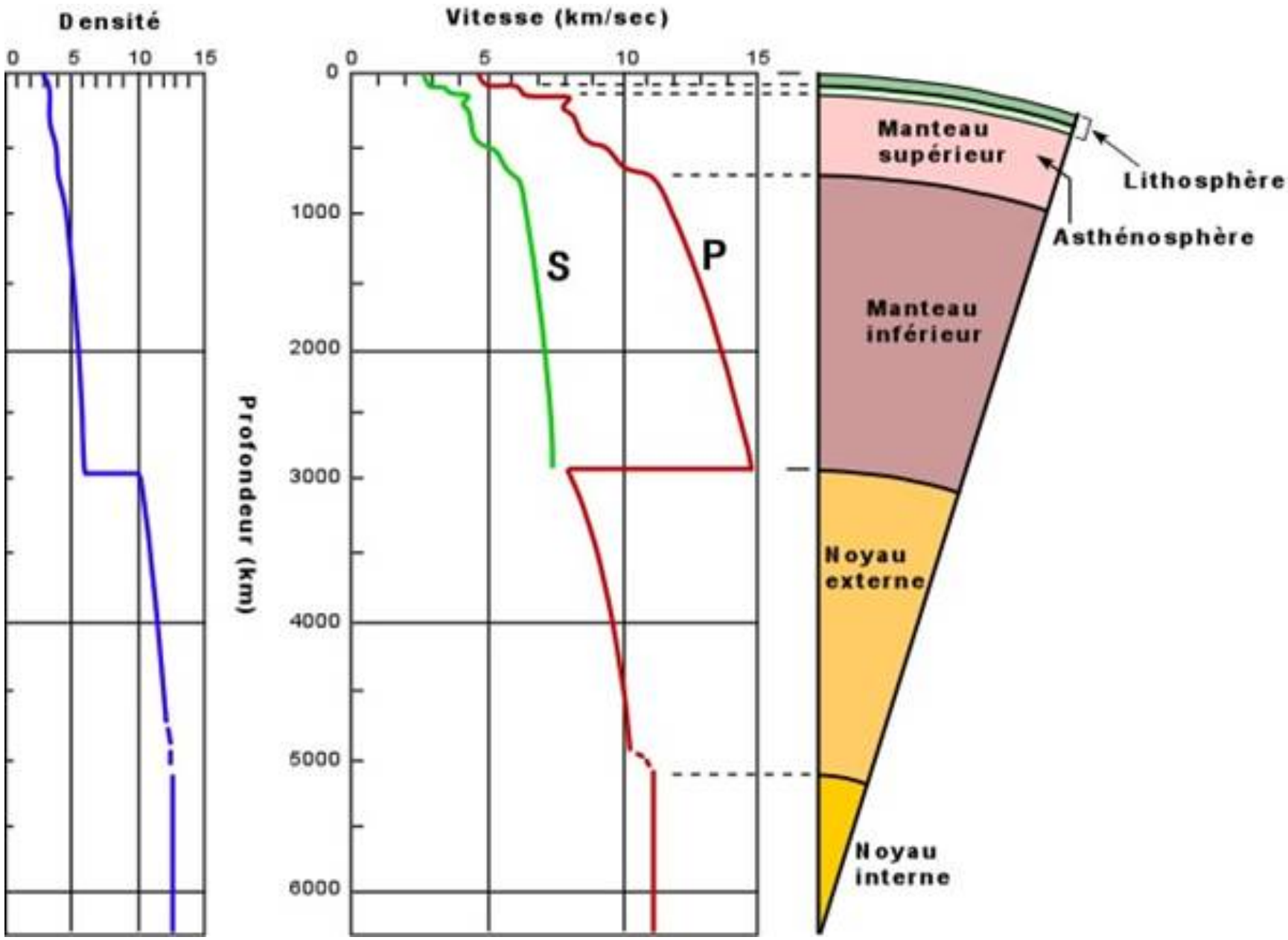
Technique de tomographie sismique

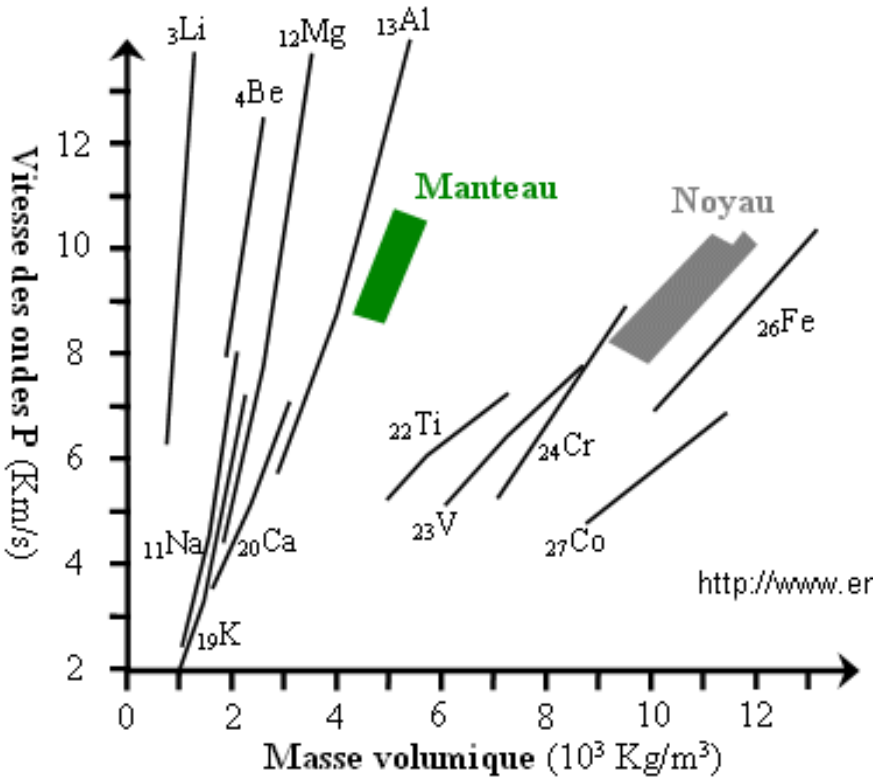


Anomalie -> par rapport au modèle PREM

Anomalie (en %) = $(V - V_{(PREM)}) / V_{(PREM)}$

Modèle PREM = modèle de vitesse des ondes sismiques





Loi de Birch

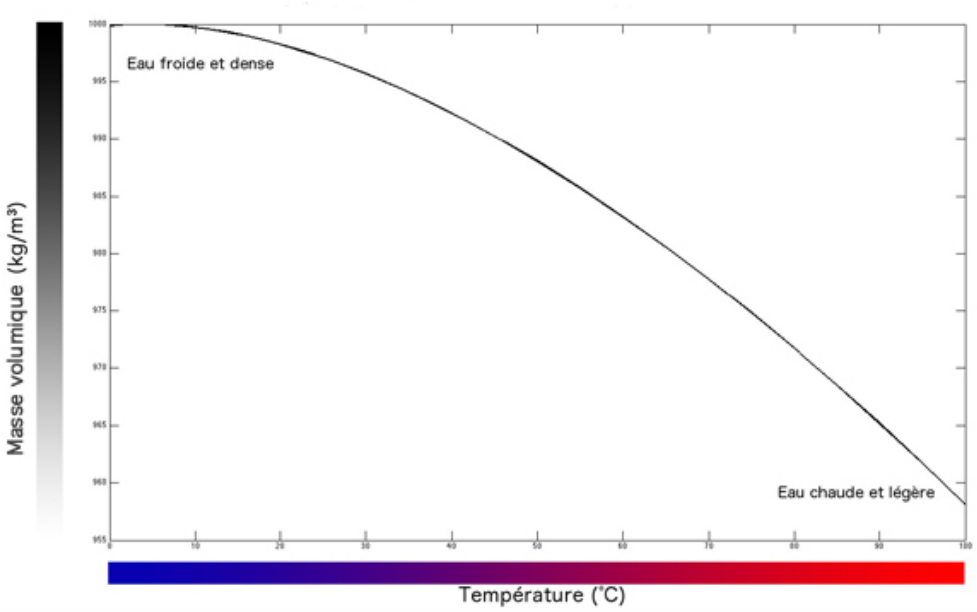
$V_p = a.\rho + b.M$

V_p vitesse des ondes P

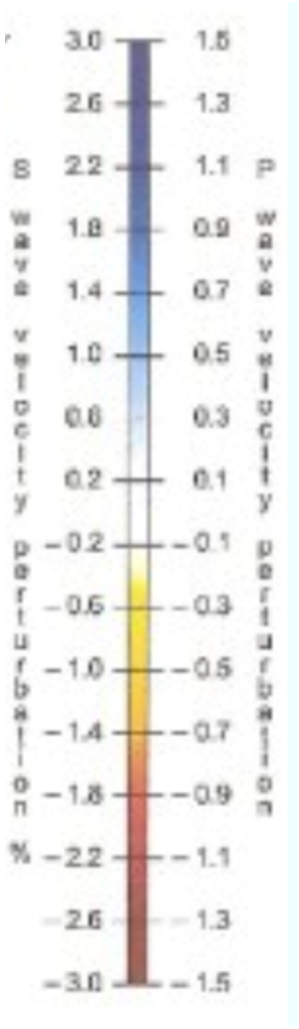
ρ masse volumique

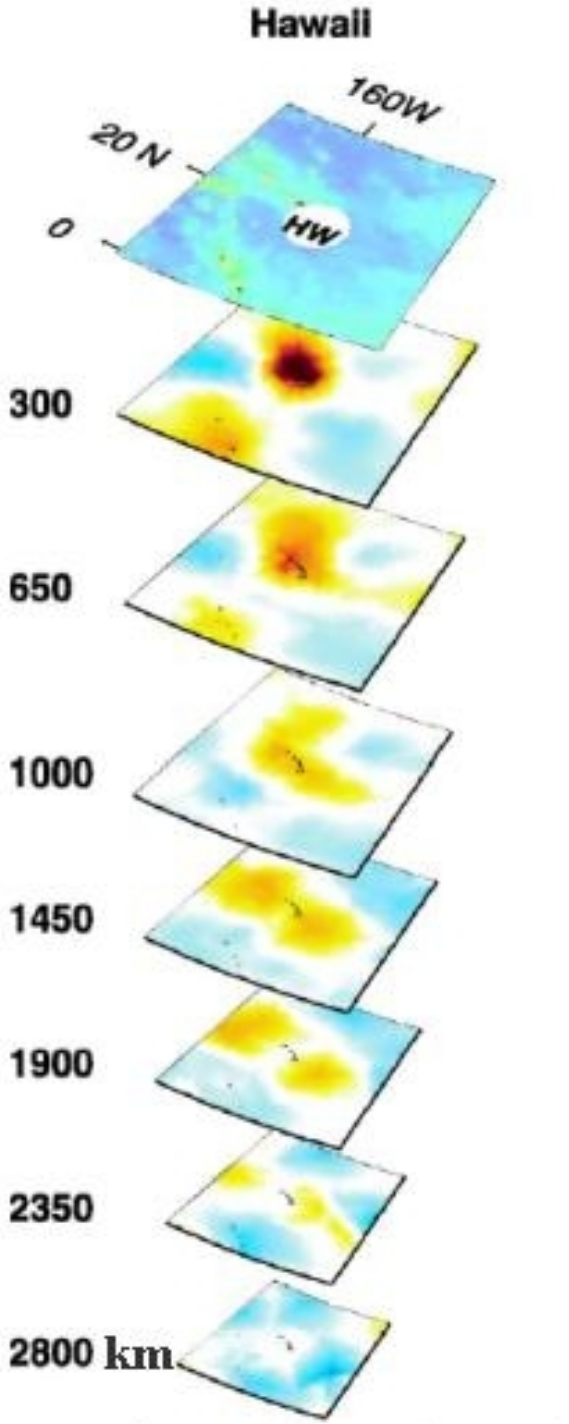
M masse atomique moyenne

Influence de la température sur la masse volumique



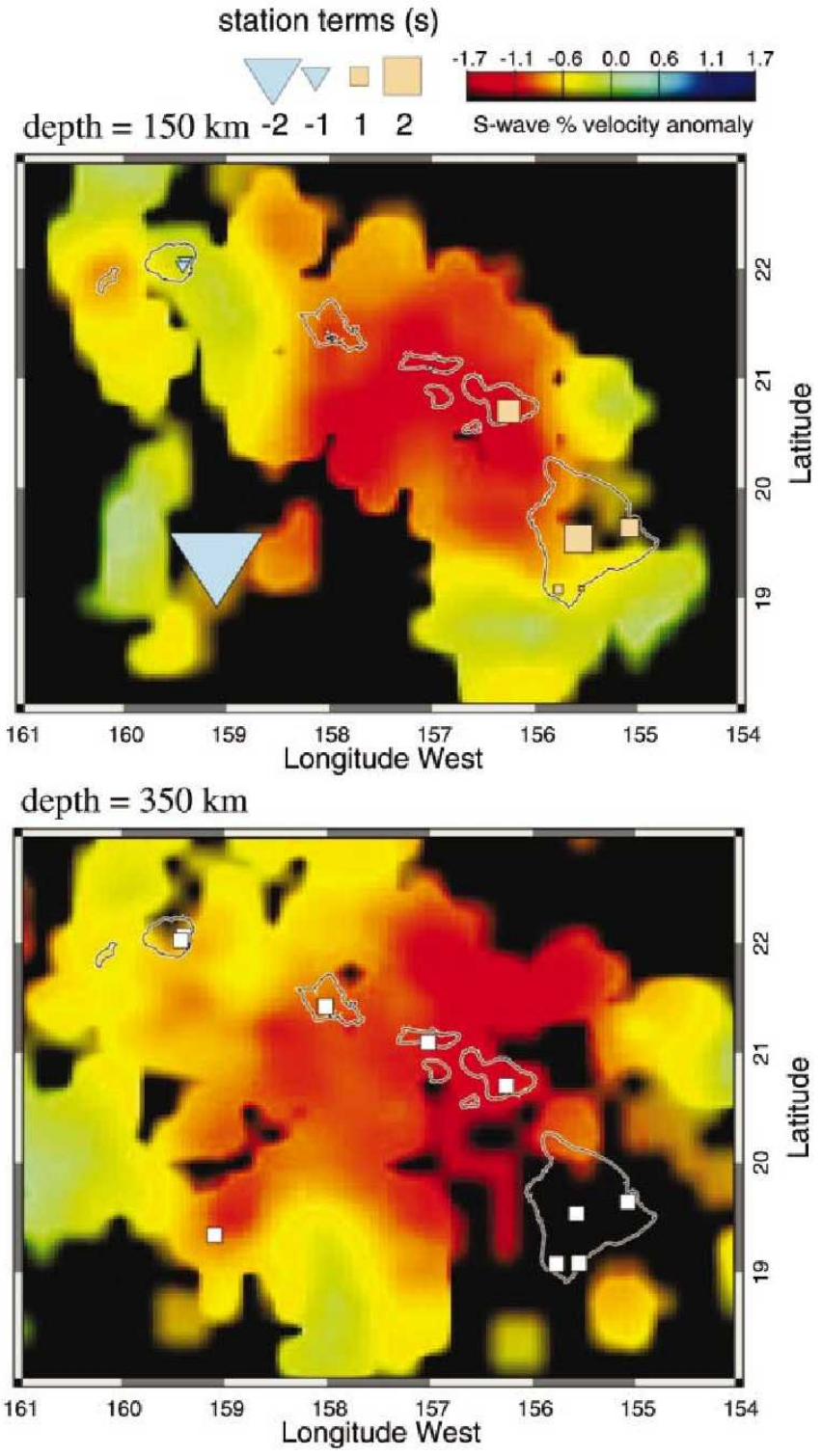
tomographie sismique à l'aplomb de l'archipel d'Hawaii

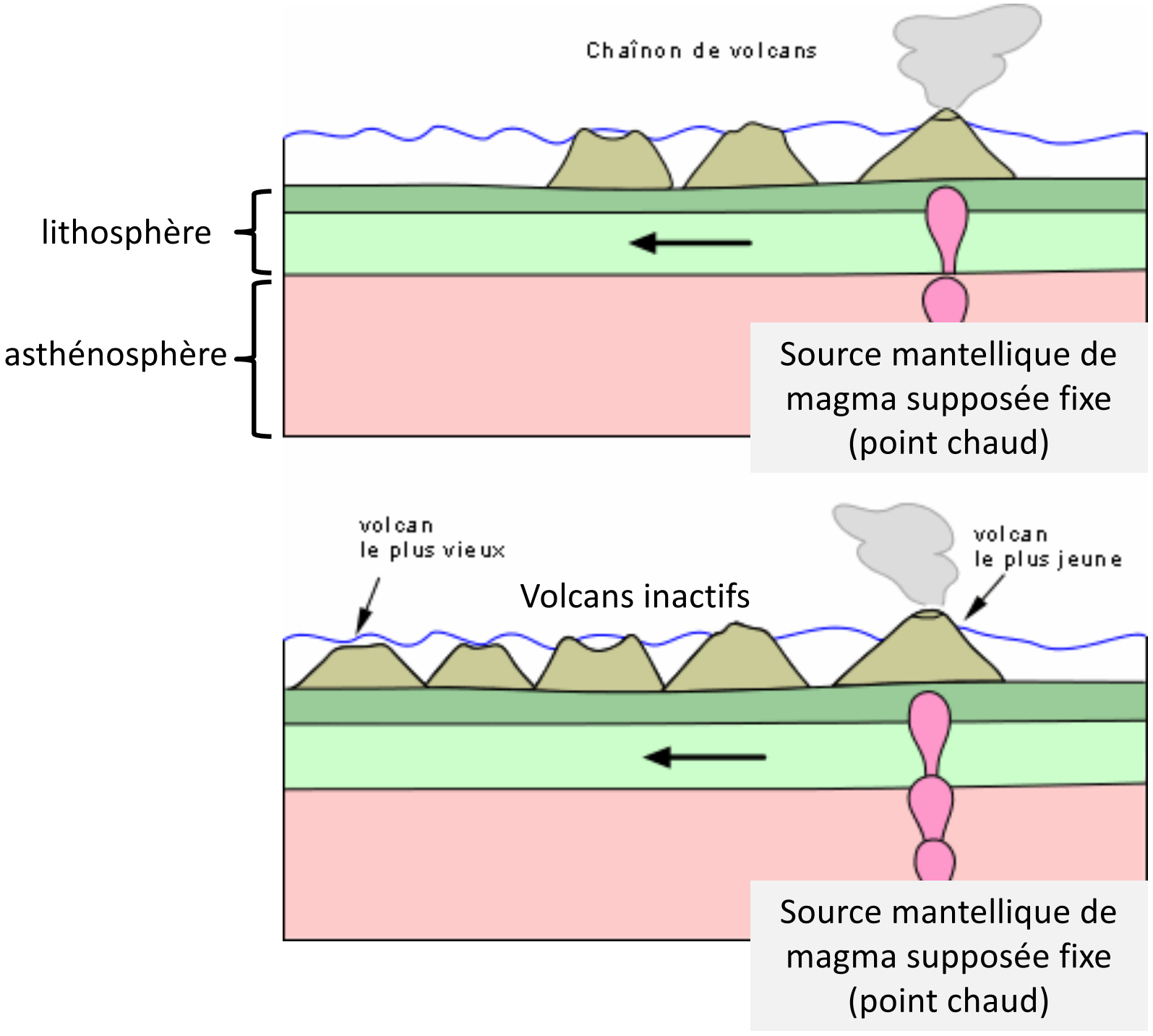


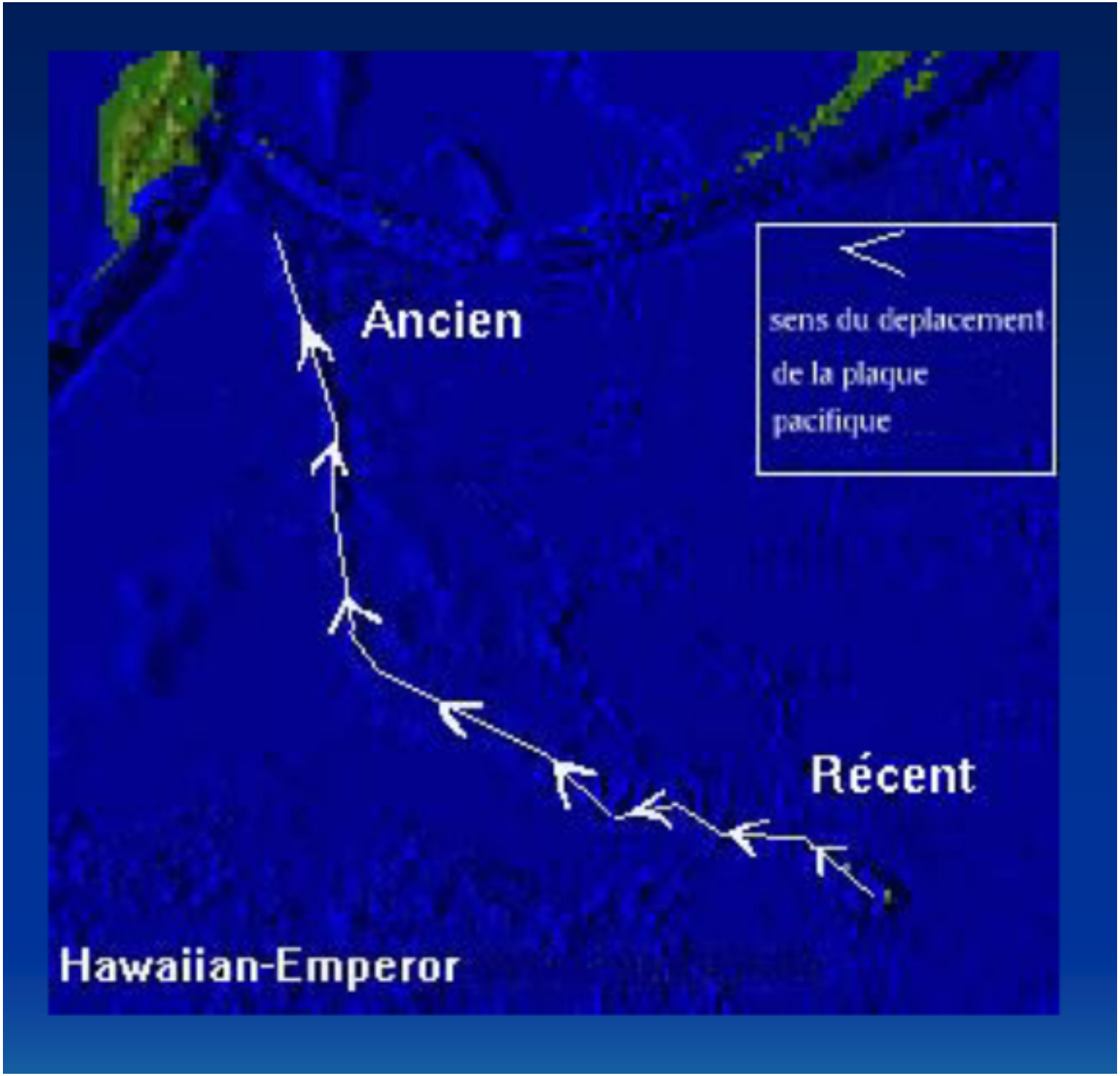


Raffaella Montelli,[1]* Guust Nolet,[1] F. A. Dahlen,[1] Guy Masters,[2] E. Robert Engdahl,[3] Shu-Huei Hung[4]

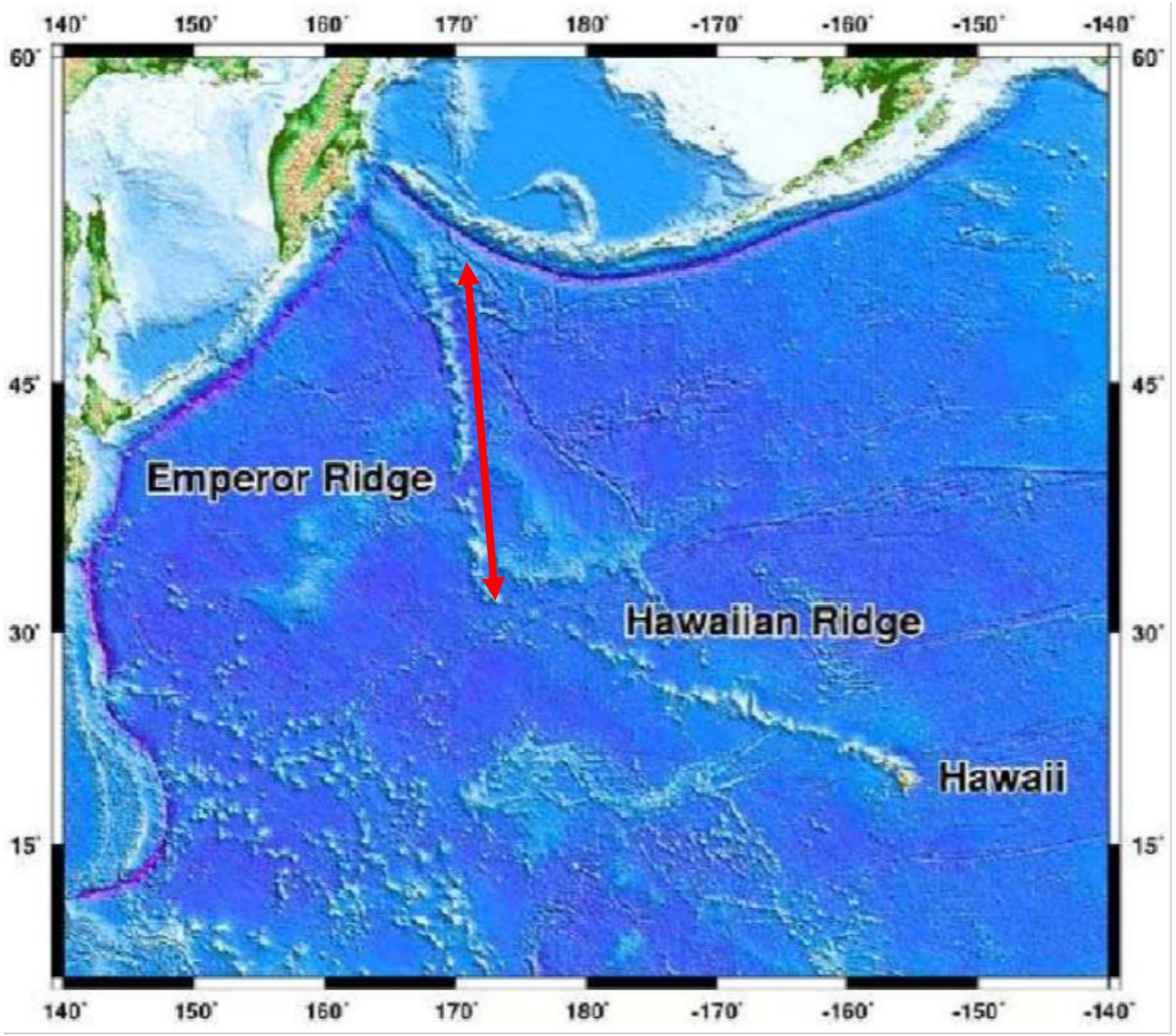
tomographie sismique à l'aplomb de l'archipel d'Hawaii à 150 et 350km de profondeur.




Chaînon de volcans
lithosphère
asthénosphère
Source mantellique de magma supposée fixe (point chaud)
volcan le plus vieux
Volcans inactifs
volcan le plus jeune
Source mantellique de magma supposée fixe (point chaud)


Ancien
sens du deplacement
de la plaque
pacifique
Récent
Hawaiian-Emperor

20° de latitude



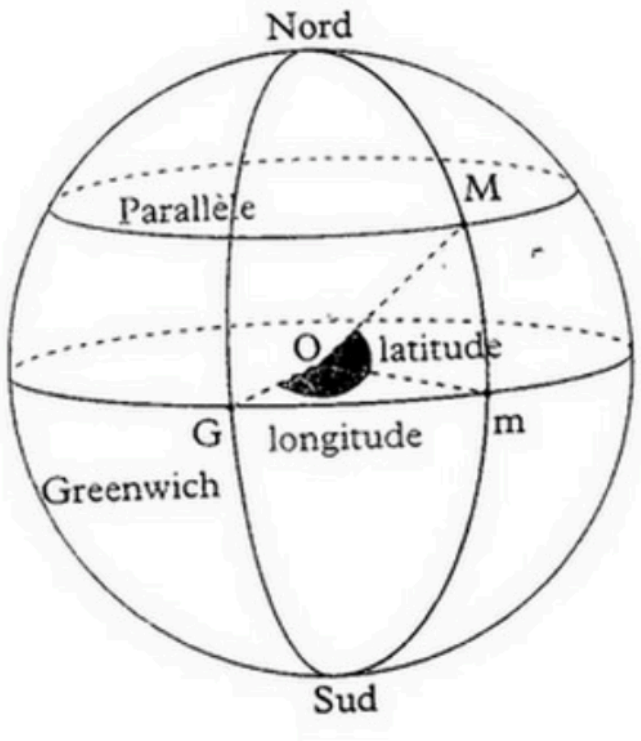
20° de latitude en 150 Ma.

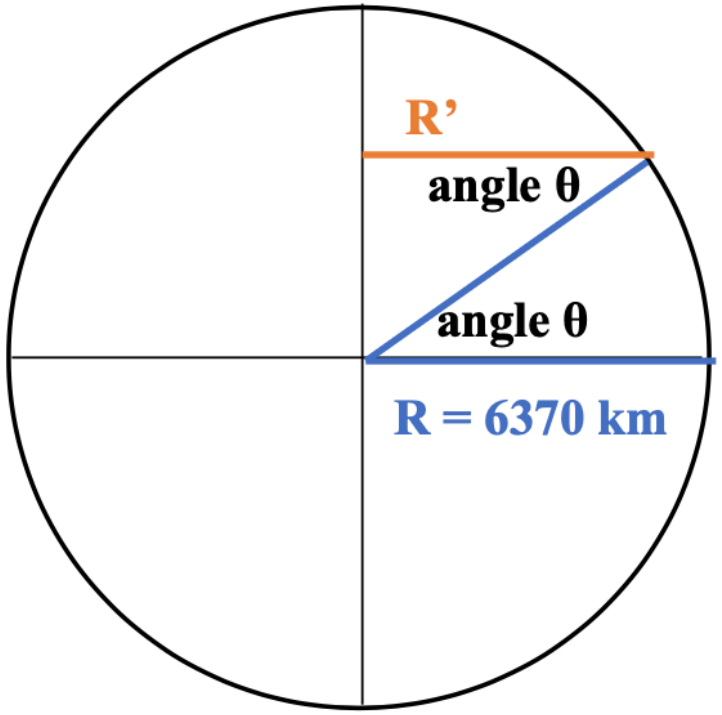
1degré de latitude = 111 km donc déplacement de 2220 km en 150 Ma

Vitesse : 14,8mm/an

Pour aller plus loin :

Pour la chaîne Hawaïenne : déplacement de la plaque lithosphérique d'environ 40° de longitude en 50 Ma à la latitude 20°N environ. A cette latitude, le périmètre de la Terre est de 2π x R x cos 20 = 36 274 km ; 1° de longitude équivaut donc à 36 274 / 360 = 101 km. Le déplacement de la plaque lithosphérique est ainsi évalué à 4030 km en 50 Ma, soit une vitesse de 80,6 mm/an, en direction de l'ouest (nord ouest).





Cos θ = R'/R d'où R' = R x cos θ

On peut ensuite calculer le périmètre de la Terre à cette latitude θ.

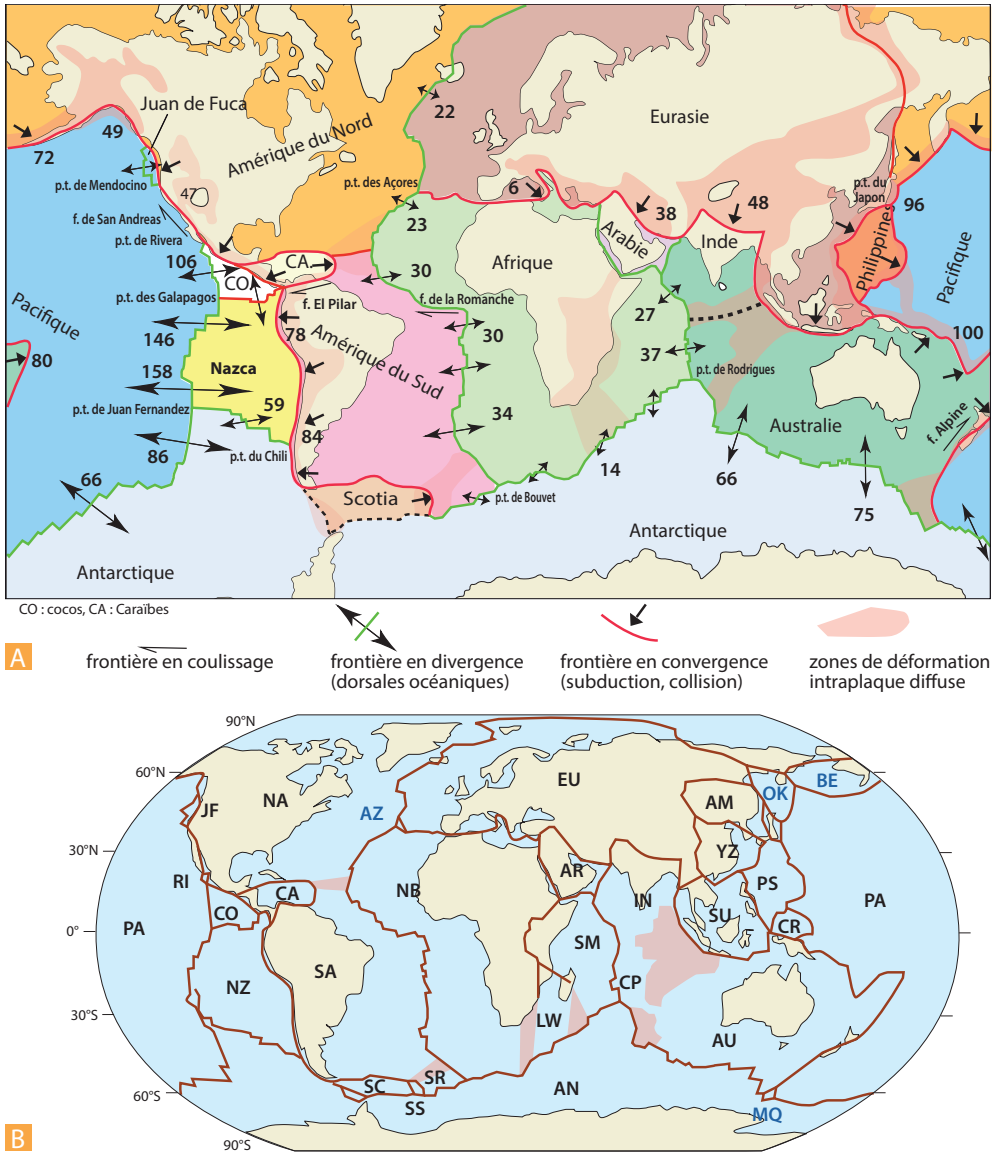
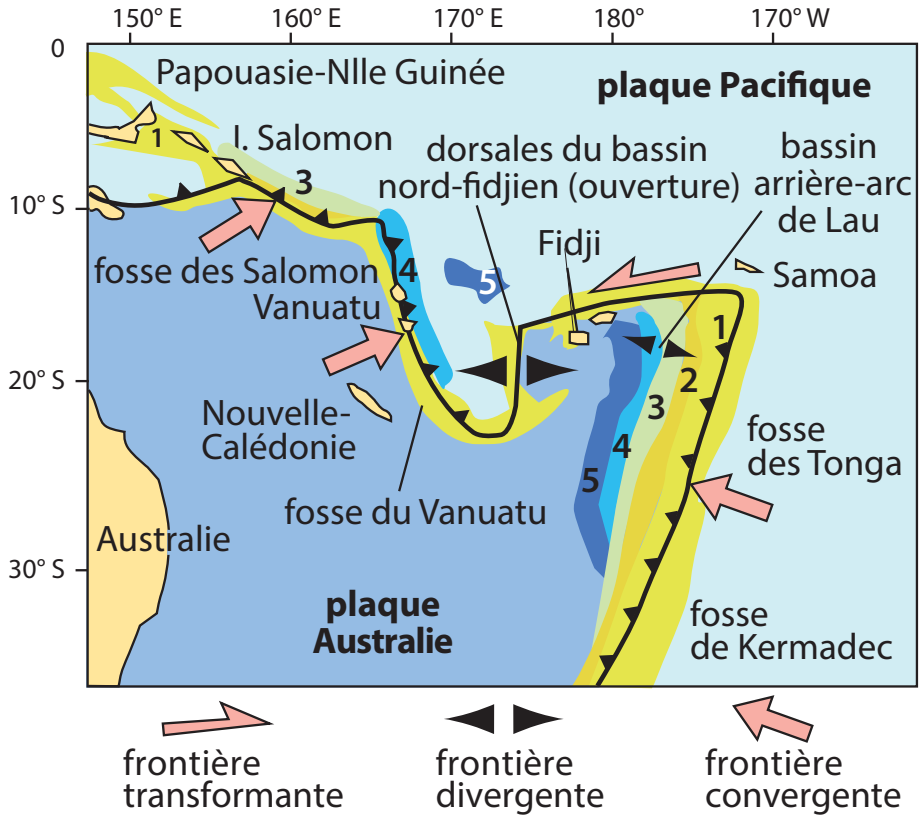


Figure 7.4 Les modèles de plaques lithosphériques.

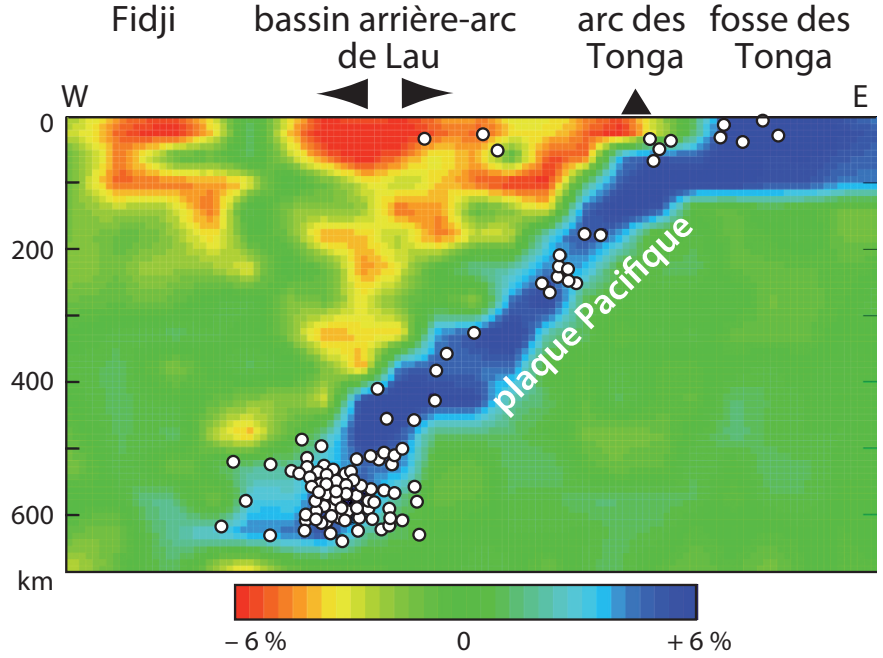
A. Le modèle à 12 plaques principales NUVEL-1 de 1990. Les chiffres sont les valeurs des déplacements relatifs aux frontières en mm/an. Ces valeurs sont obtenues grâce aux déplacements des plaques calculés d'après les données des anomalies magnétiques océaniques moyennées sur 3 Ma pour les dorsales et les vecteurs glissement (pôle du plan nodal principal) pour les zones de subduction. Voir la figure 7.15 pour les mouvements absolus.

B. Les 29 plaques du modèle MORVEL de 2010 (voir commentaire encart 7.12). AM = Amur, AN = Antarctique, AR = Arabie, AU = Australie, AZ = Açores, BE = Bering, CA = Caraïbes, CH = Bloc de Chine, CO = Cocos, CP = Capricone, CR = Caroline, EU = Eurasie, IN = Inde, JF = Juan de Fuca, LW = Lwandle, MQ = Macquaries, NA = Amérique du Nord, NB = Nubie (Afrique), NZ = Nazca, OK = Okhotz, PA = Pacifique, PH = Philippines, RI = Rivera, SA = Amérique du Sud, SC = Scotia, SM = Somalie, SR = Sud, SS = South Sandwich, SU = Sonde. En bleu foncé, les plaques dont le mouvement n'est pas calculé par MORVEL. Les zones colorées en rose représentent les régions de déformation intraplaque (frontières diffuses).

Exercice n°5 : évolution thermomécanique de la plaque lithosphérique et subduction



A

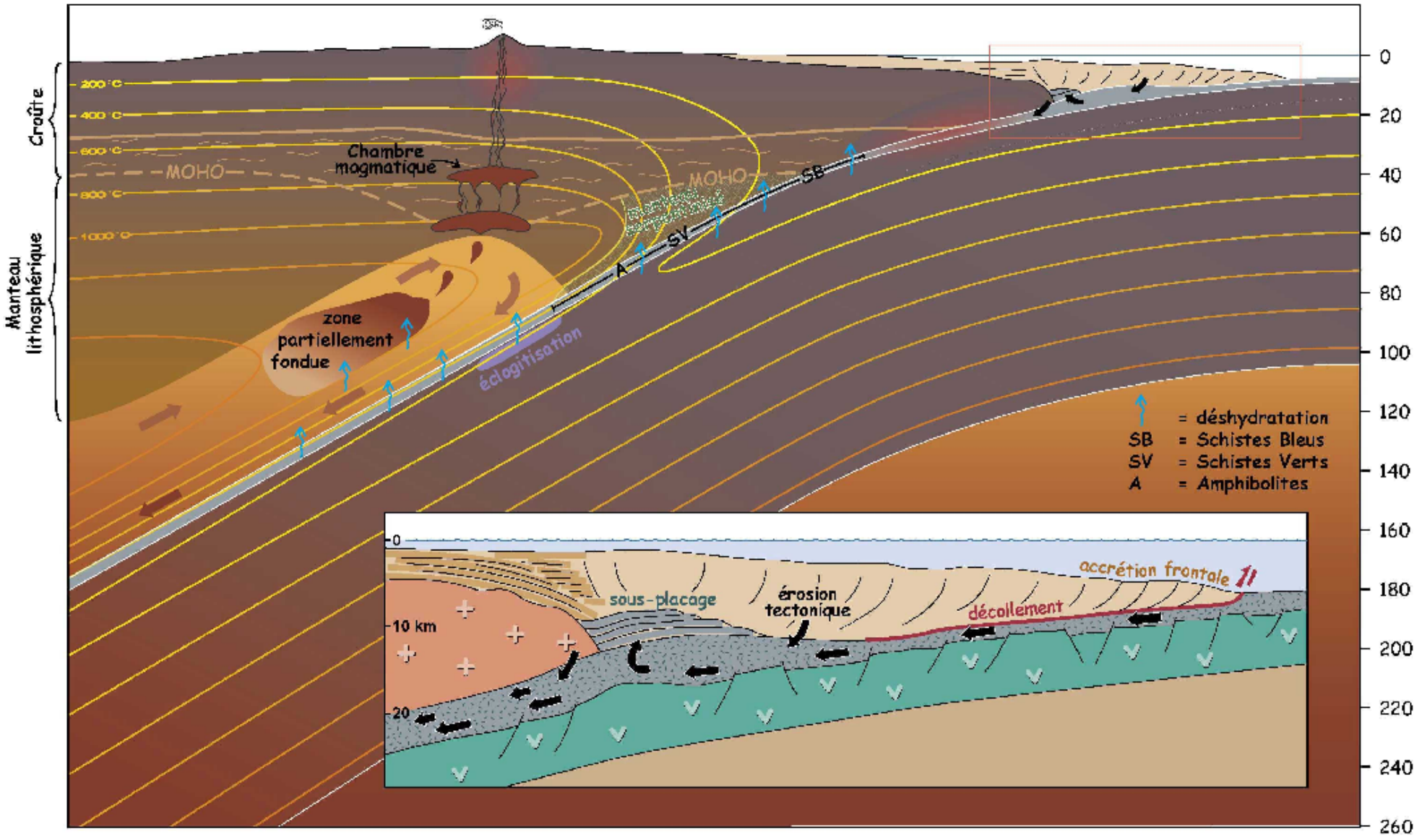


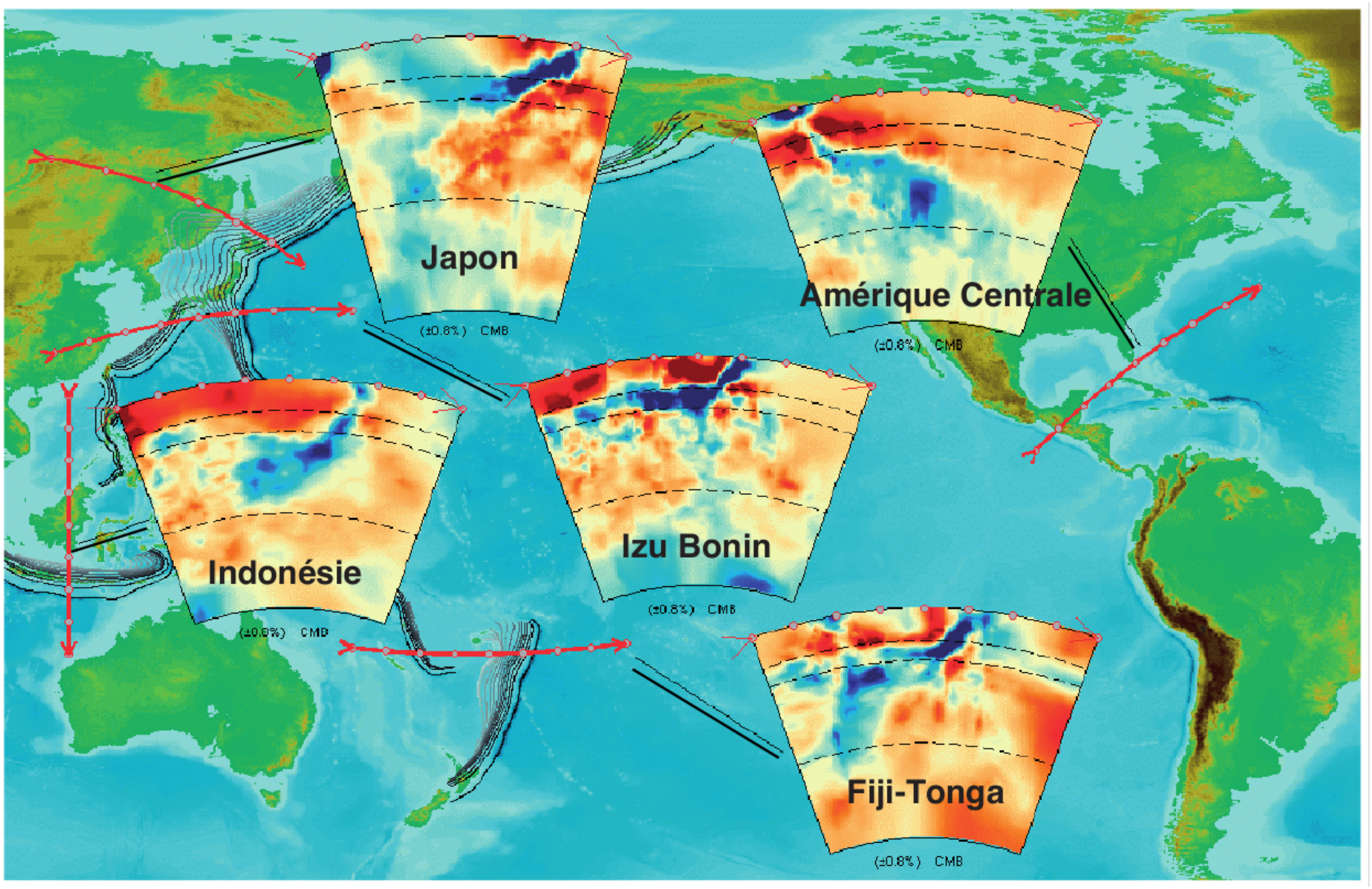
B

Profondeur des séismes : 1. 8-70 km ; **2.** 70-150 km ; **3.** 150-300 km ; **4.** 300-500 km ; **5.** 500-700 km
Zonage des séismes réalisé entre 1971 et 1986. Document du NEIC *(National Earthquake Information Center)*.

En B, les séismes sont positionnés sur une coupe tomographique établie d'après les anomalies de propagation des ondes P (voir en fin de chapitre) et permettant de suivre la lithosphère de la plaque Pacifique s'enfonçant jusqu'à plus de 700 km de profondeur.

Des interactions entre les 2 lithosphères




Japon
(±0.8%) CMB
Amérique Centrale
(±0.8%) CMB
Indonésie
(±0.8%) CMB
Izu Bonin
(±0.8%) CMB
Fiji-Tonga
(±0.8%) CMB

Distance à la dorsale (km)	160	2400	8000
Epaisseur de la croûte (km)	5	5	5
Epaisseur du manteau lithosphérique (km)	8	45	87
Densité de la lithosphère			
Age de la lithosphère (10^6 ans)			

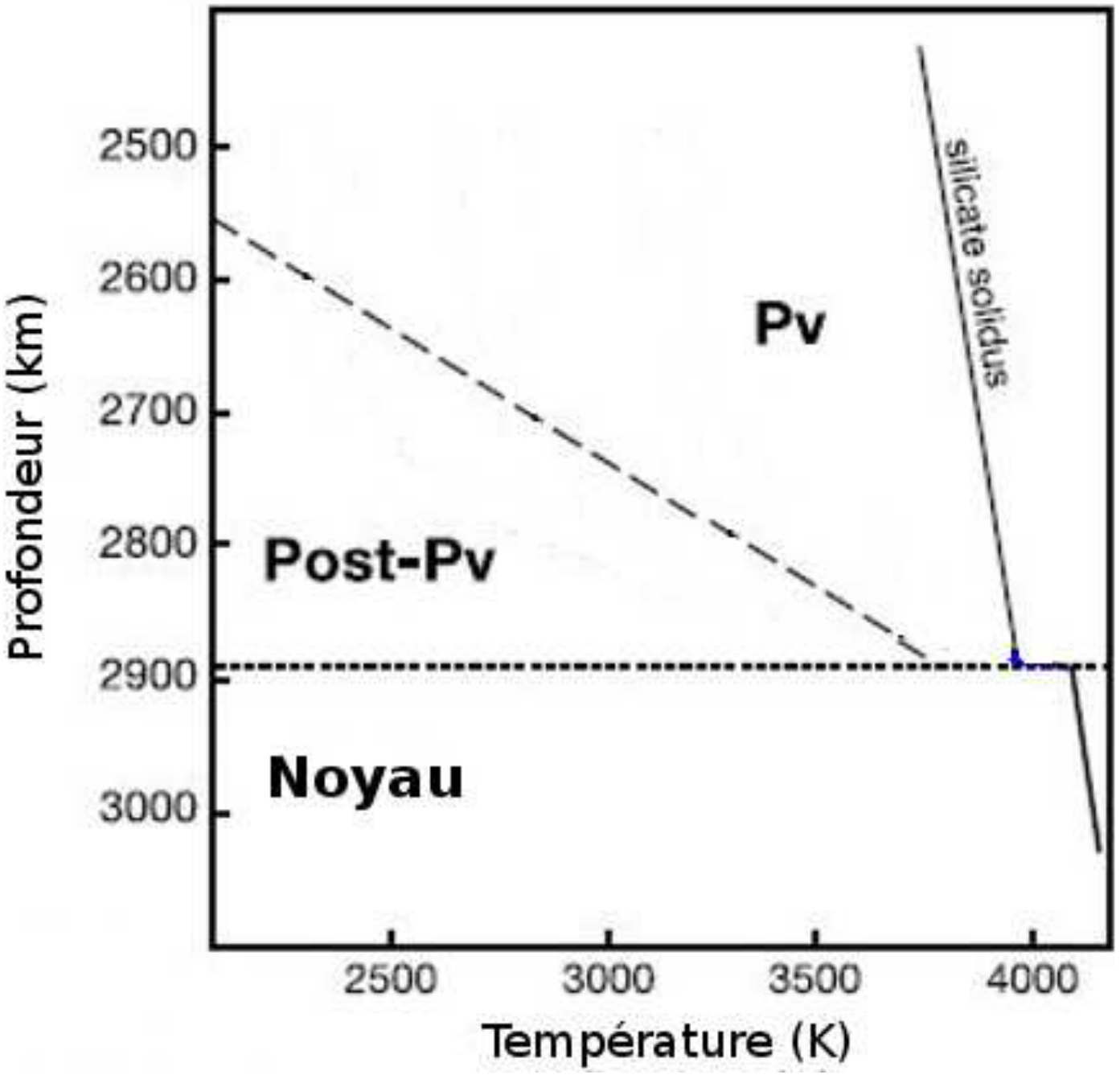
Distance à la dorsale (km)	160	2400	8000
Epaisseur de la croûte (km)	5	5	5
Epaisseur du manteau lithosphérique (km)	8	45	87
Densité de la lithosphère	3,13	3,26	3,28
Age de la lithosphère (10^6 ans)			

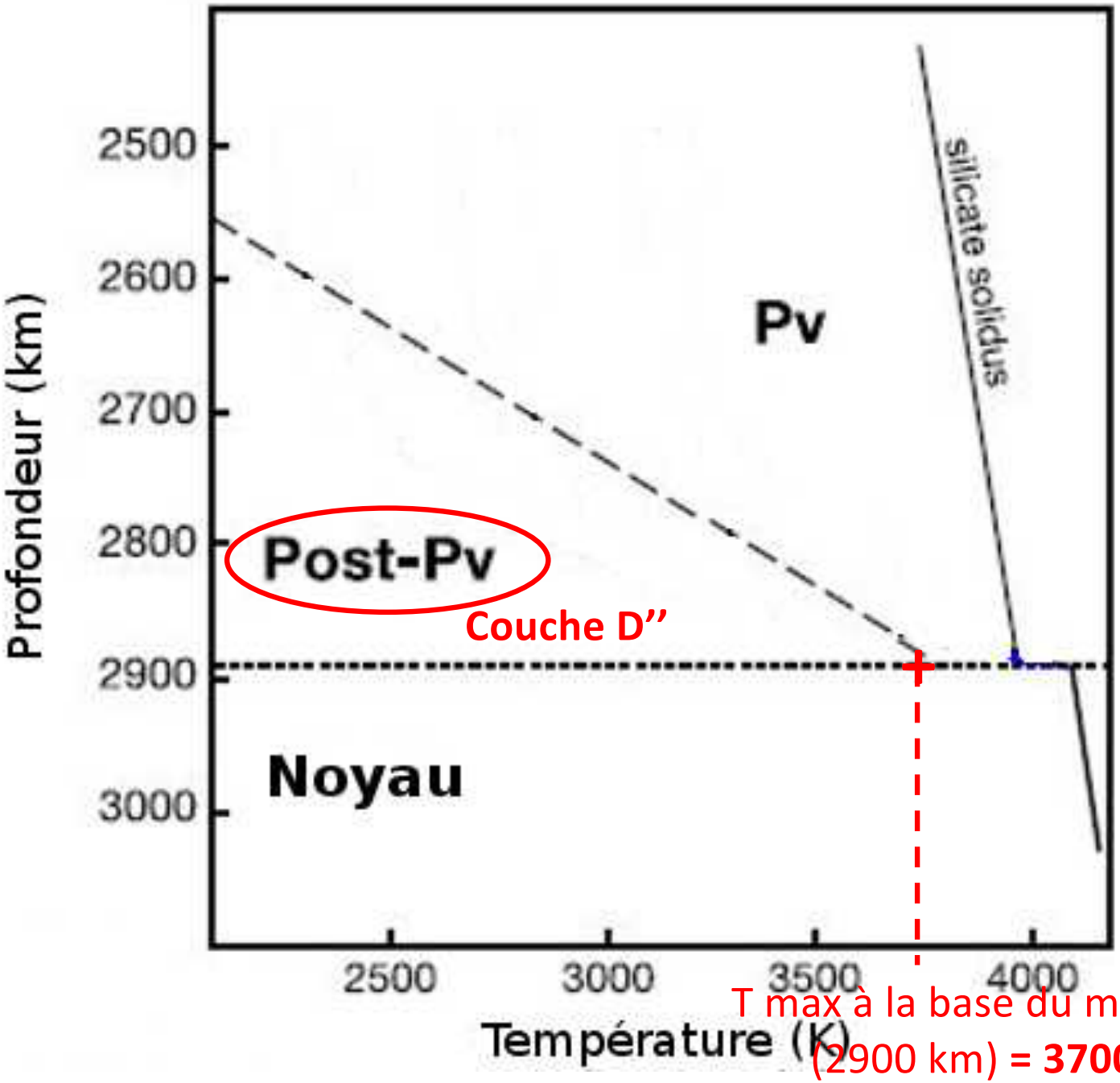
Dès que le manteau lithosphérique atteint 9 fois l'épaisseur de la croûte océanique, la subduction est spontanée sous l'effet de la masse de la lithosphère océanique

Distance à la dorsale (km)	160	2400	8000
Epaisseur de la croûte (km)	5	5	5
Epaisseur du manteau lithosphérique (km)	8	45	87
Densité de la lithosphère	3,13	3,26	3,28
Age de la lithosphère (10^6 ans)	2	30	100

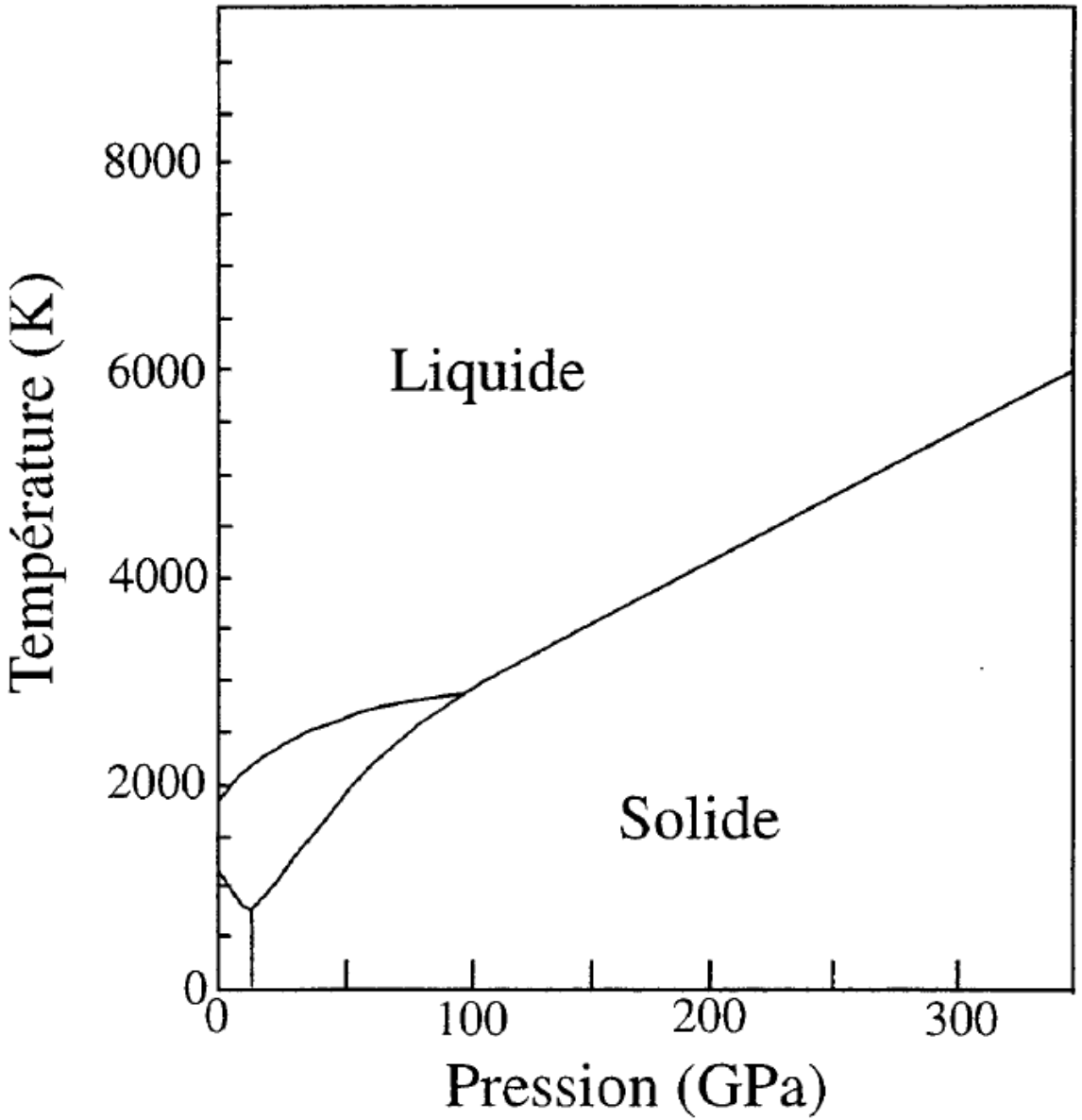
Dès que le manteau lithosphérique atteint 9 fois l'épaisseur de la croûte océanique, la subduction est spontanée sous l'effet de la masse de la lithosphère océanique

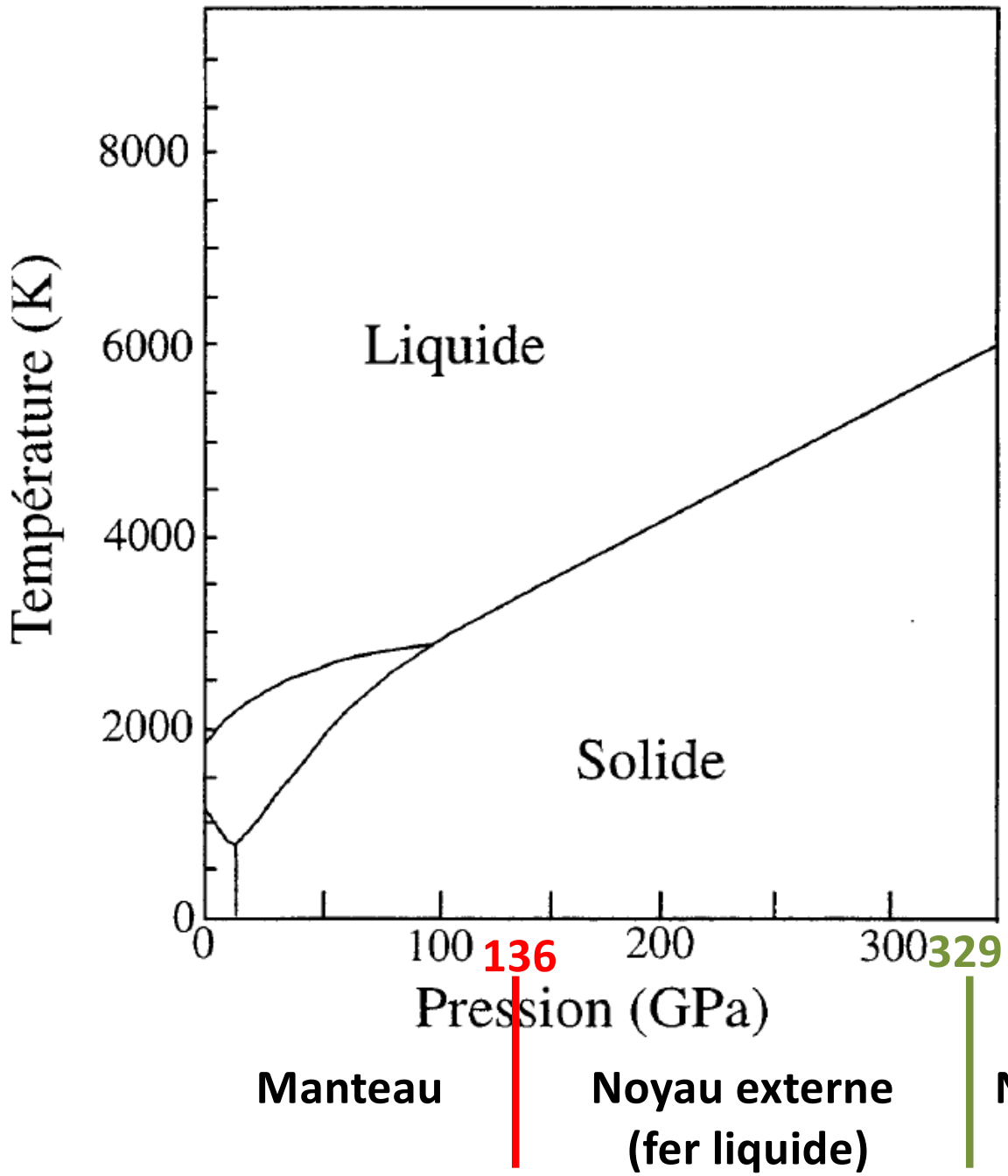
<u>Exercice n°6</u> : construction du géotherme terrestre



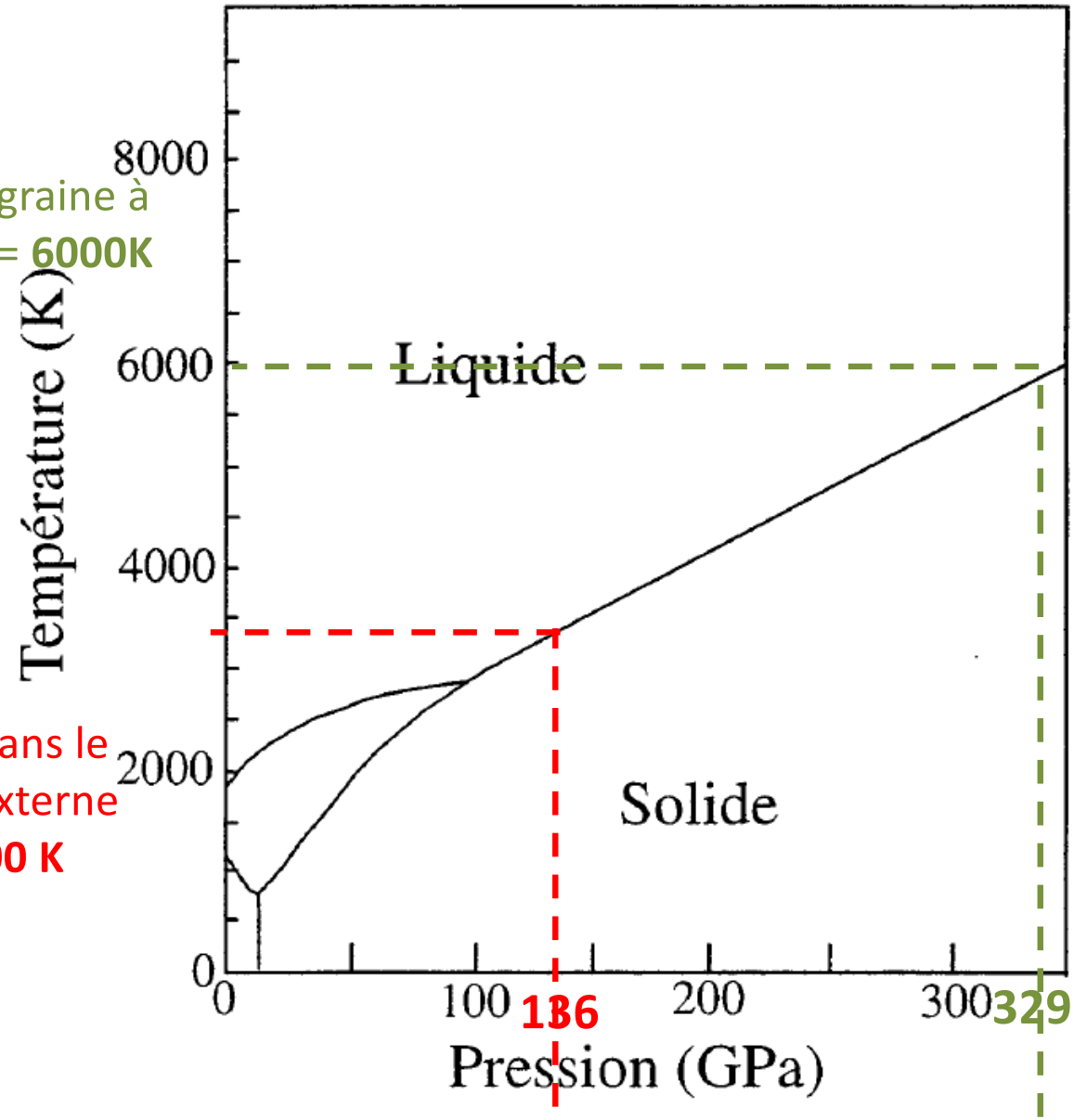


T max à la base du manteau (2900 km) = **3700 K**


Température (K)
8000
6000
4000
2000
0
Liquide
Solide
0
100
200
300
Pression (GPa)


Température (K)
8000
6000
4000
2000
0
Liquide
Solide
0
100
136
200
300
329
Pression (GPa)
Manteau
Noyau externe
(fer liquide)
Noyau interne
(fer solide)

T surface graine à 5150 km = **6000K**

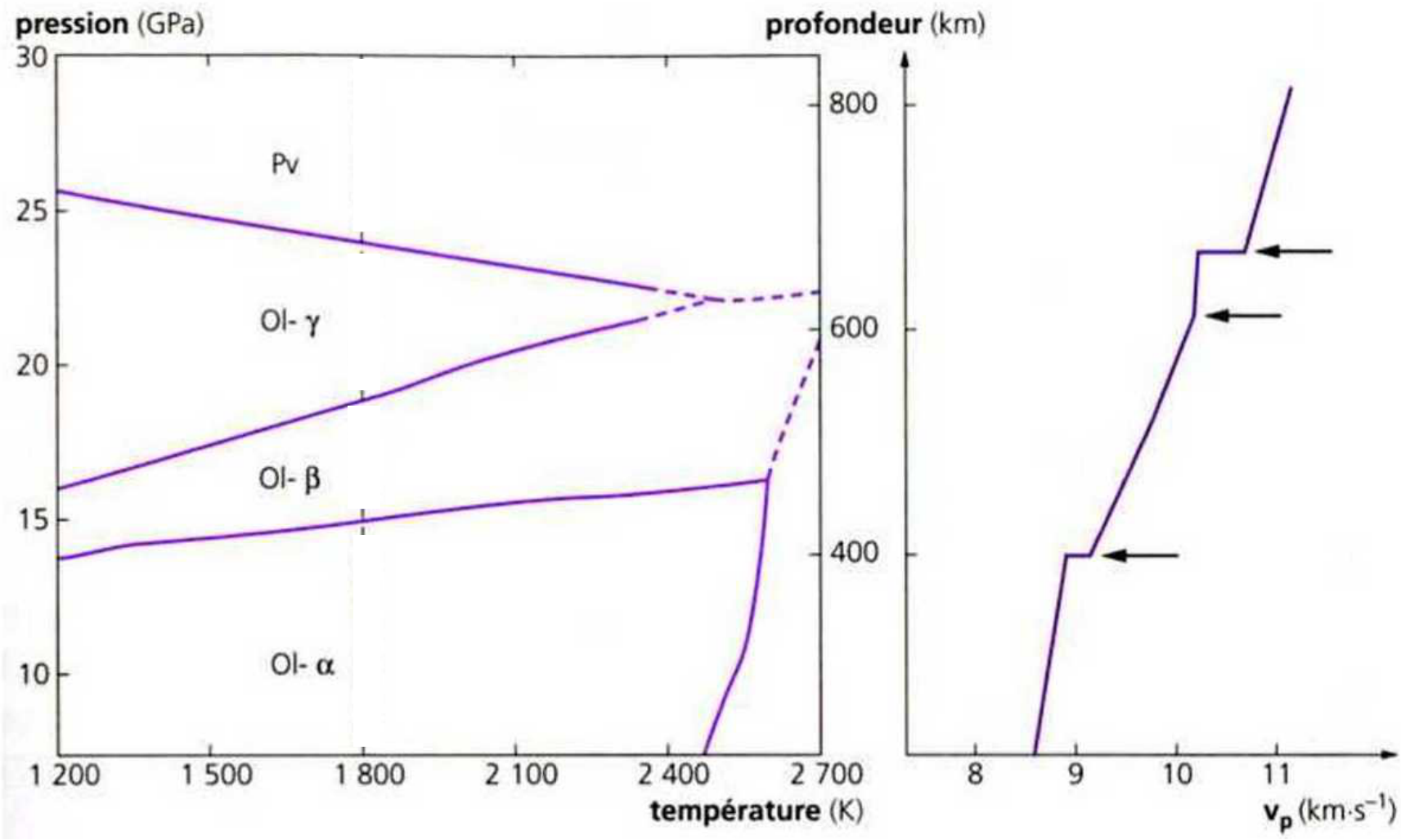


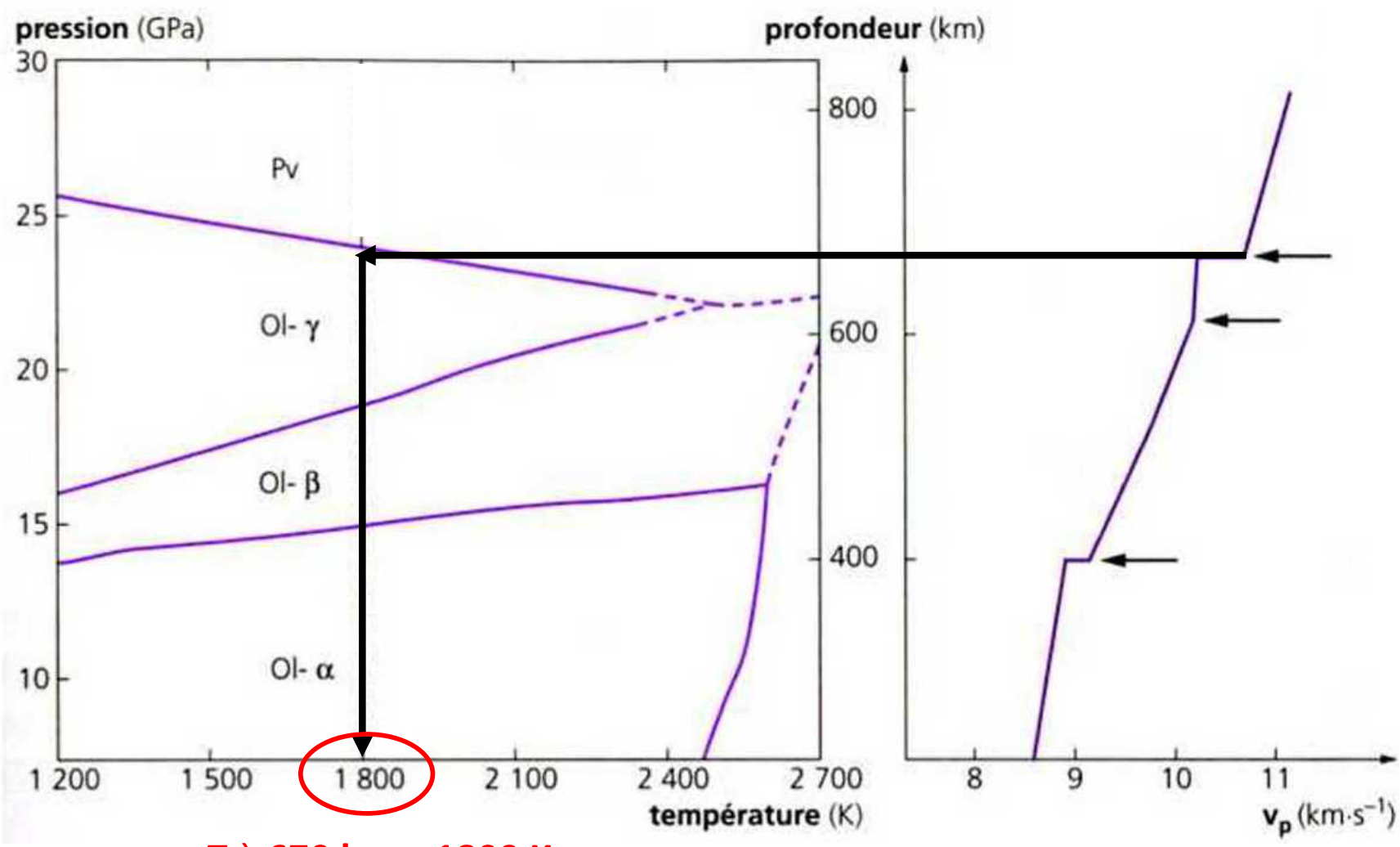
T **min** dans le noyau externe = **3300 K**

Manteau

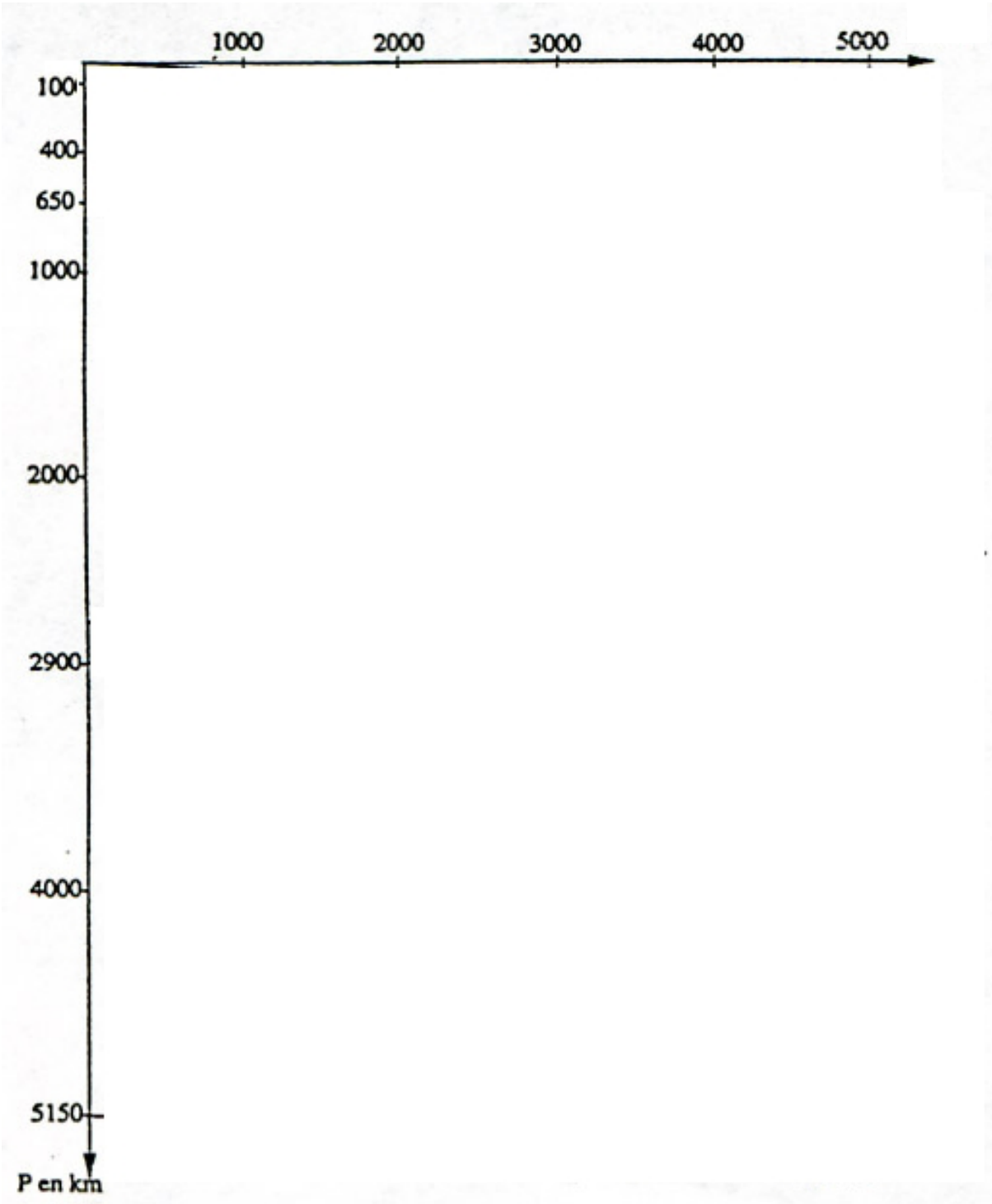
Noyau externe (fer liquide)

Noyau interne (fer solide)


pression (GPa)
30
25
20
15
10
Pv
Ol- γ
Ol- β
Ol- α
1 200
1 500
1 800
2 100
2 400
2 700
température (K)
profondeur (km)
800
600
400
8
9
10
11
v_p (km·s^{-1})



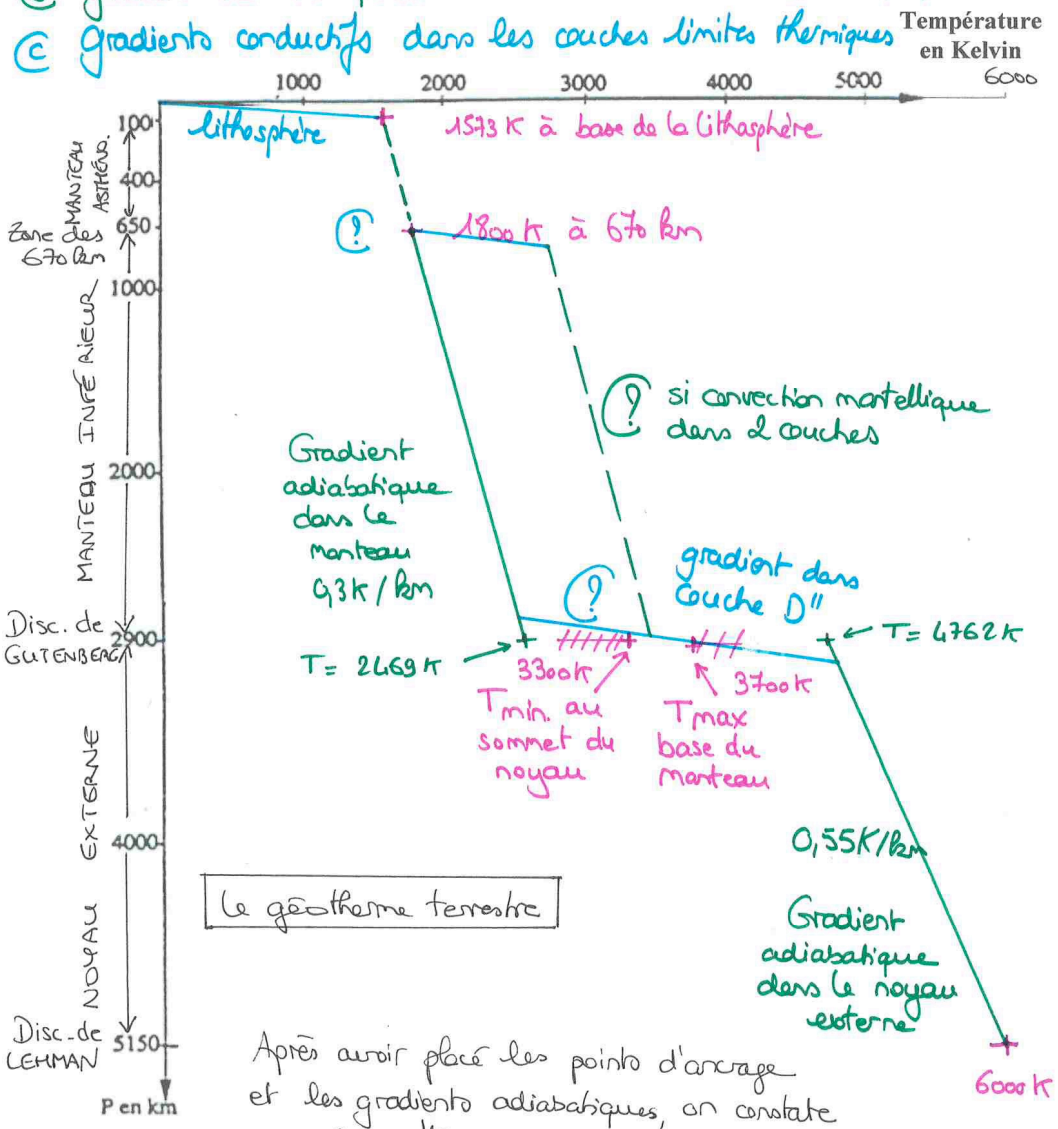
T à **670 km = 1800 K**


1000
2000
3000
4000
5000
100
400
650
1000
2000
2900
4000
5150
P en km

@ Points d'ancrage du géotherme

ⓑ Gradients adiabatiques dans les milieux en convection

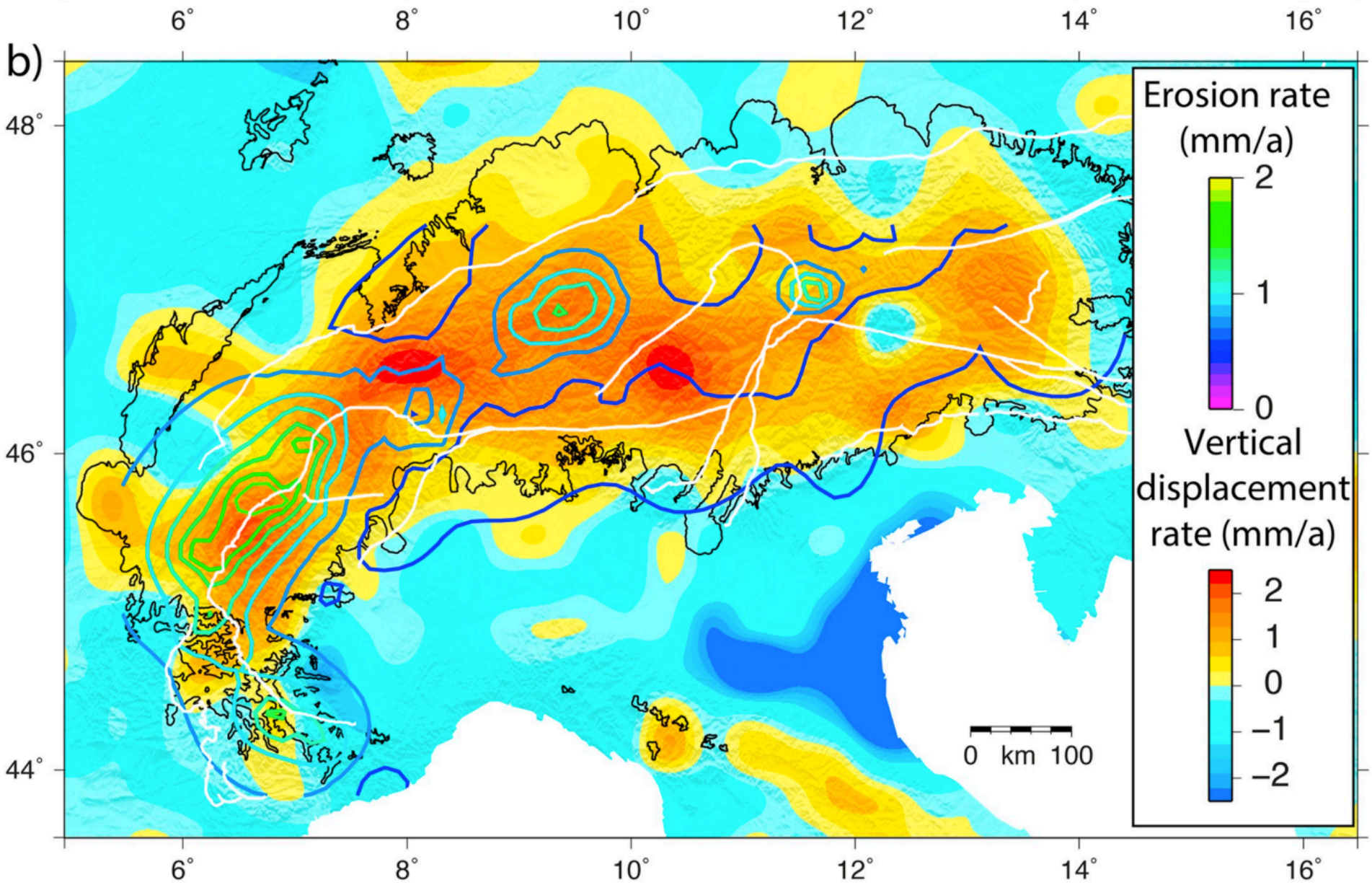
ⓒ Gradients conductifs dans les couches limites thermiques



Le géotherme terrestre

Après avoir placé les points d'ancrage et les gradients adiabatiques, on constate que les différents segments du géotherme ne se rejoignent pas, en particulier au niveau des 670 km et 2900 km. En supposant que les zones des 670 km et 2900 km (couche D'') soient des zones de conduction, on peut tracer des gradients de T élevés (= gradients conductifs) qui permettent de relier les segments du géotherme.

III. Etude des mouvements verticaux isostatiques.

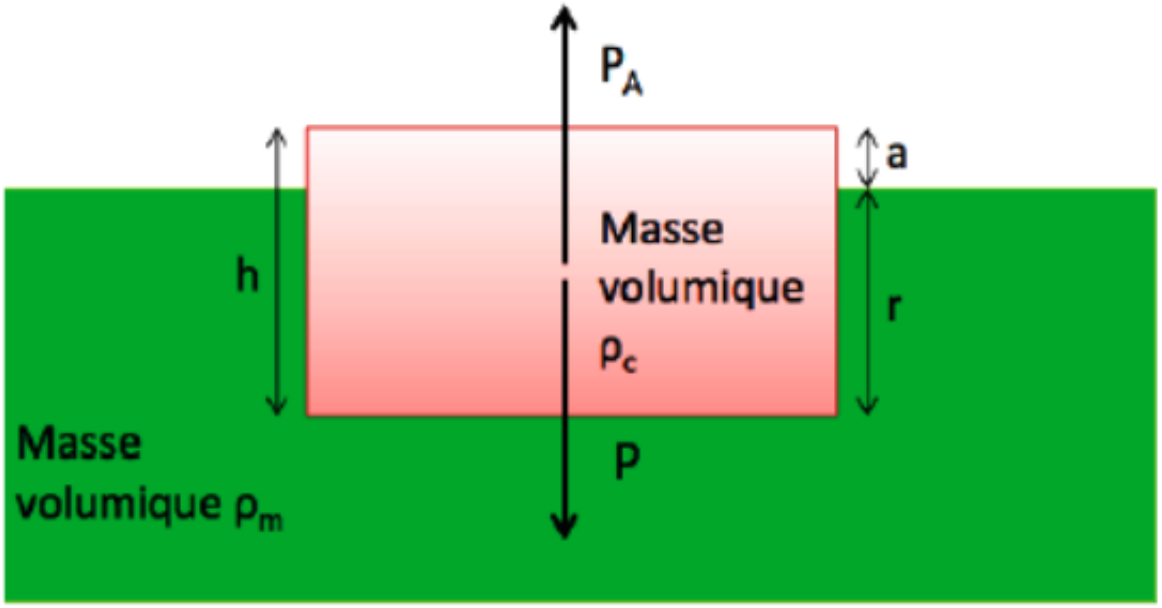


(caption on next page)

Comparison between erosion rates averaged during the 2–0 Ma time window (Fox et al., 2015) and observed rock uplift rates (Sternai et al., 2019)

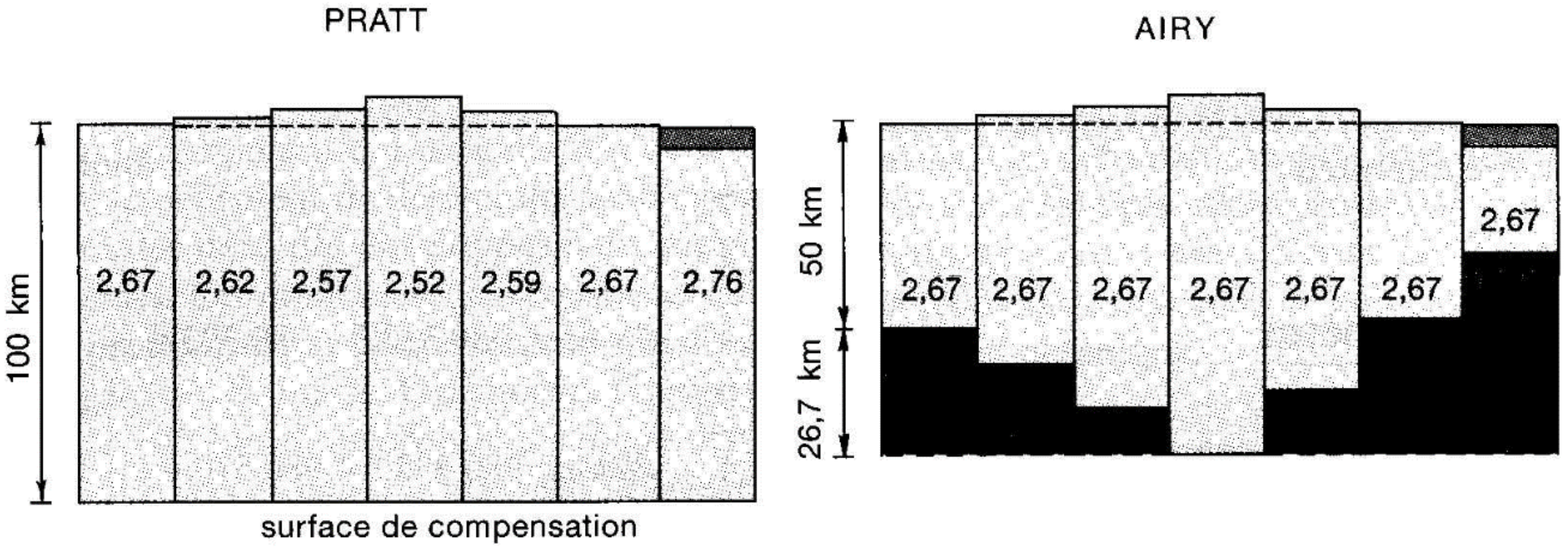
III. Etude des mouvements verticaux isostatiques.

La couche superficielle rigide est en **équilibre hydrostatique** (elle « flotte ») sur la couche profonde plus visqueuse suivant le principe d'Archimède : cet équilibre est appelé **isostasie** (du grec stasi = immobilité, équilibre).
Ce mécanisme implique l'existence en profondeur d'une surface virtuelle, dite **surface de compensation**, telle que la **pression** correspondant au poids des colonnes de roche situées au-dessus soit la même partout.
La surface de compensation n'a pas de réalité physique : elle ne correspond pas à une discontinuité.

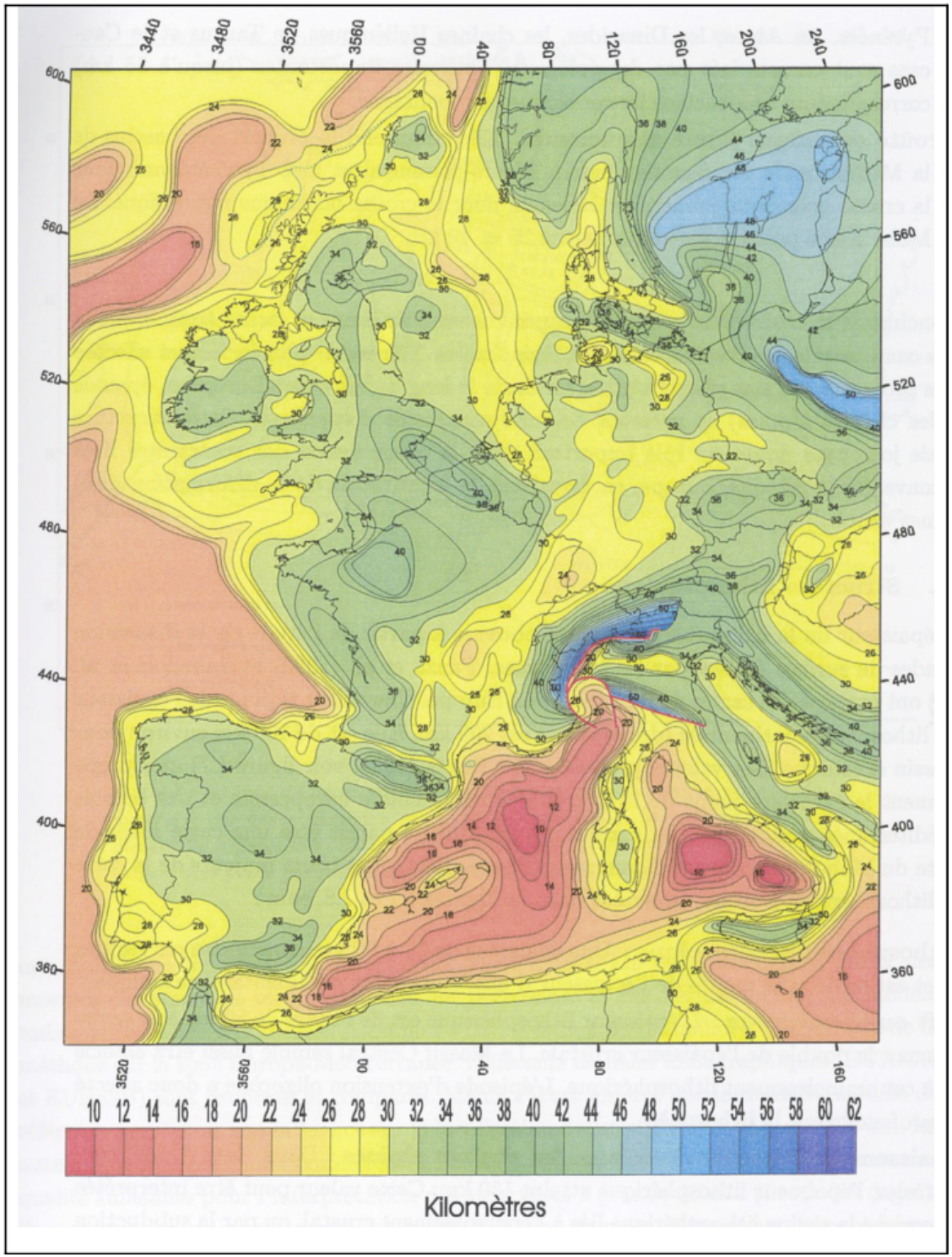


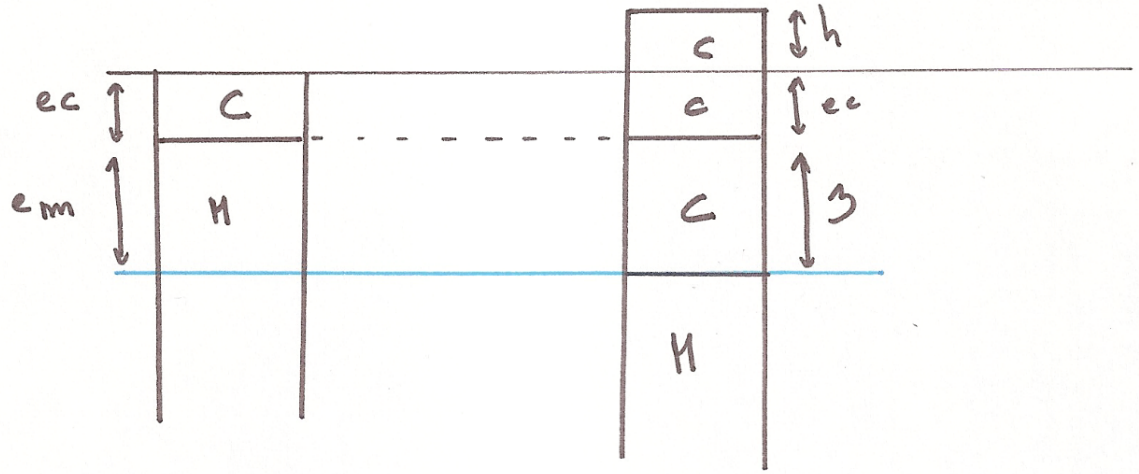
P_A = Poussée d'Archimède
P= Poids de l'objet
h = hauteur du bloc
r = racine (partie immergée)
a = altitude (partie émergée)
h = r + a
ρ_m et ρ_c = Masses volumiques

<u>Exercice n°7</u> : profondeur du Moho sous une chaîne de montagnes



Carte de France des isobathes du Moho



① 

$ec\,\rho_c + em\,\rho_H = (h+ec+3)\,\rho_c$ avec $\underline{3 = em}$

$\rightarrow em\,\rho_H = h\rho_c + 3\rho_c$

$3\rho_H = h\rho_c + 3\rho_c$

$3(\rho_H - \rho_c) = h\rho_c$

$\Rightarrow 3 = h\,\dfrac{\rho_c}{\rho_H - \rho_c}$

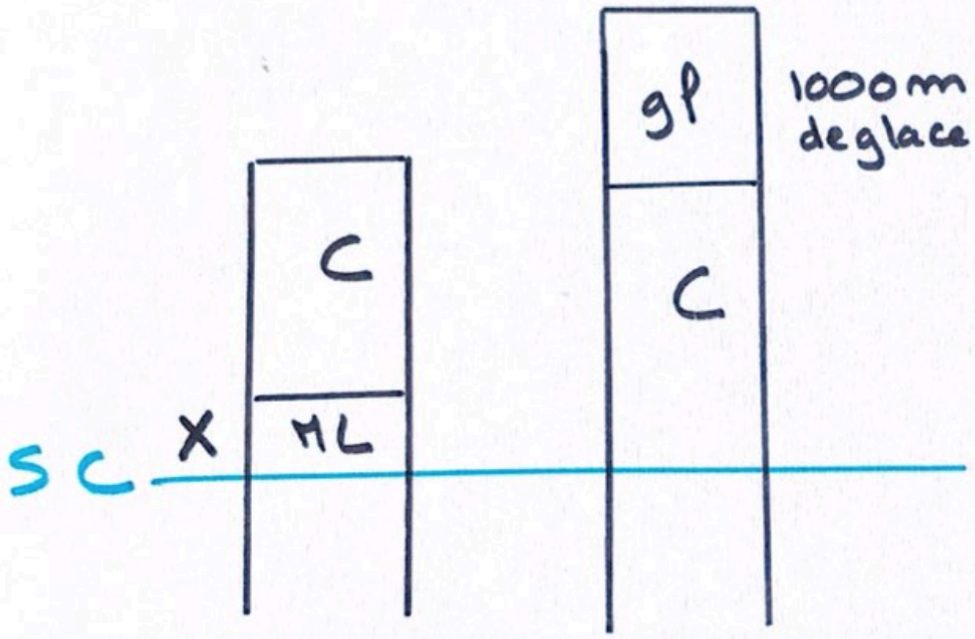
$\boxed{3 = 5{,}4h}$

② érosion : $h + 5{,}4h = 6{,}4h$ à éroder.

$h = 4800\,m \rightarrow \underline{30720\,m}$ à éroder

$\Rightarrow \underline{t = 10{,}24\,MA}$

$t = \dfrac{h_{érosion}}{V_{érosion}}$



$X \rho_{ML} = 1000 \rho_{gl}$

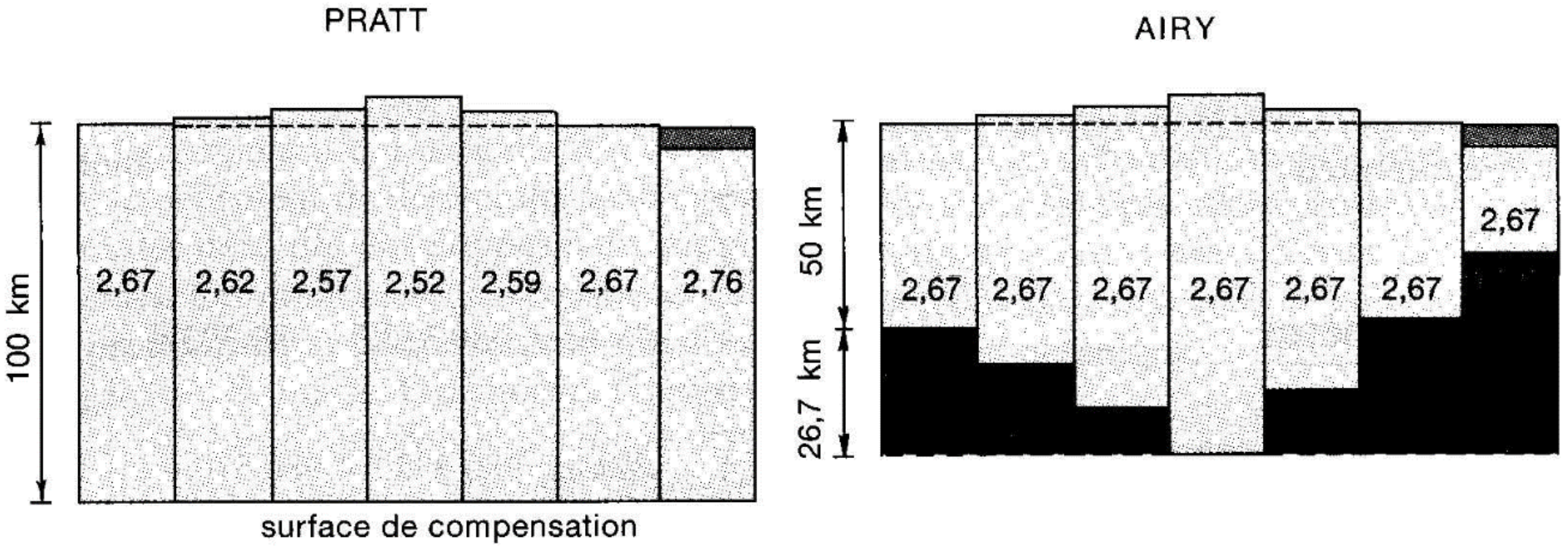
$3,2\ X = 917$

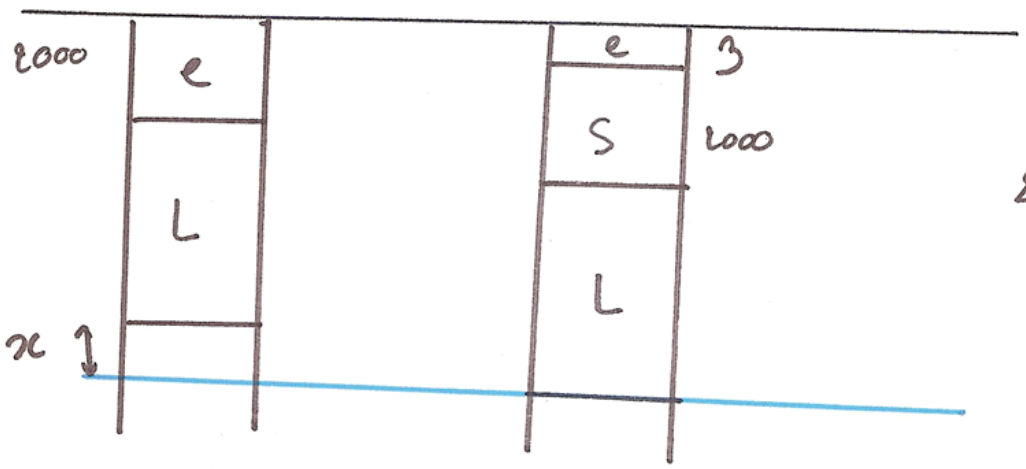
$X = 286,5\ m$

→ nouvelle altitude :

$4800 + 1000 - 286,5 = \underline{5513,5 m}$

<u>Exercice n°8</u> : conséquences du dépôt de sédiments sur le fond océanique





$2000 + L + x = 3 + 2000 + L$

$\rightarrow 3 = x$

$2000\, d_e + x\, d_A = 2000\, d_s + x\, d_e$

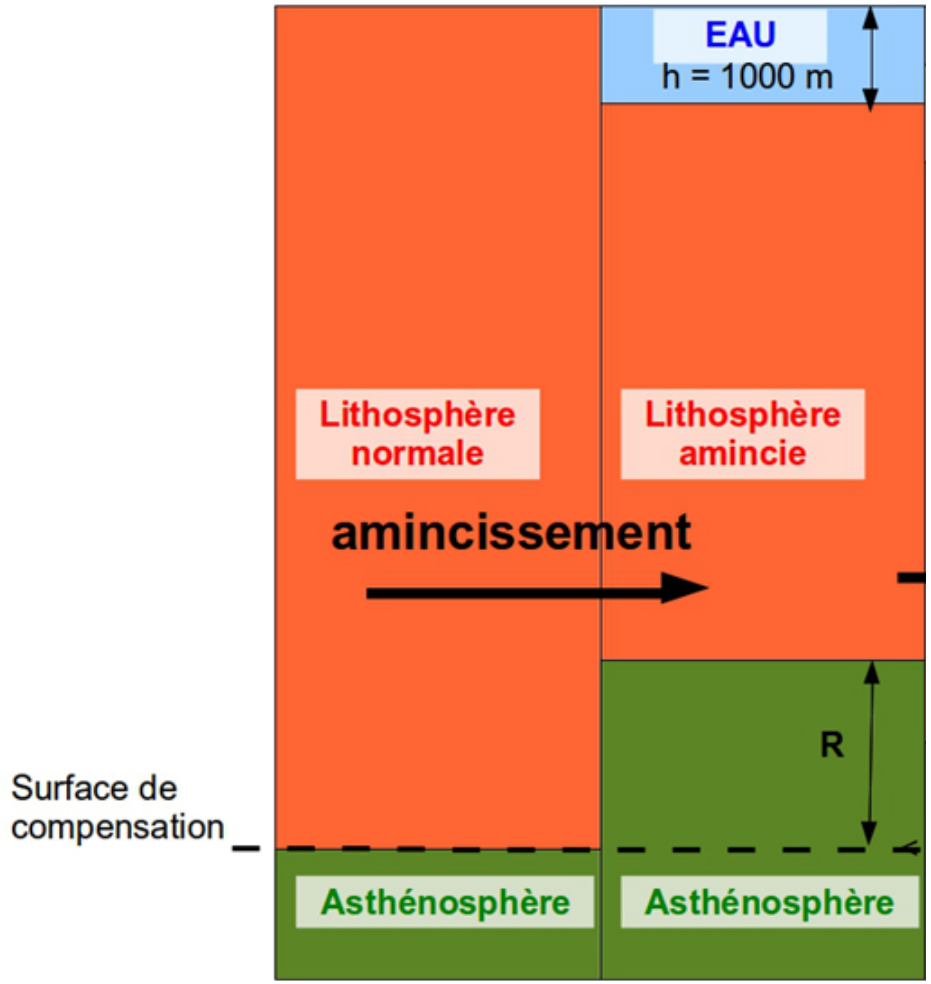
$x\,(d_e - d_A) = 2000\,(d_e - d_s)$

$$x = \frac{(d_e - d_s)\,2000}{d_e - d_a} = 2000 \times \frac{1,16}{2,22}$$

$x = 1045\,m$

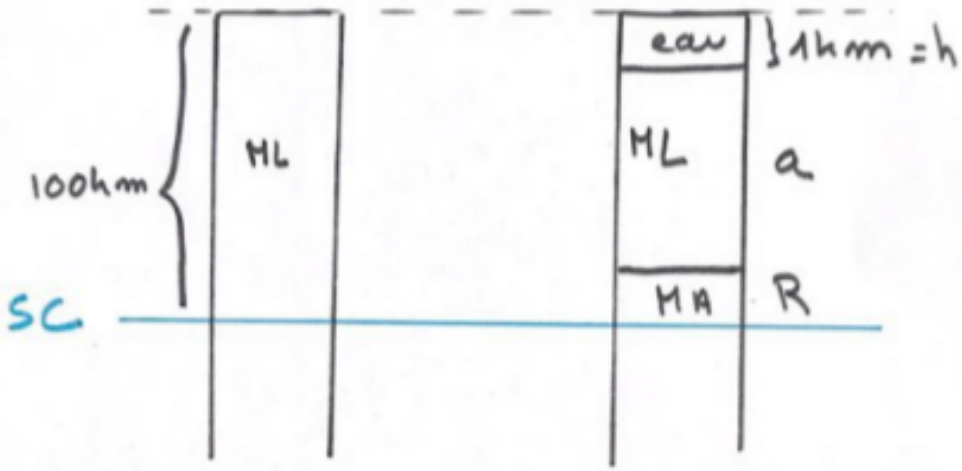
<u>Exercice n°9</u> : quantifier l'épaisseur d'une lithosphère amincie et sa subsidence par accumulation de sédiments

Modèle d'Airy avec 2 compartiments (lithosphère et asthénosphère) ; la surface de compensation est arbitrairement placée à la base de la lithosphère.



Ex 3 :

①



$$100\rho_{ML} = e + a\rho_{ML} + R\rho_{MA}$$

or $100 = 1 + a + R \Rightarrow \underline{R = 99 - a}$

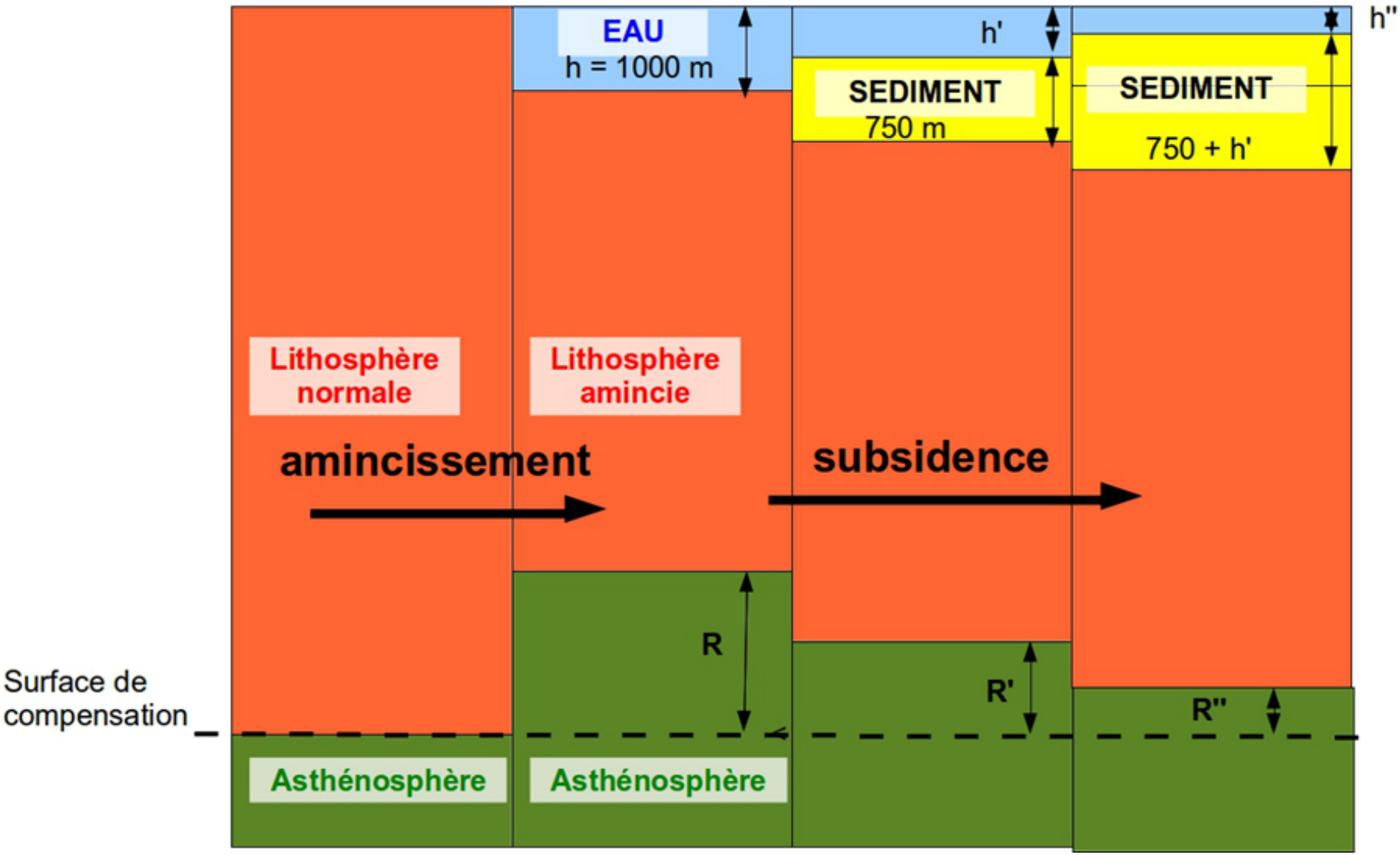
$$\rightarrow 100\rho_{ML} = e + a\rho_{ML} + (99-a)\rho_{MA}$$

$$100\rho_{ML} = e + a(\rho_{ML} - \rho_{MA}) + 99\rho_{MA}$$

$$a = \frac{100\rho_{ML} - 99\rho_{MA} - e}{\rho_{ML} - \rho_{MA}} = \underline{9\,km}$$

$\Rightarrow \underline{R = 8\,km}$.

<u>Exercice n°9</u> : quantifier l'épaisseur d'une lithosphère amincie et sa subsidence par accumulation de sédiments



(2)



$h\rho_{eau} = a\rho_{HL} + R'\rho_{HA} = h'\rho_{eau} + S\rho_{sed} + a\rho_{HL}$

or $h + a + R' = h' + S + a \rightarrow \underline{R' = S + h' - h}$

$\rightarrow h\rho_{eau} + (S + h' - h)\rho_{HA} = h'\rho_{eau} + S\rho_{sed}$

$$h' = \frac{h\rho_{eau} + (S-h)\rho_{HA} - S\rho_{sed}}{\rho_{eau} - \rho_{HA}}$$

$$\underline{h' = 65\,\ell\,m}$$