

# **UE Lithosphère océanique et points chauds**

## **Régime thermique des dorsales : approche géochimique et pétrologique**

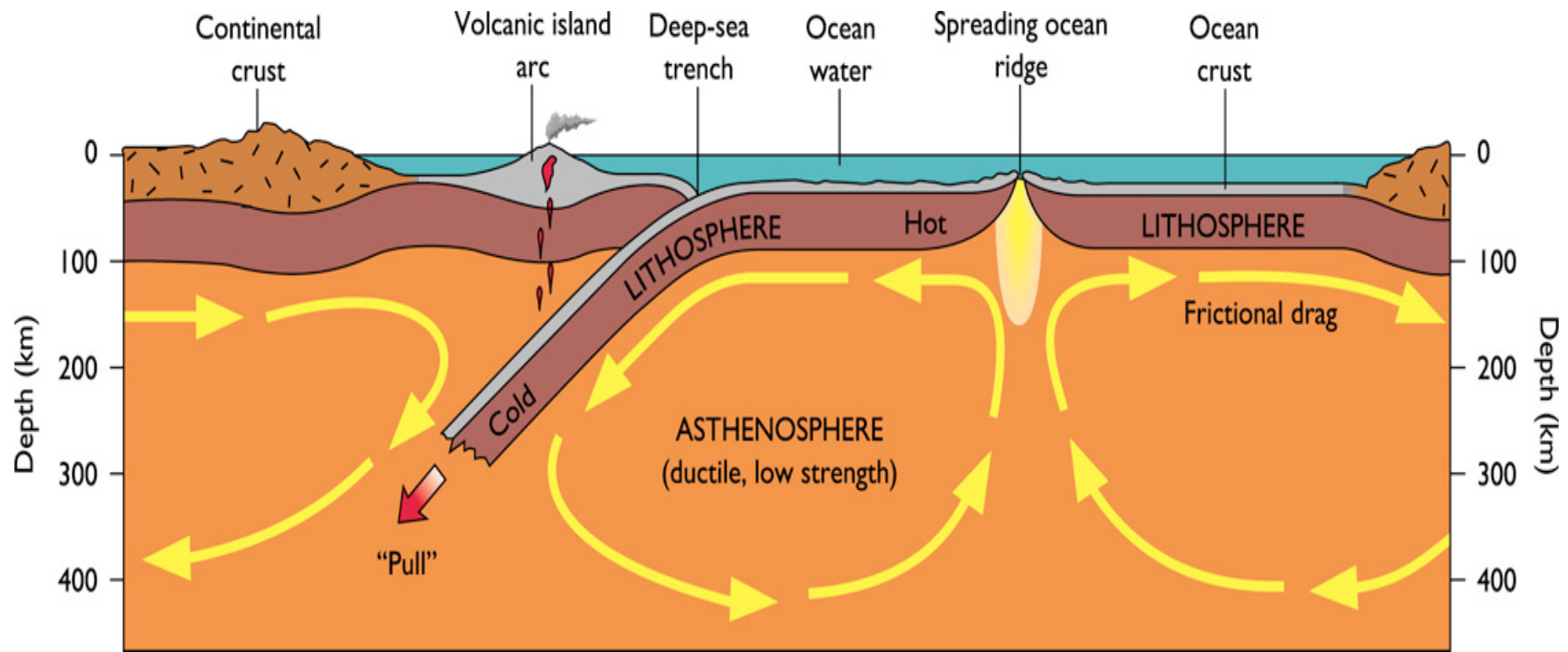
**Catherine Mével  
Géosciences Marines  
Novembre 2007**

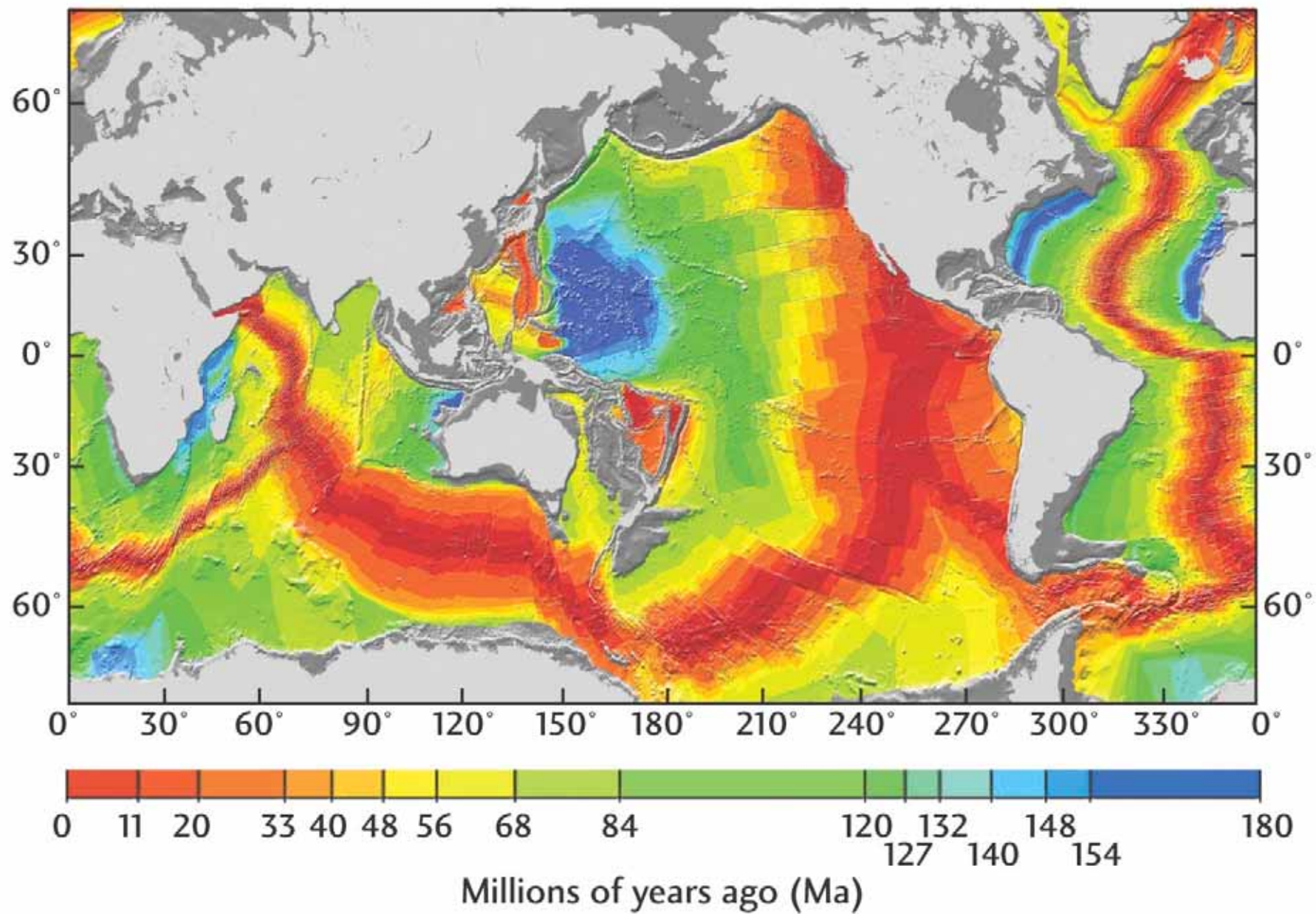
- Fusion partielle**
- Informations apportées par les péridotites résiduelles**
- Informations apportées par les basaltes**

**Échelle régionale**

**Échelle locale**

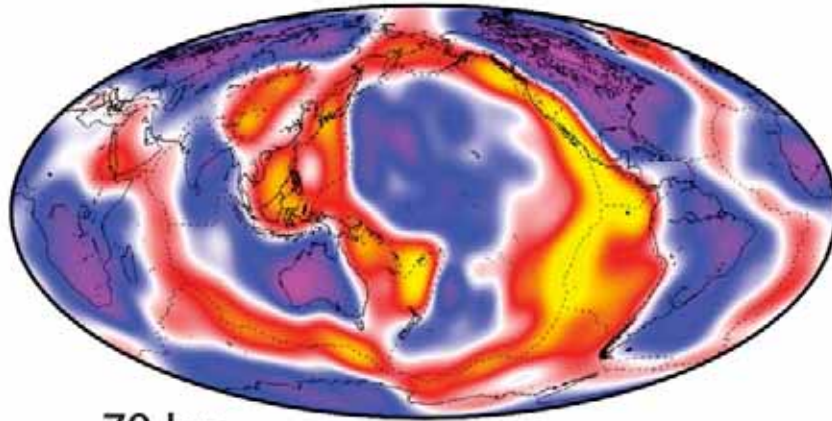
**L'influence des points chauds**



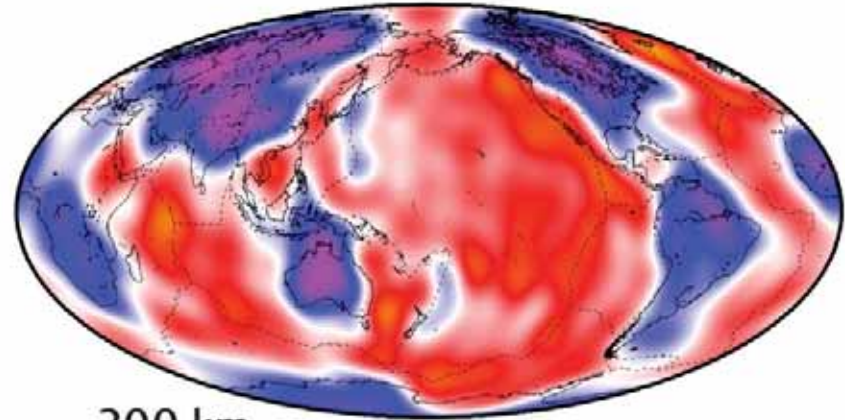




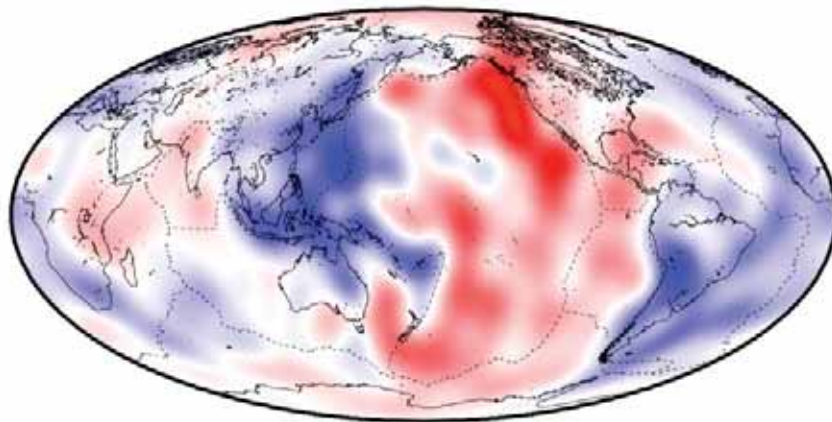
# Tomographie sismique



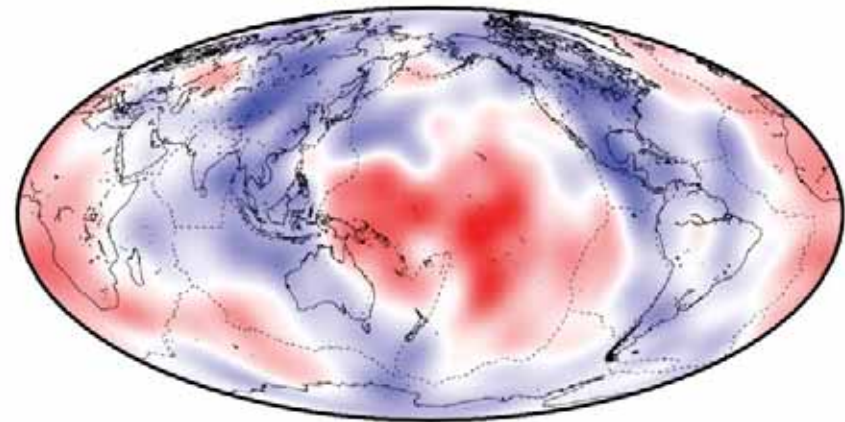
70 km



200 km

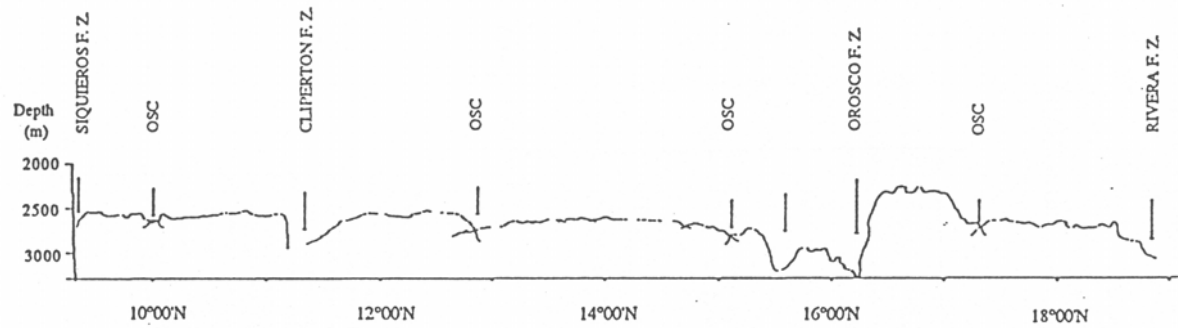
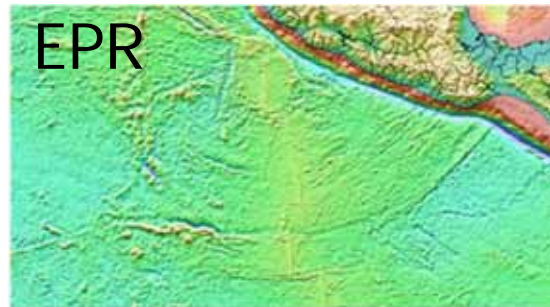
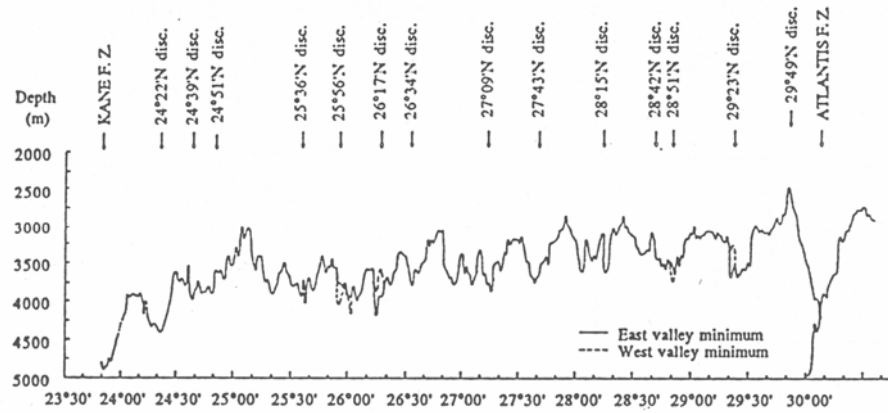
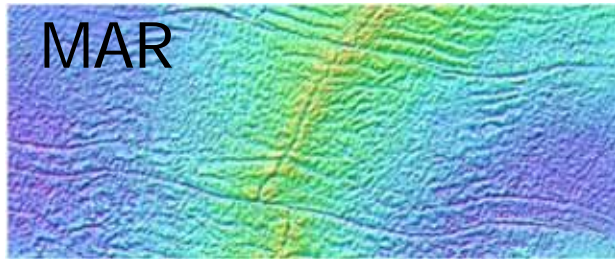


500 km

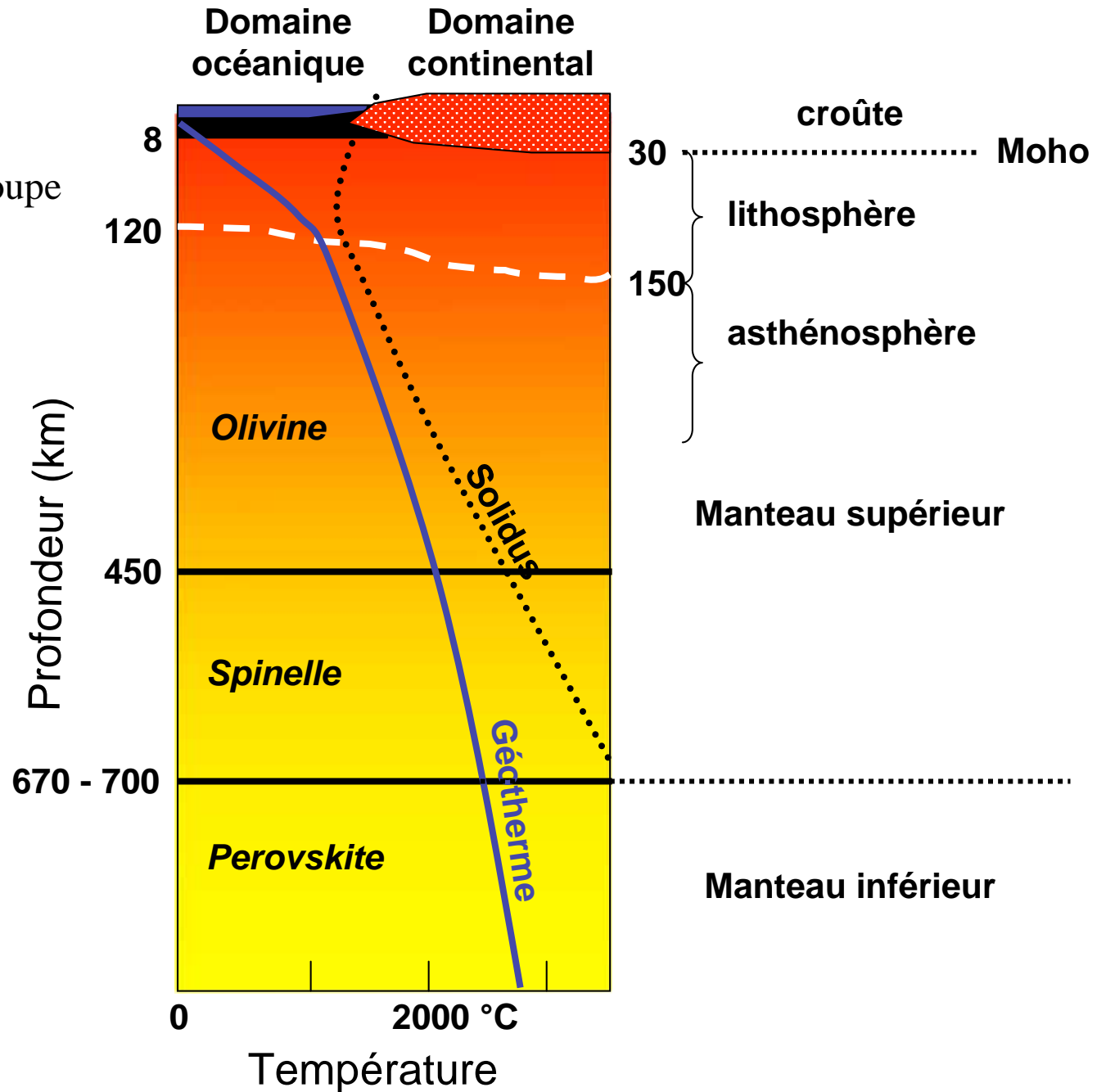


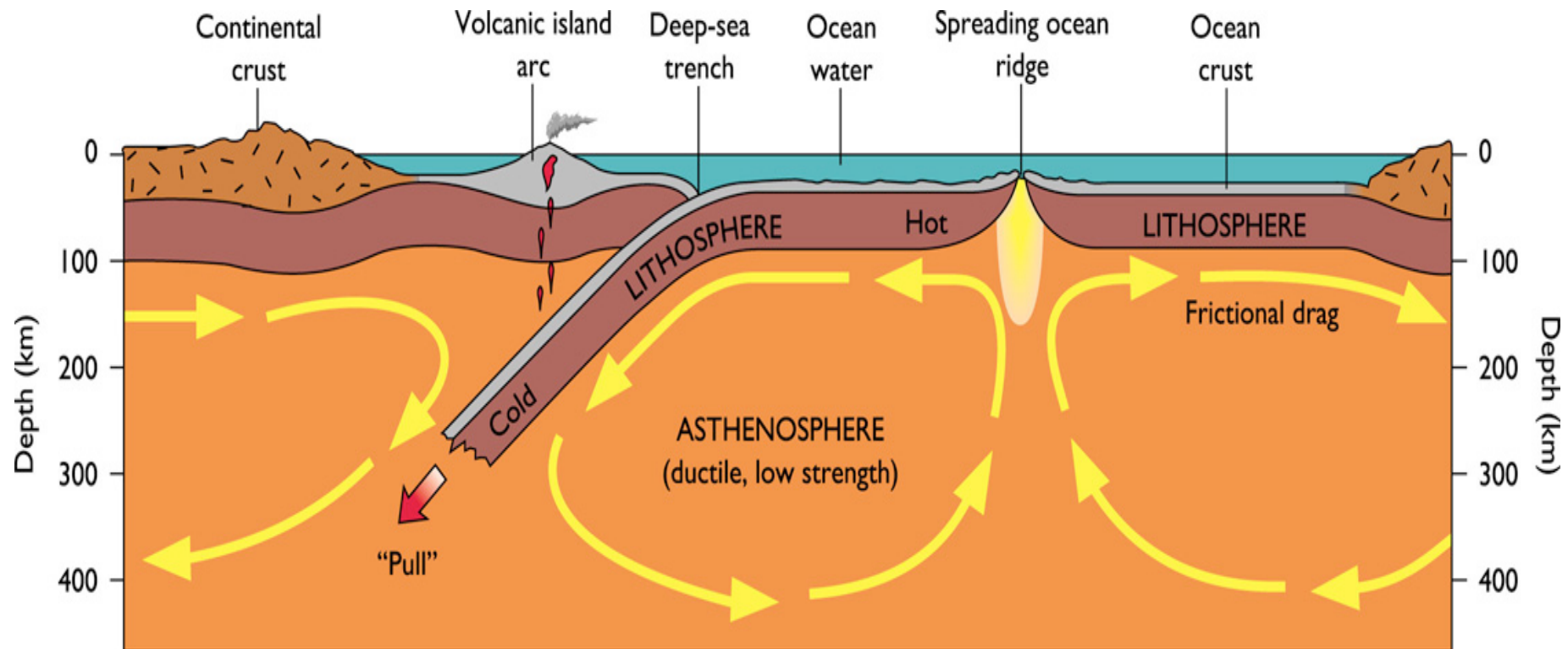
2800 km (near mantle-core boundary)

# Taux d'expansion et morphologie de l'axe



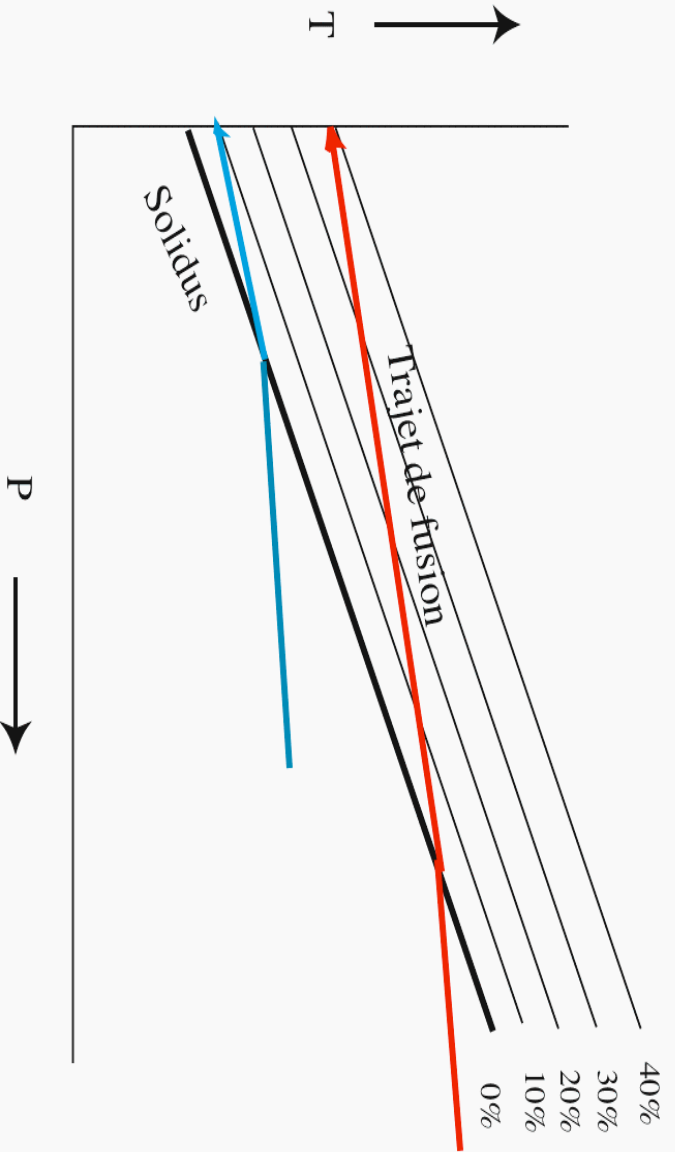
Le manteau supérieur est constitué de péridotites  
Pour qu'il y ait fusion, il faut que le géotherme recoupe le solidus des péridotites





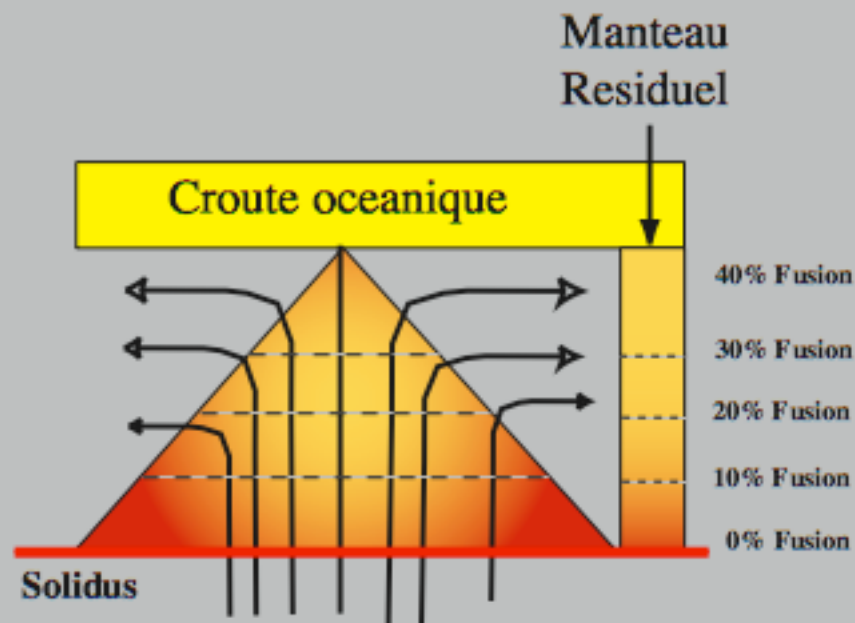
**La remontée du manteau sous les dorsales océaniques est accompagnée par une fusion partielle. Le liquide basaltique produit construit la croûte océanique**

# Solidus du Manteau

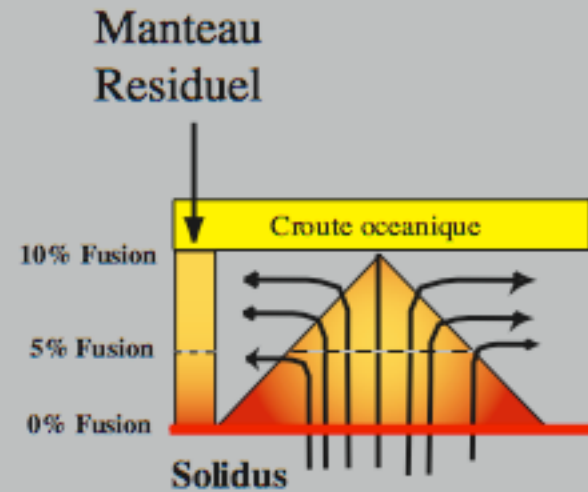




## Manteau chaud

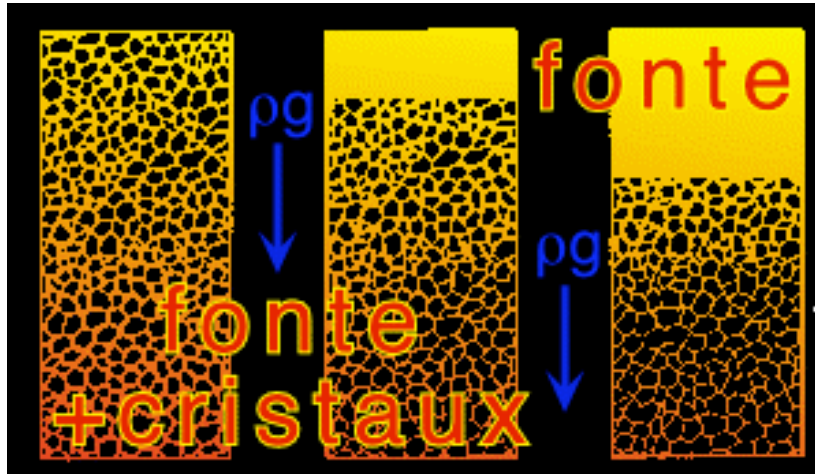


## Manteau froid



C. Langmuir

# La fusion partielle



Magma riche en éléments incompatibles

Roche résiduelle

*Début de fusion*

Roche mère

pyrolite

péridotite résiduelle +  
liquide basaltique



SWIR

basalte

Roches magmatiques

gabbro



cm  
45  
50  
55  
60  
65

Olivine  
gabbro

Troctolite

MAR

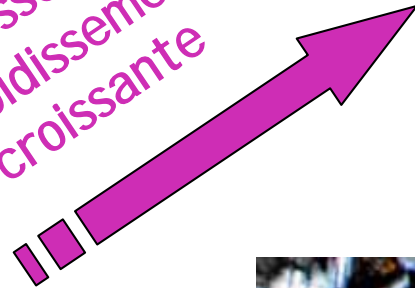
péridotite

Roche résiduelle

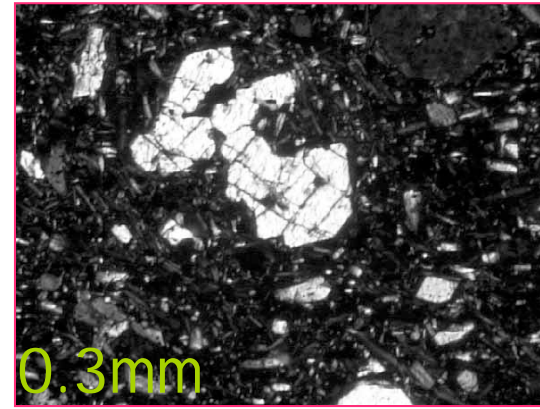


SWIR

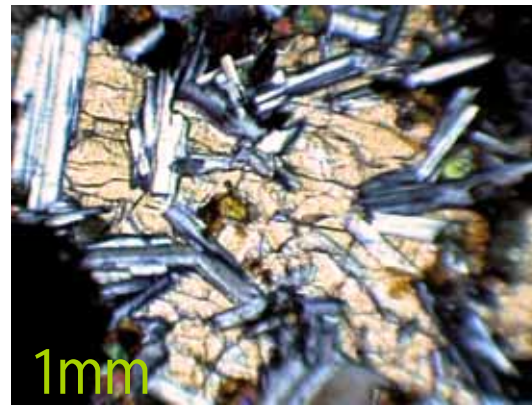
vitesse de  
Refroidissement  
croissante



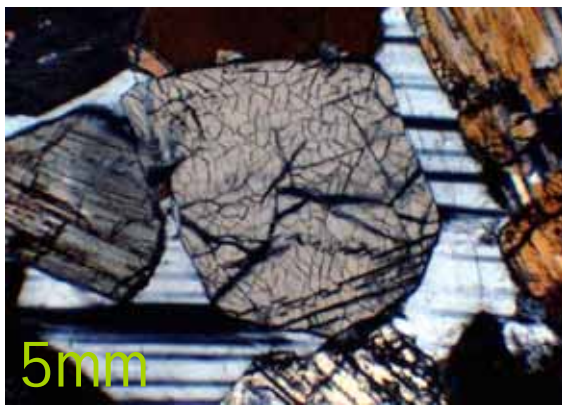
basalte

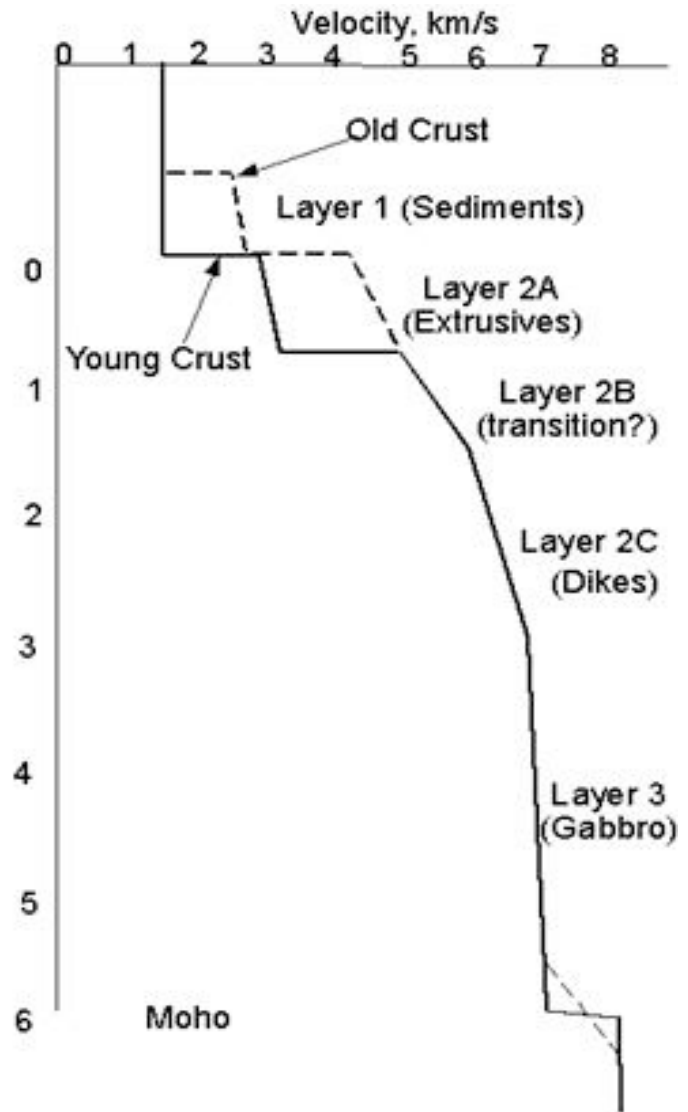
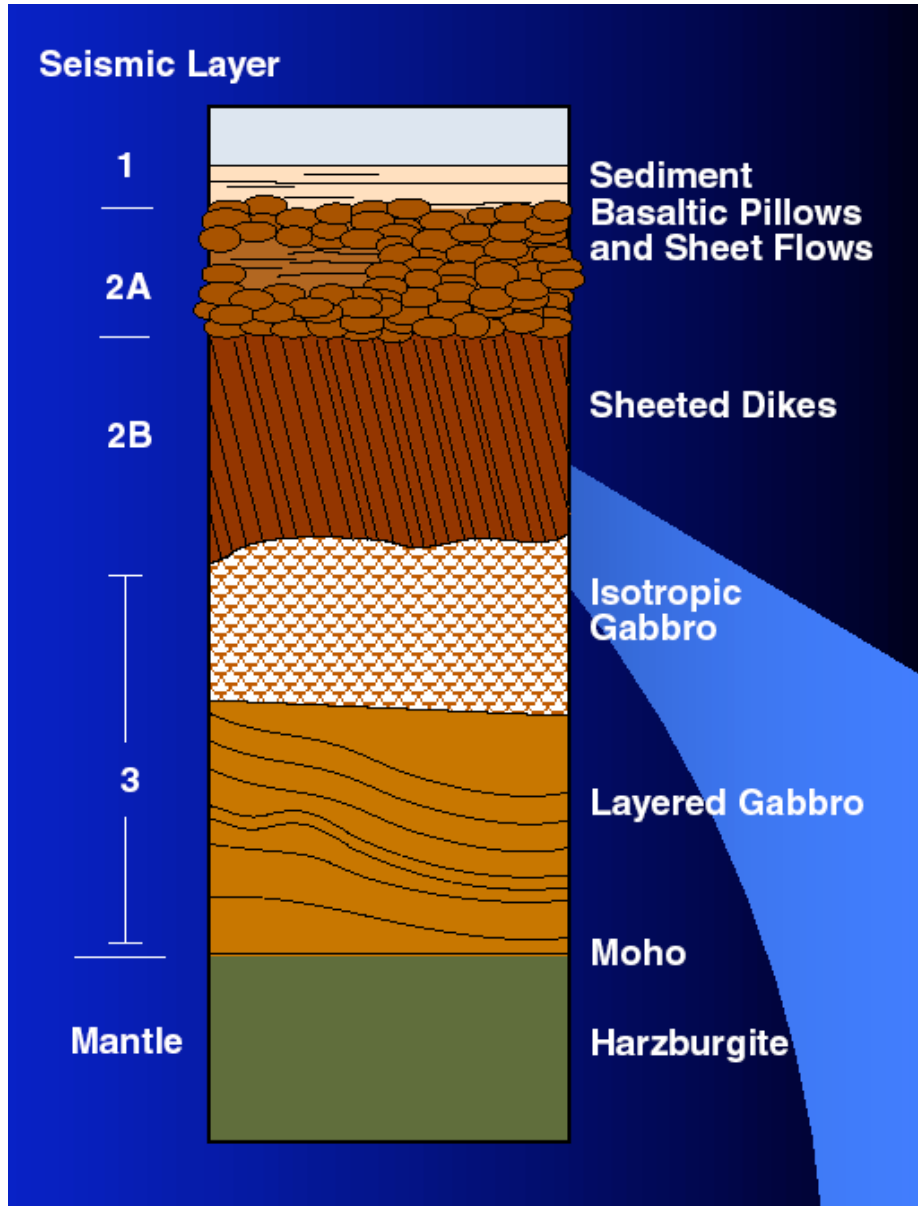


Dolérite  
(= diabase)



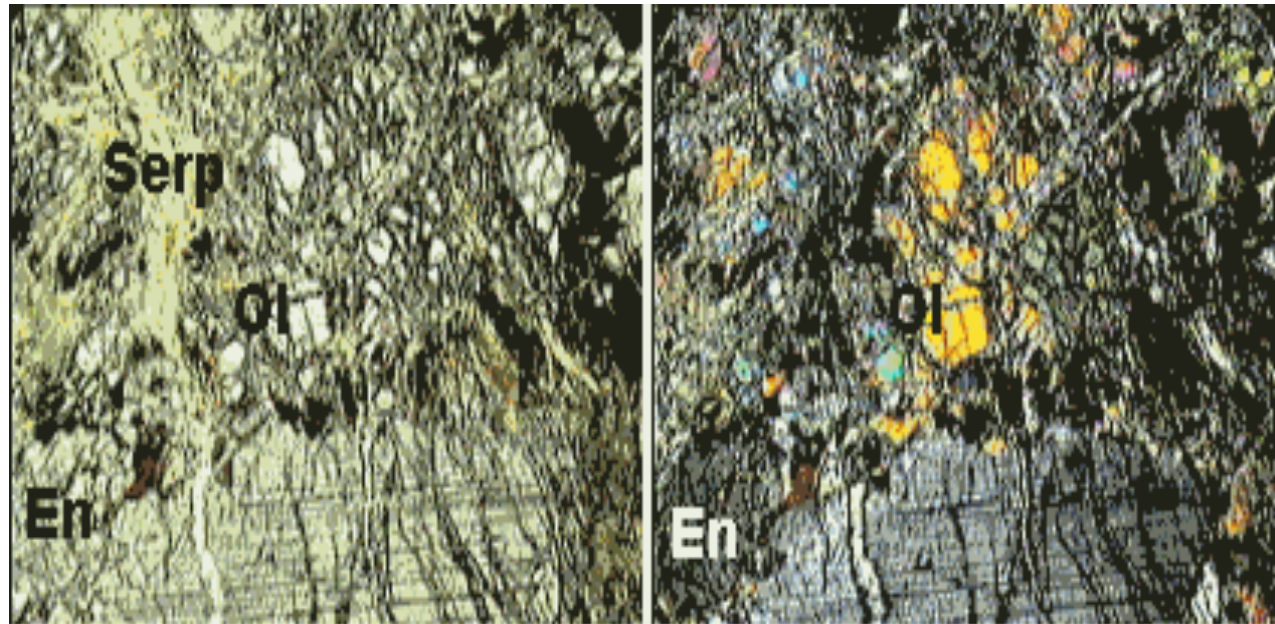
gabbro





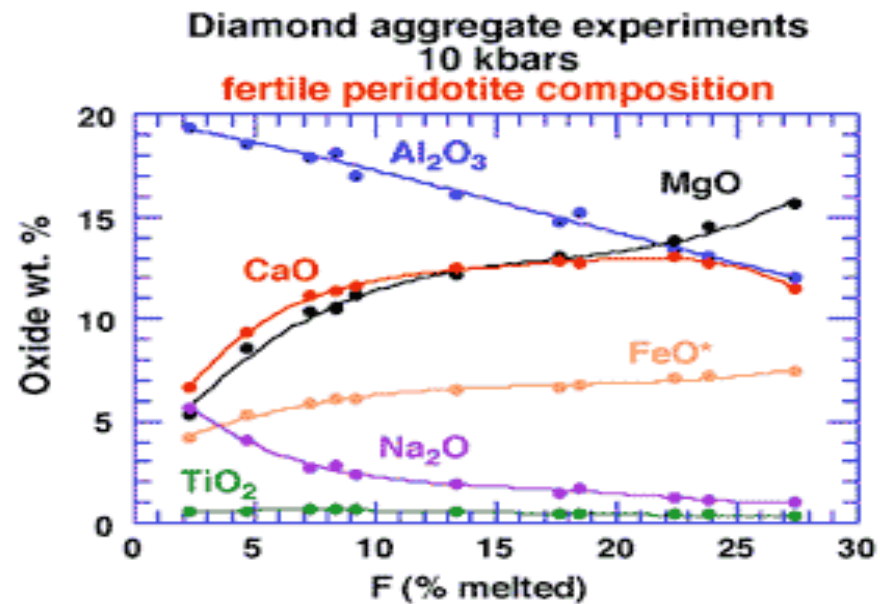


# Péridotite

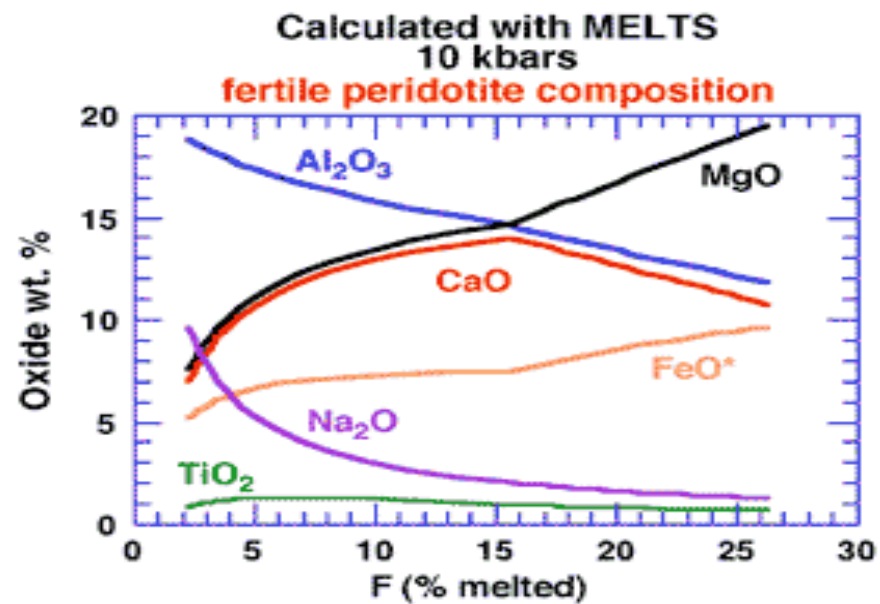


**Expérimentation sur la fusion partielle des péridotites  
pour comprendre la composition des liquides basaltiques**

*La composition du résidu solide et celle des liquides  
évoluent en fonction du taux de fusion partielle*



expérimentation



modélisation

Composition de la péridotite résiduelle en fonction de la fraction fondue

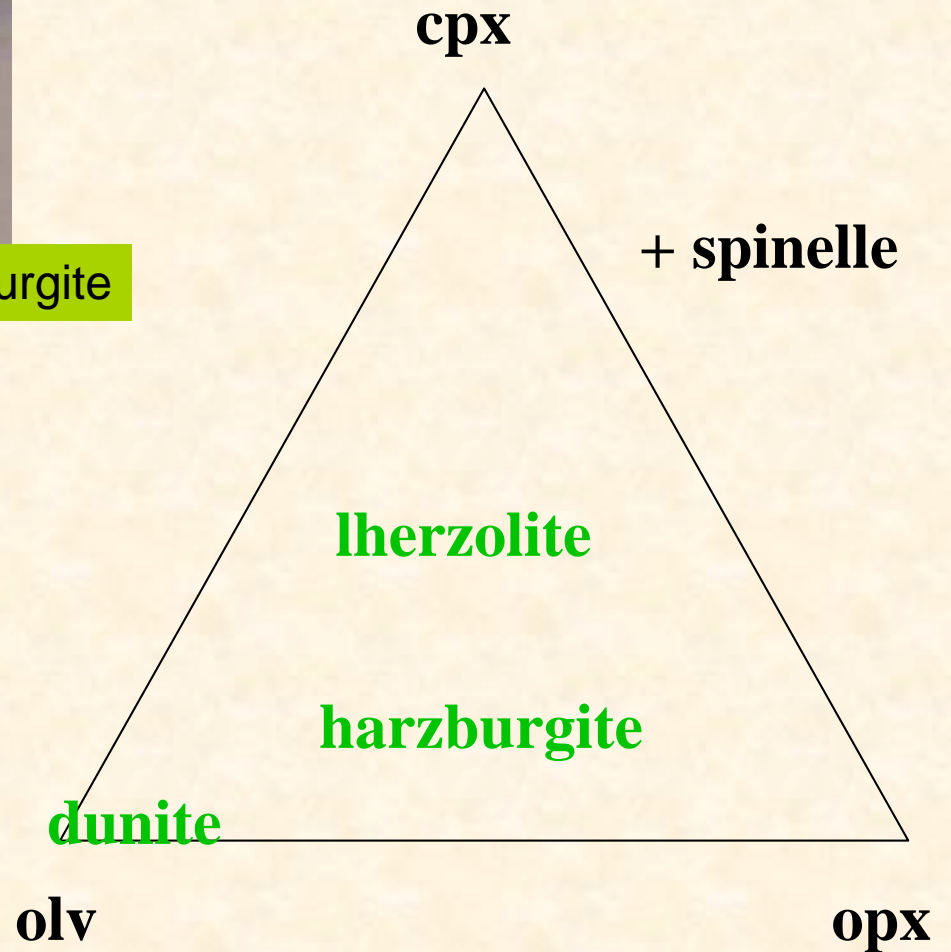


Dorsale SW Indienne

harzburgite

- Dans la péridotite
- les minéraux fondent
  - leur composition évolue

Que nous disent les  
péridotites résiduelles ?



## Composition modale des péridotites

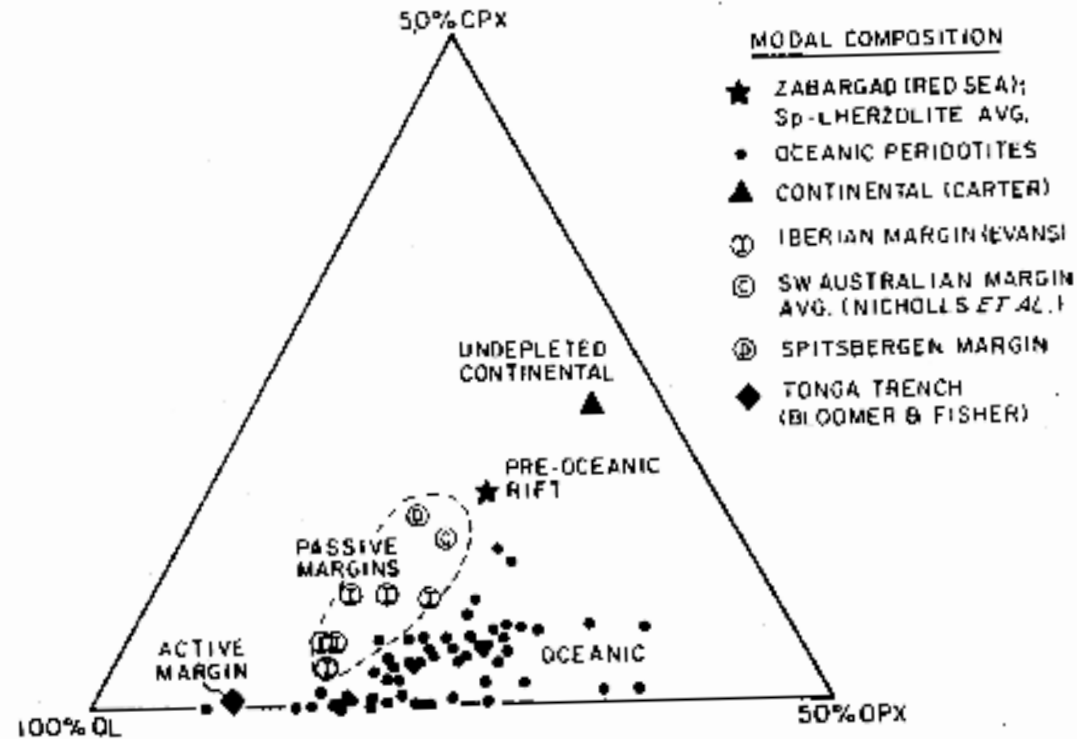
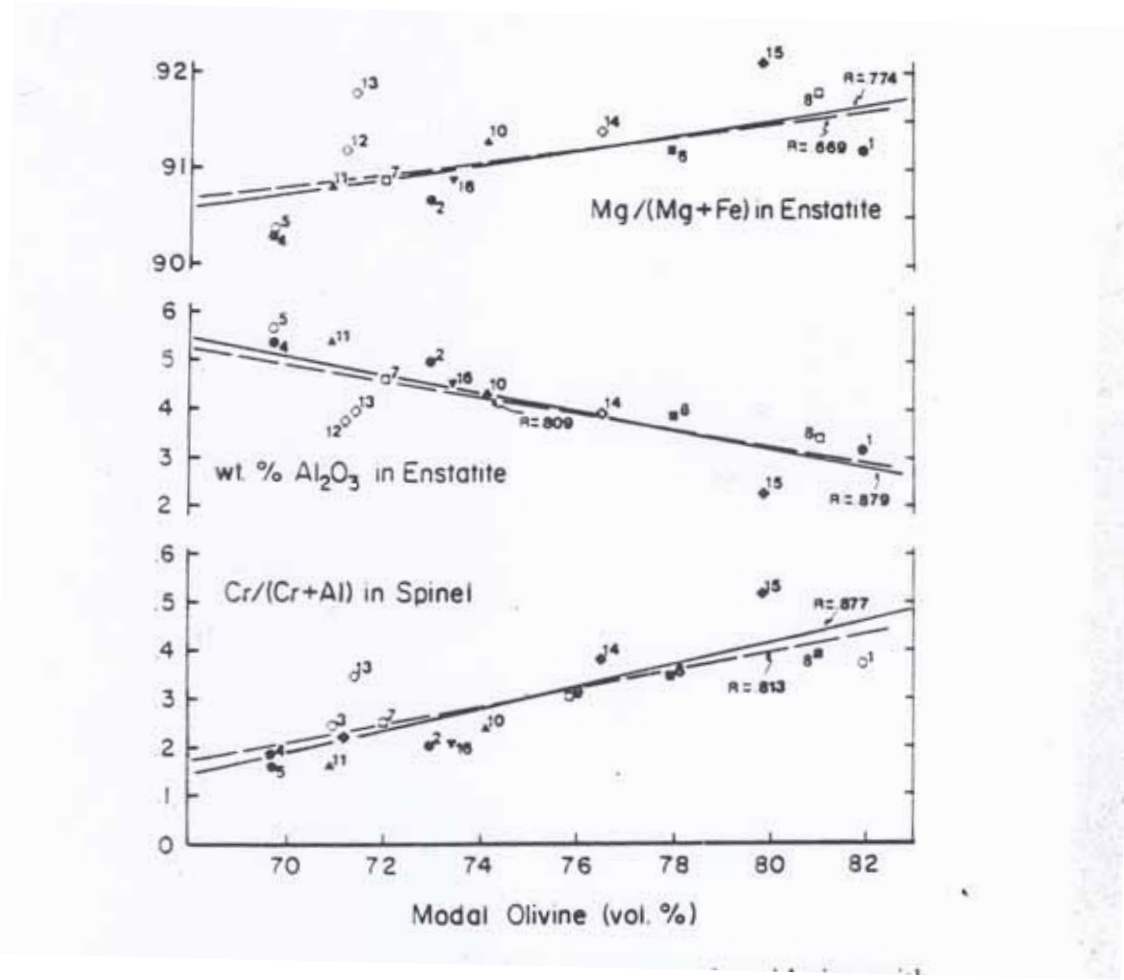


Fig. 3. Modal composition of peridotites from the Atlantic Ocean [3,4], the Iberian margin [14], the southwestern Australian margin [10], the Spitsbergen margin (unpublished data); from a preoceanic rift, i.e., Zabargad Island in the Red Sea [9], average of peridotites from Tonga Trench [27], and in estimated undepleted continental lherzolites [32].

**L'ordre de fusion des minéraux est fonction de leur composition :**  
**Les minéraux riches en éléments incompatibles fondent en premier**

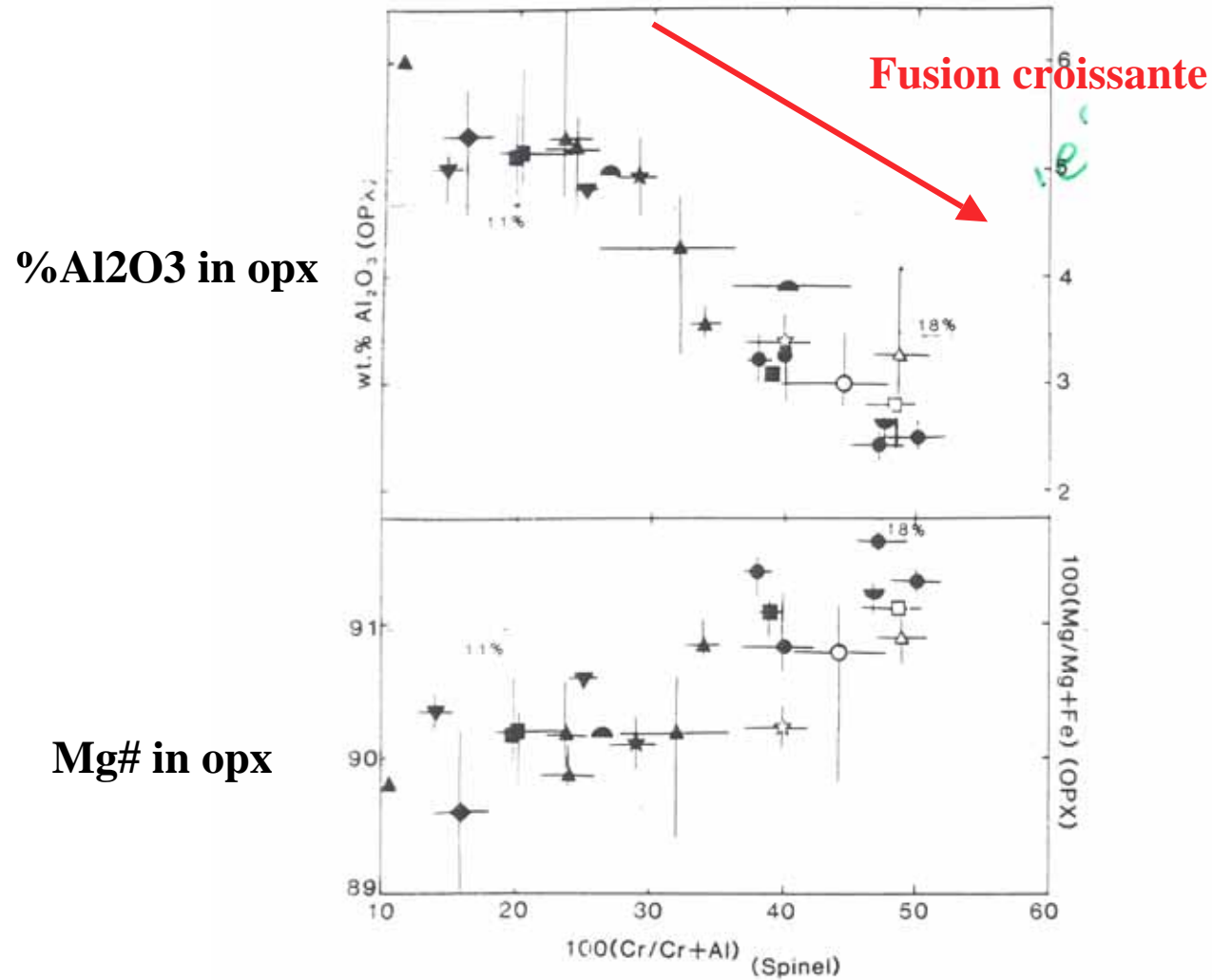




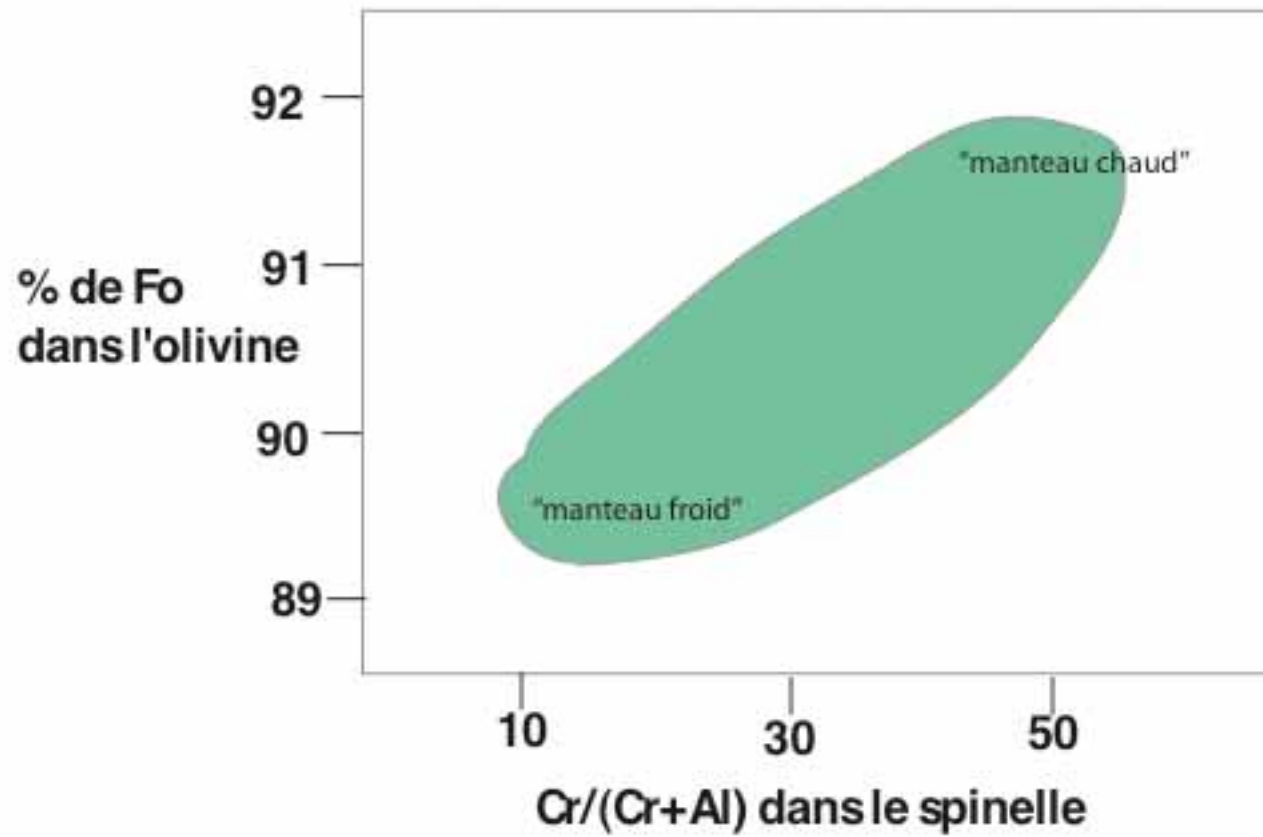
**Fusion croissante**

**Évolution des péridotites sous l'effet de la fusion**

### 100(Cr/Cr+Al) in spinel

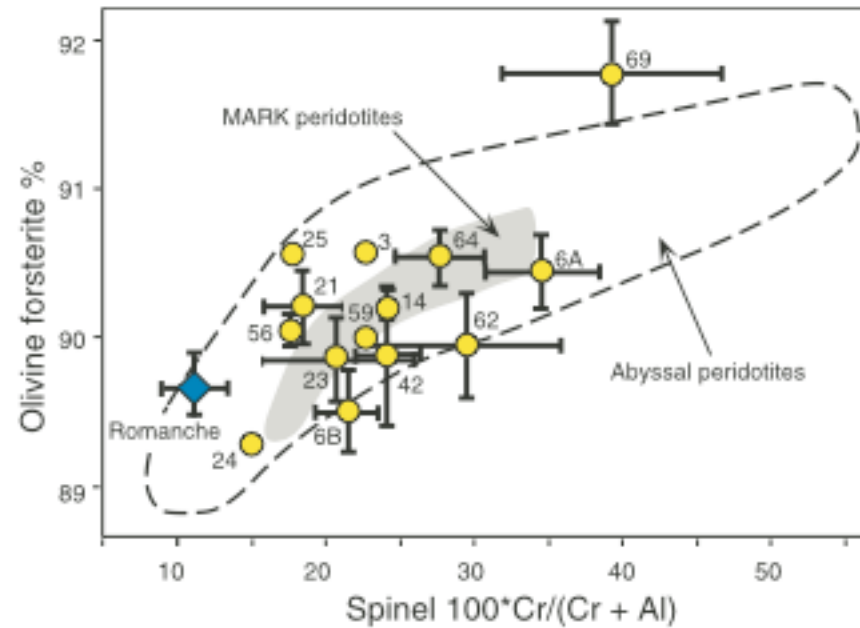


Évolution de composition des minéraux de la péridotite au cours de la fusion



champ des péridotites abyssales

|



**Ronds jaunes :**  
**Dorsale sud ouest**  
**Indienne**

**La réalité est plus complexe**  
**La composition initiale du manteau est hétérogène**  
**Épisodes de fusion antérieurs, refertilisation....**

**Quelle est l'information  
apportée par les basaltes ?**



**pillow-lava**



**laves en tube**

*Photos IFREMER*



Les basaltes des dorsales océaniques  
ont des compositions très homogènes  
**MORB (mid-ocean ridge basalt)**  
tholéiites à olivine

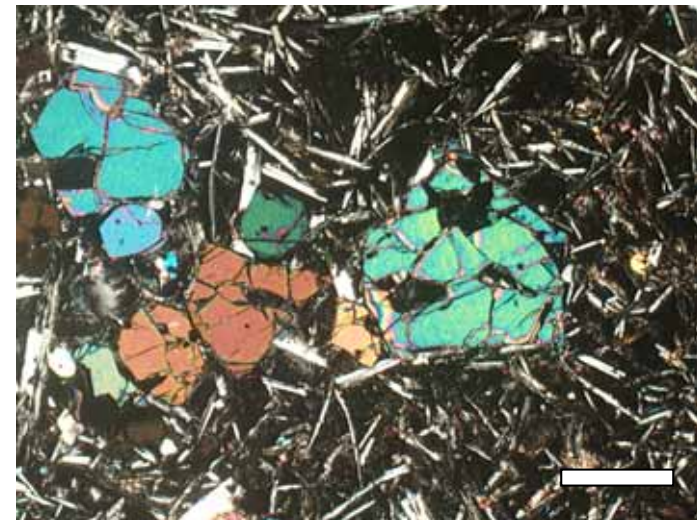
49-52 % SiO<sub>2</sub>  
6-10 % MgO

Processus de différenciation très  
limités

Variations de composition liées  
- aux conditions de fusion  
- à la composition de la source

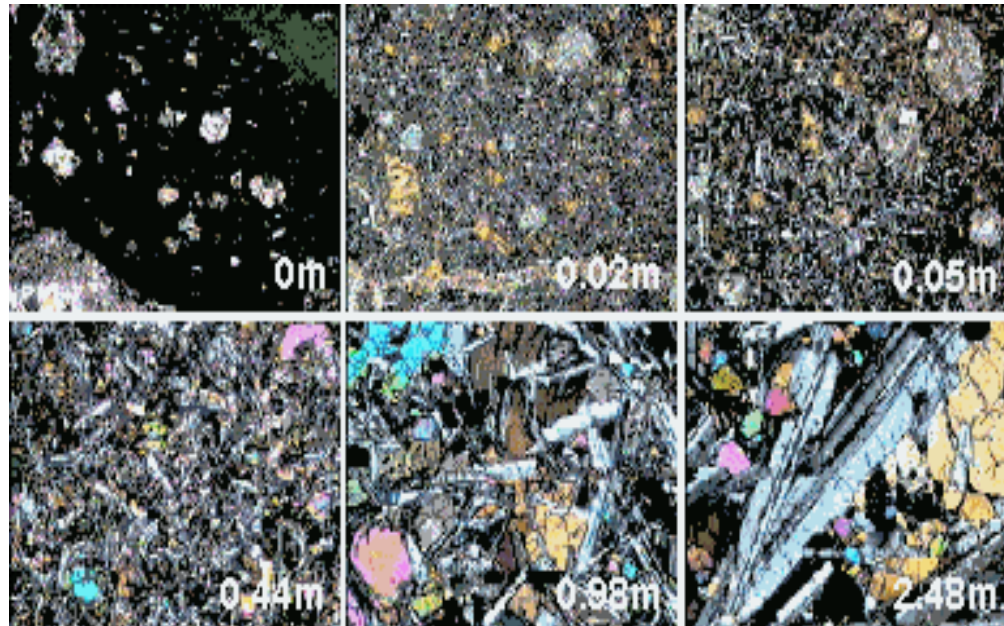


textures de trempe (plagioclase  
et clinopyroxène (échelle = 100  $\mu$ ))



phénocristaux d'olivine  
(échelle = 500  $\mu$ )

# Basalte



**Textures des basaltes océaniques en fonction du  
taux de refroidissement**

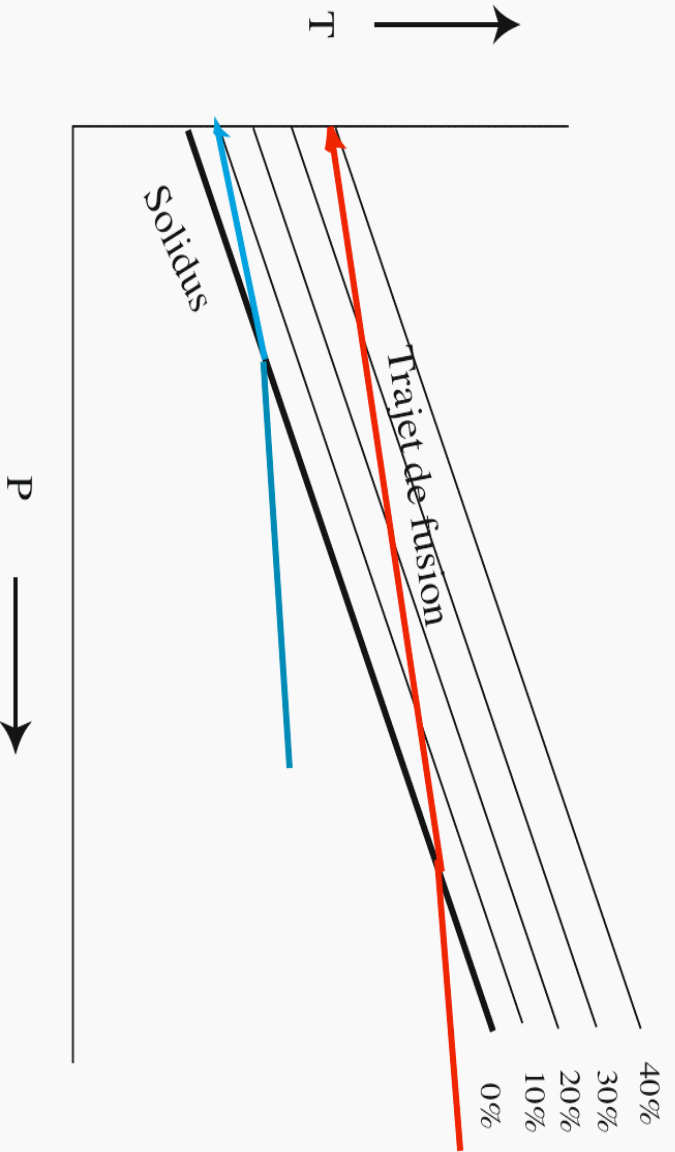
## MORB Composition

Table 5-5 Chemical and normative composition of sea-floor basalt.

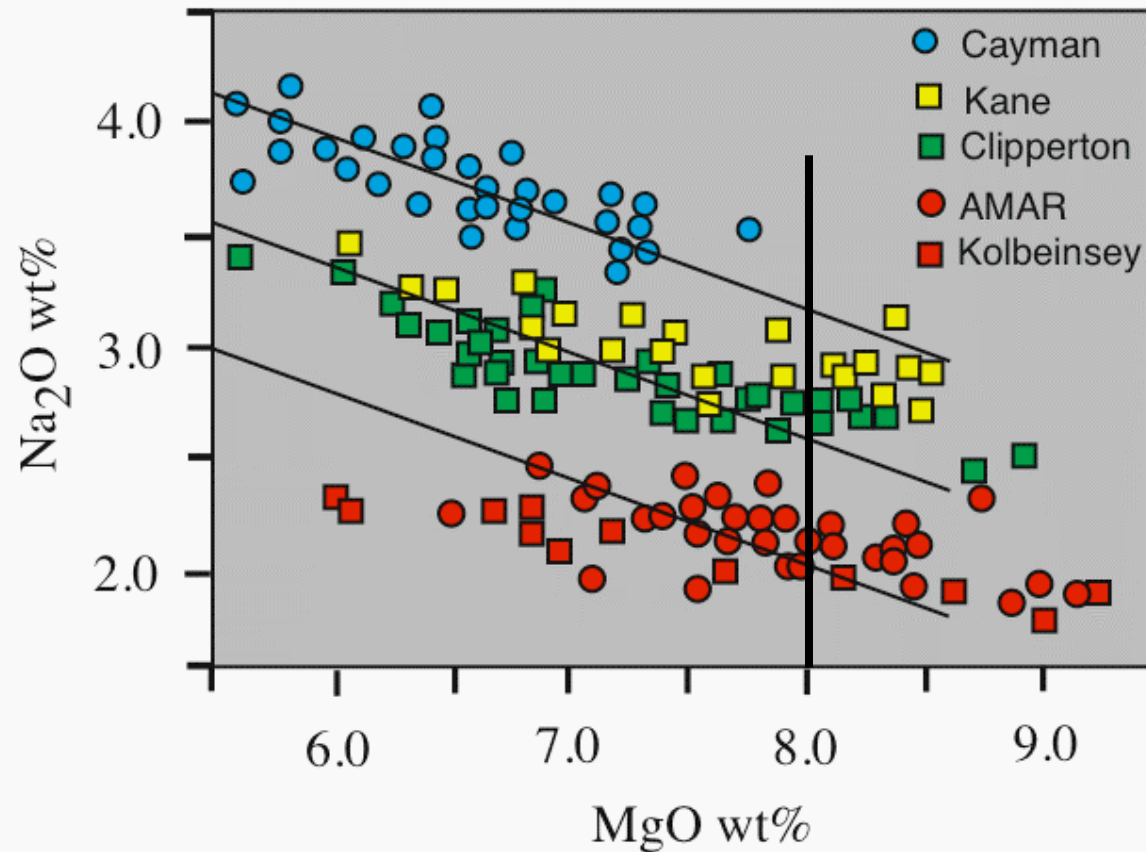
Chemical Composition		Normative Composition			
SiO <sub>2</sub>	50.67 wt. %	V	182–310 ppm	Or	1.1 wt. %
TiO <sub>2</sub>	1.28	Cr	35–510	Ab	21.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.45	Ni	75–270	An	30.6
FeO	9.67	Rb	0.2–0.9	Di	21.5
MgO	9.05	Sr	52–135	Hx	16.9
CaO	11.72	Zr	38–130	Ol	3.5
Na <sub>2</sub> O	2.51	Pb	0.4–1.3	Mr	3.7
K <sub>2</sub> O	0.15	Ba	2.7–46	Il	2.4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20	La	1.6–6.7	Ap	0.3
Total	99.50	Th	0.7–0.47		
		U	0.05–0.15		

*Source:* Averages of major, minor, and normative constituents are of 155 glasses from the Atlantic, from W. B. Bryan, G. Thompson, E. A. Frey, and J. S. Dickey, 1976. Inferred geologic settings and differentiation in basalts from the Deep-Sea Drilling Project, *Journal of Geophysical Research* 81; range of trace elements is from many samples in C. J. Allègre and S. R. Hart (eds.), 1978, *Trace Elements in Igneous Petrology* (New York: Elsevier).

# Solidus du Manteau



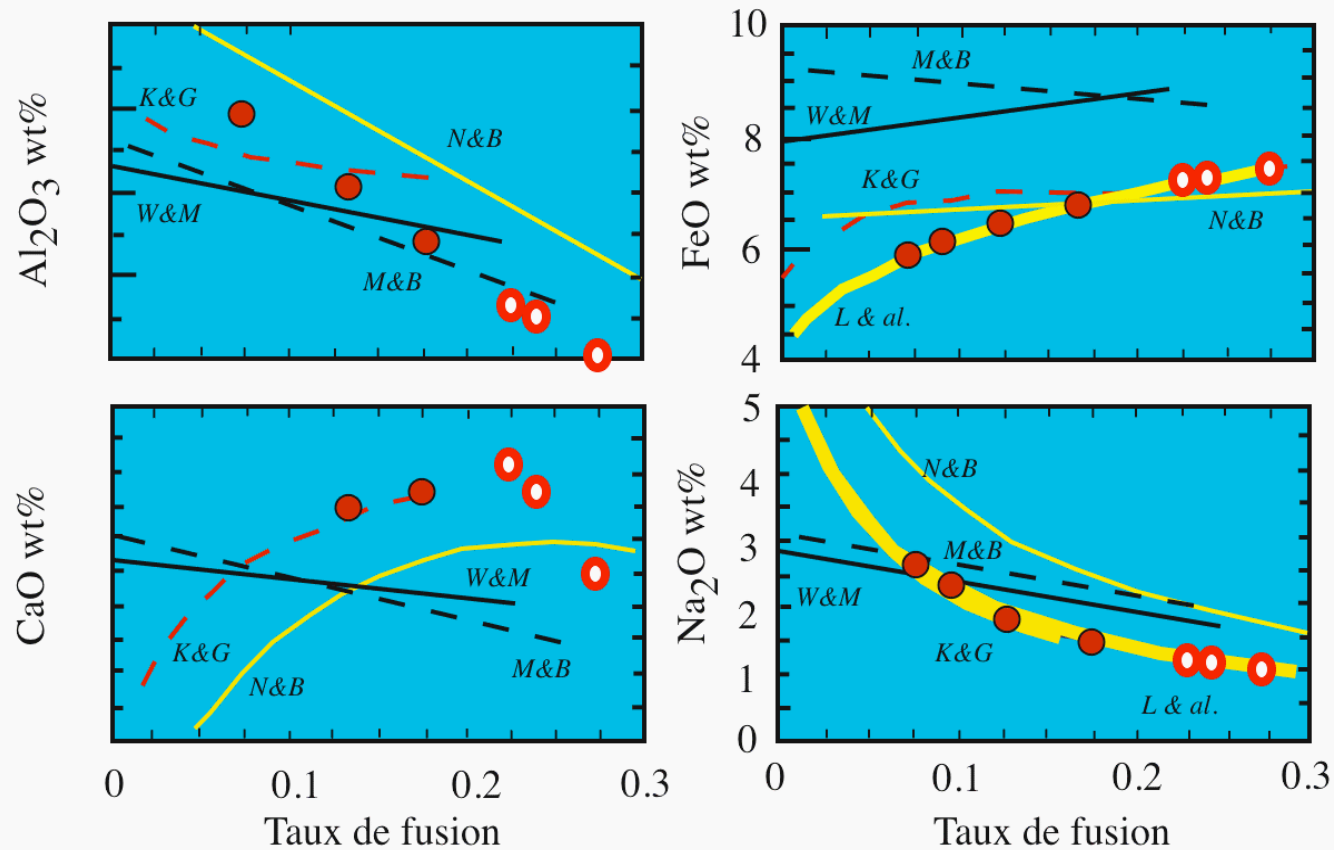
# Cristallisation fractionnee



**Le liquide basaltique peut subir une cristallisation fractionnée qui modifie sa composition chimique. Pour comparer la composition des liquides, il faut s'affranchir des effets de cette cristallisation fractionnée.**

**Normalisation à MgO = 8.0%**

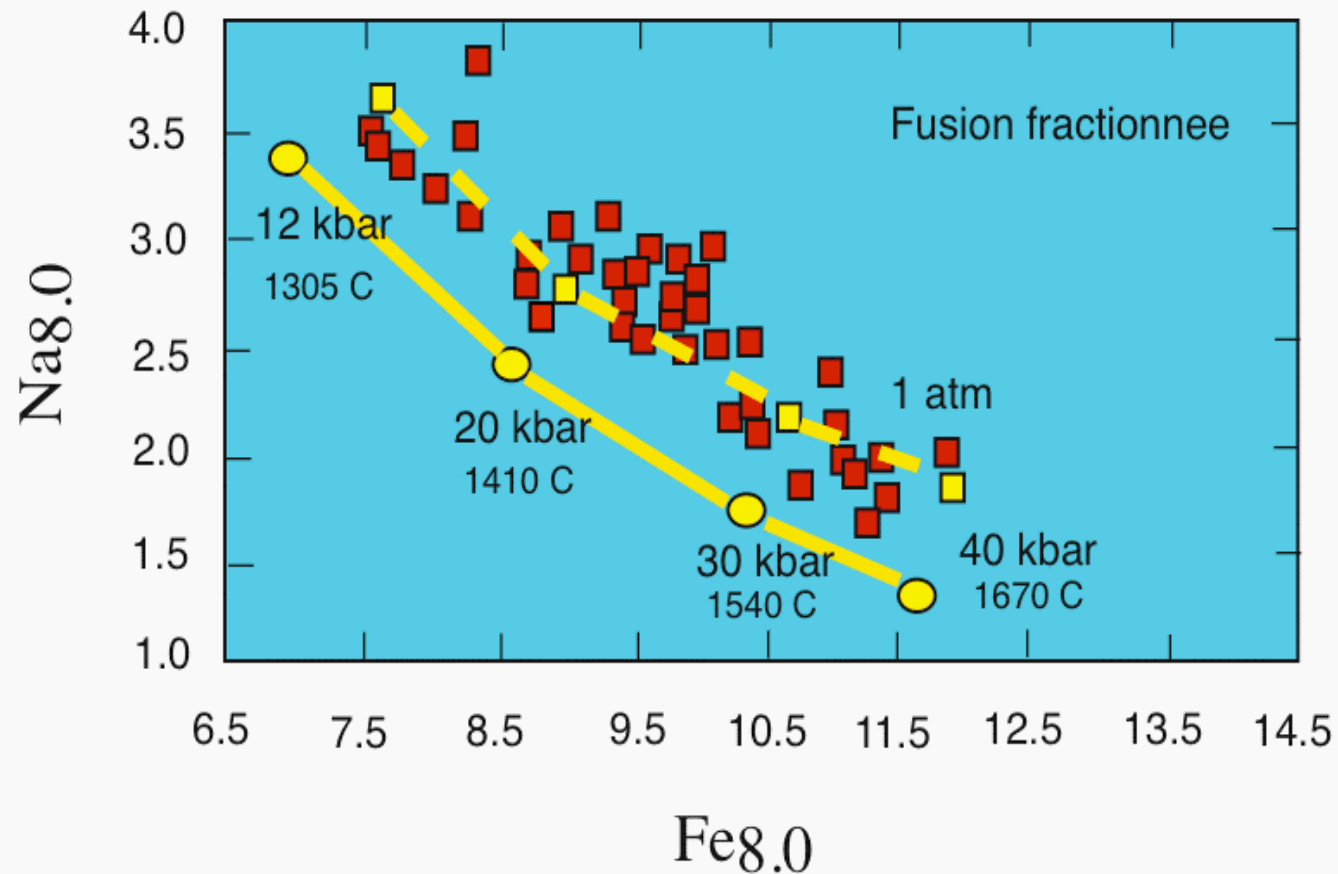




**Expérimentation : évolution de la composition des liquides en fonction du taux de fusion**

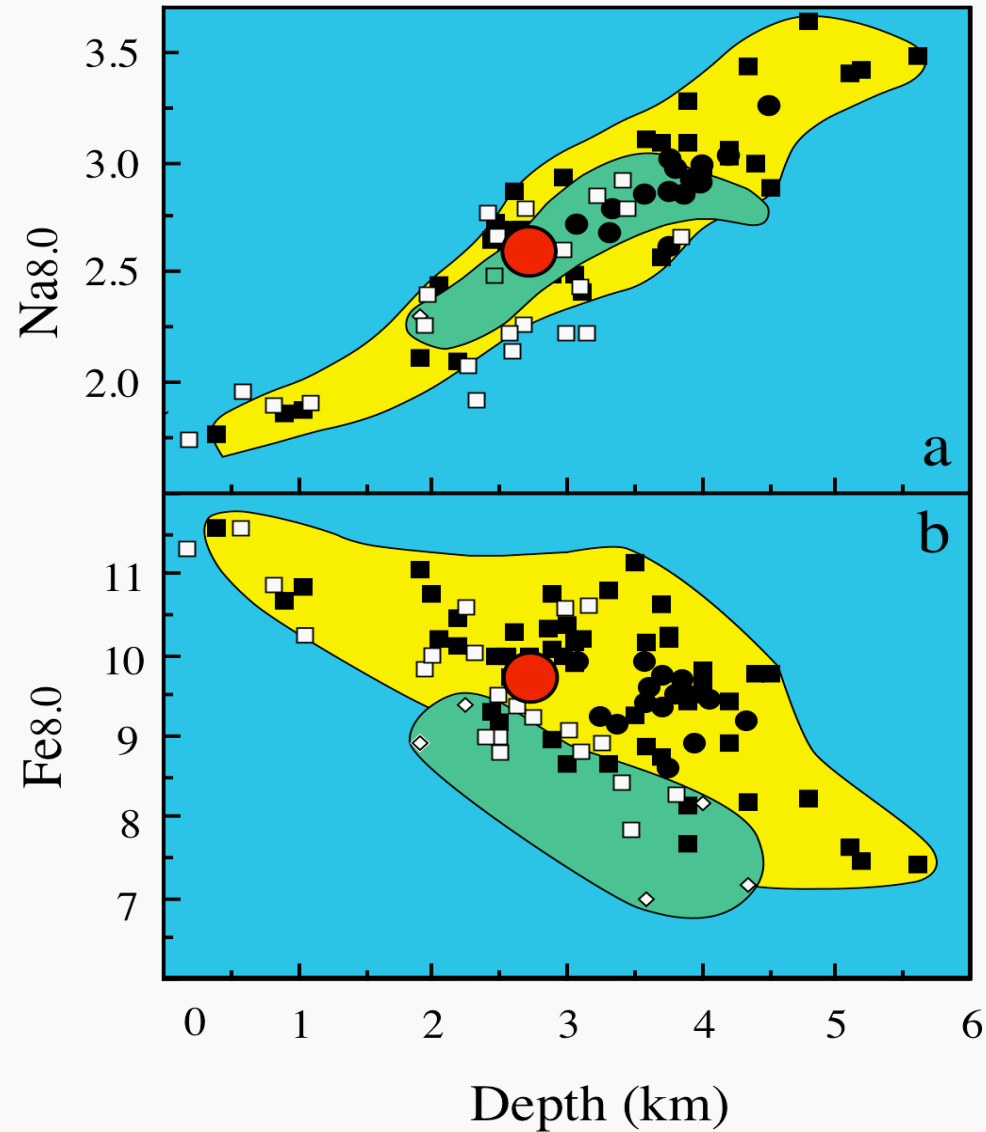
**La teneur en  $\text{Na}_2\text{O}$  et en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  diminue quand le taux de fusion augmente :**

**Na et Al sont des éléments incompatibles qui passent préférentiellement dans le liquide**



**Evolution de la composition des liquides basaltiques en fonction de la pression et de la température au cours de la fusion fractionnée**

**A forte pression et forte température, les liquides sont enrichies en fer : le fer est un indicateur de la profondeur de fusion**



À l'échelle globale

Corrélation positive entre la teneur en Na8.0 des basaltes et la profondeur de l'axe de la dorsale

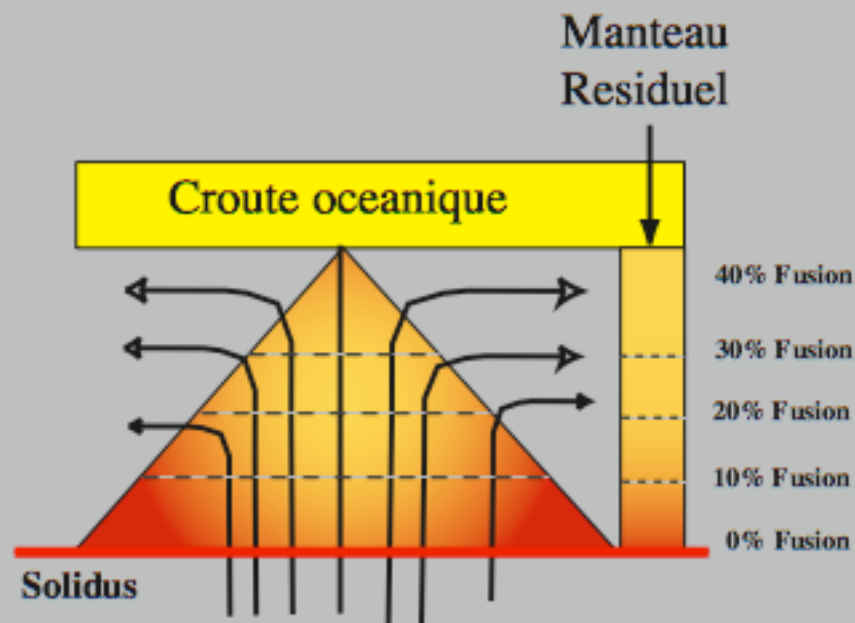
Taux de fusion

Corrélation inverse entre la teneur en Fe8.0 des basaltes et la profondeur de l'axe de la dorsale

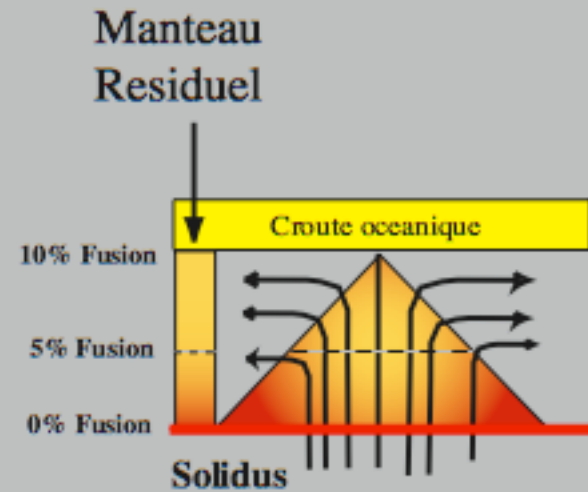
Profondeur de fusion

Figure 2a,b

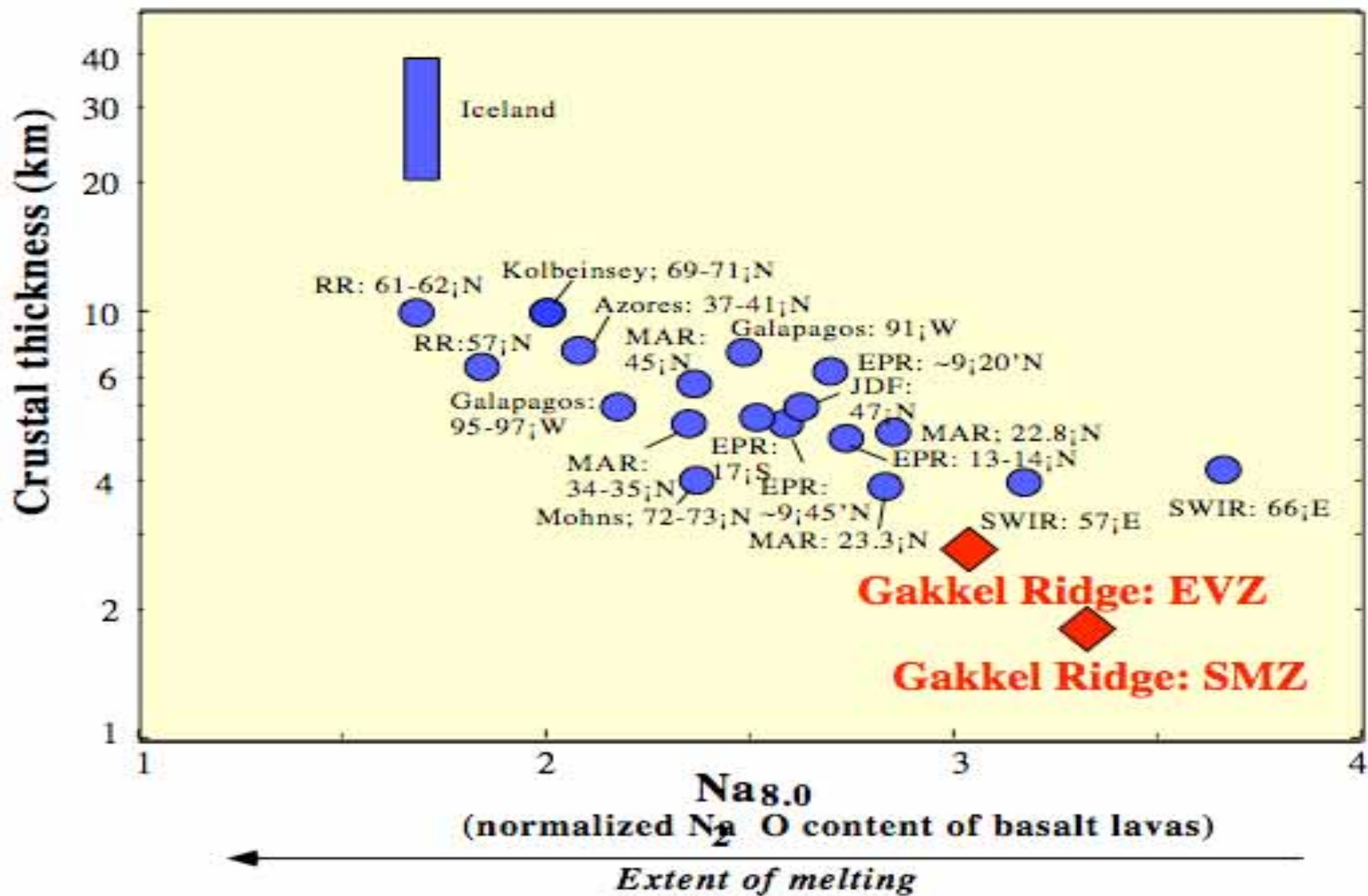
## Manteau chaud



## Manteau froid



C. Langmuir



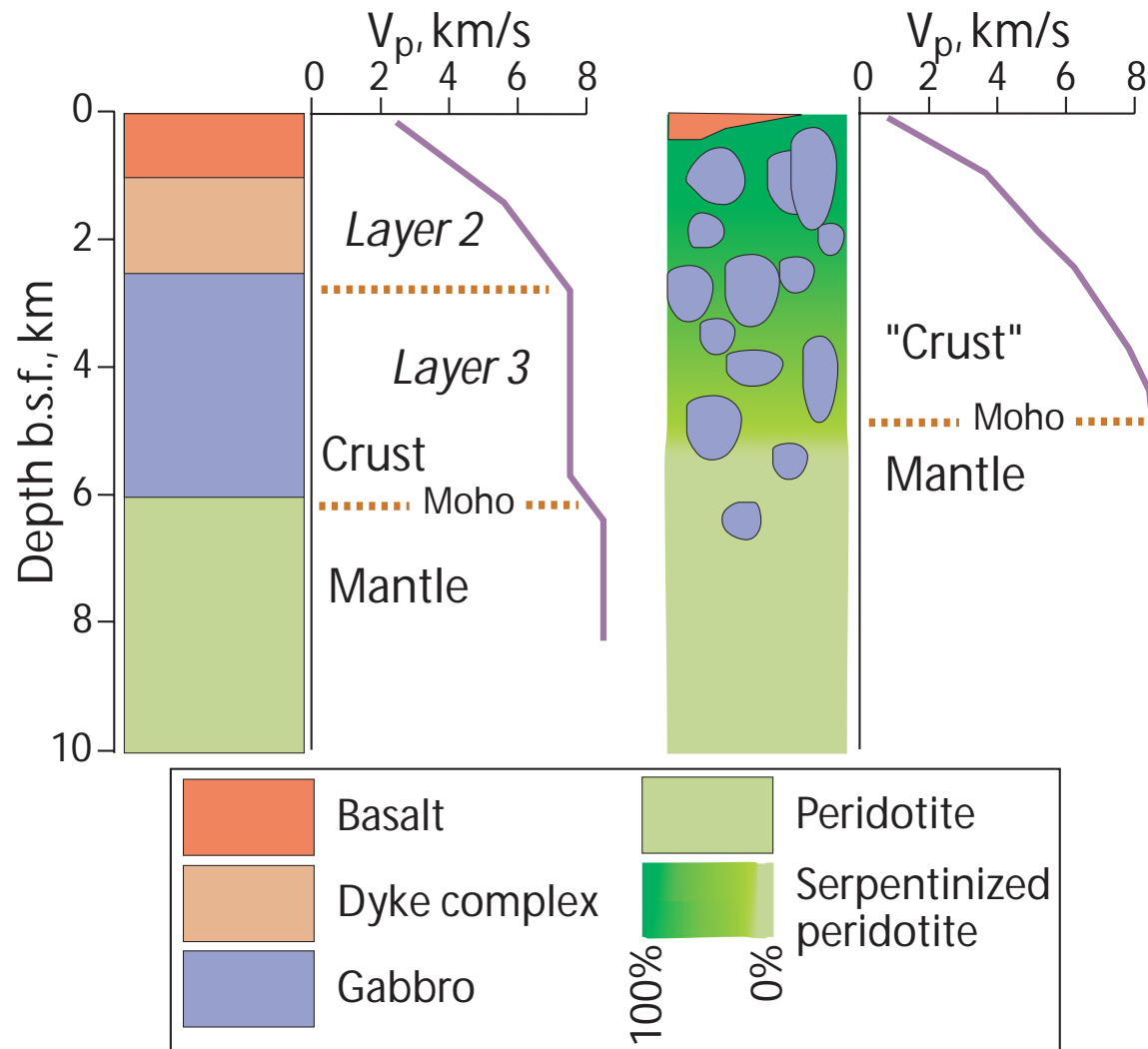
Corrélation inverse entre l'épaisseur de la croûte et le taux de fusion partielle

Croûte litée

"Layered" crust

"Heterogeneous" crust

Croûte  
hétérogène



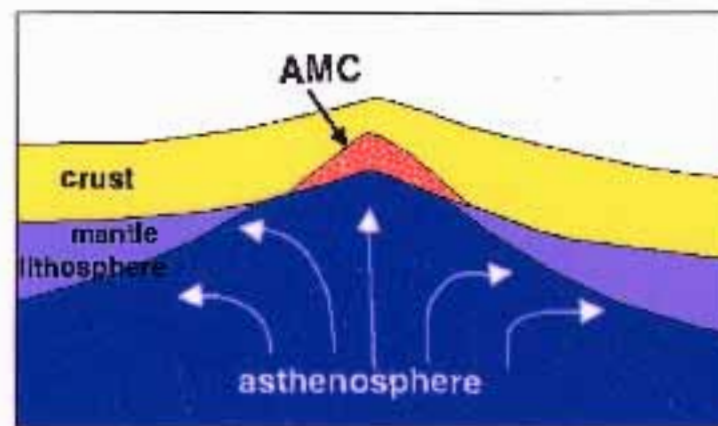
**L'architecture de la croûte océanique dépend de la quantité de magma produite**



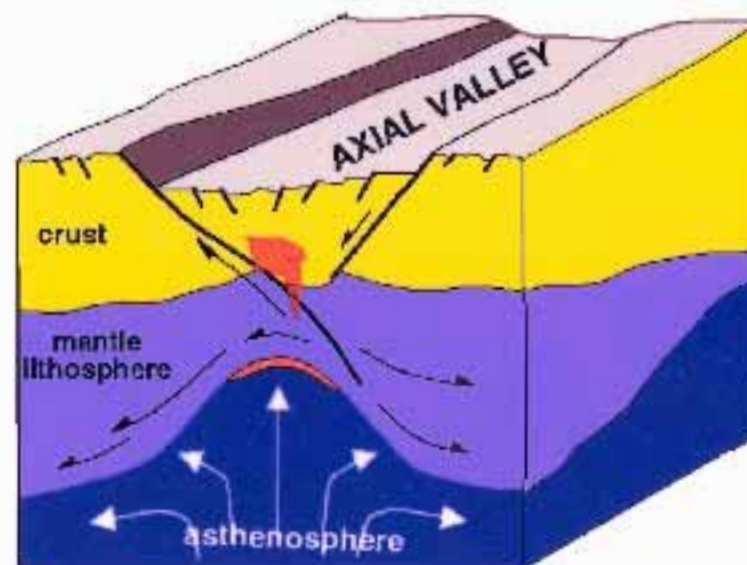
Le régime thermique du manteau a une influence prépondérante sur le fonctionnement de la dorsale

- en contexte chaud (dorsale rapide)  
la lithosphère est mince, une chambre magmatique peut être maintenue en permanence à proximité de la surface et la tectonique est peu importante

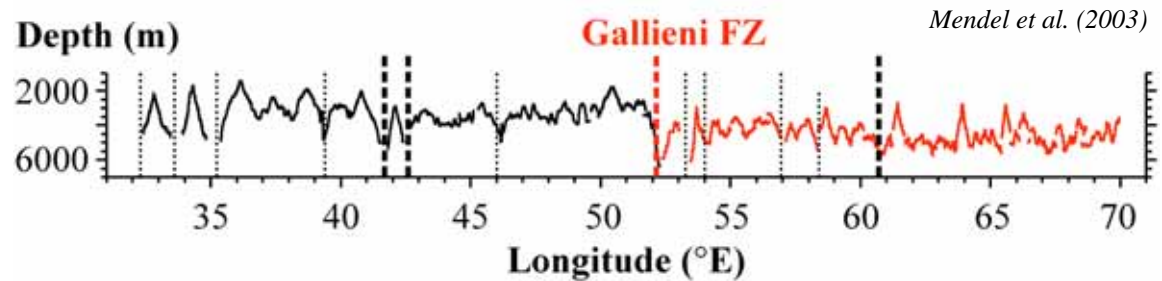
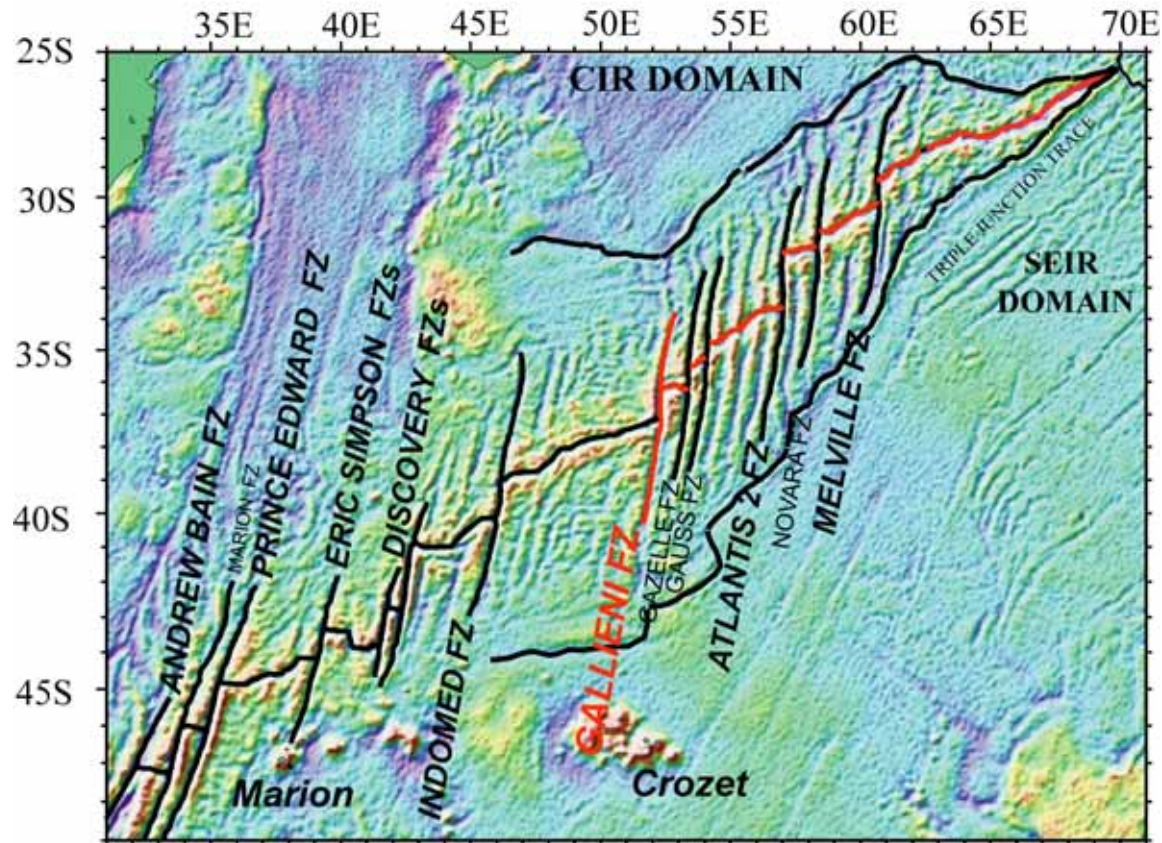
- en contexte froid (dorsale lente)  
la lithosphère est épaisse, l'alimentation magmatique est épisodique et la tectonique est importante



Dorsale rapide, type EPR

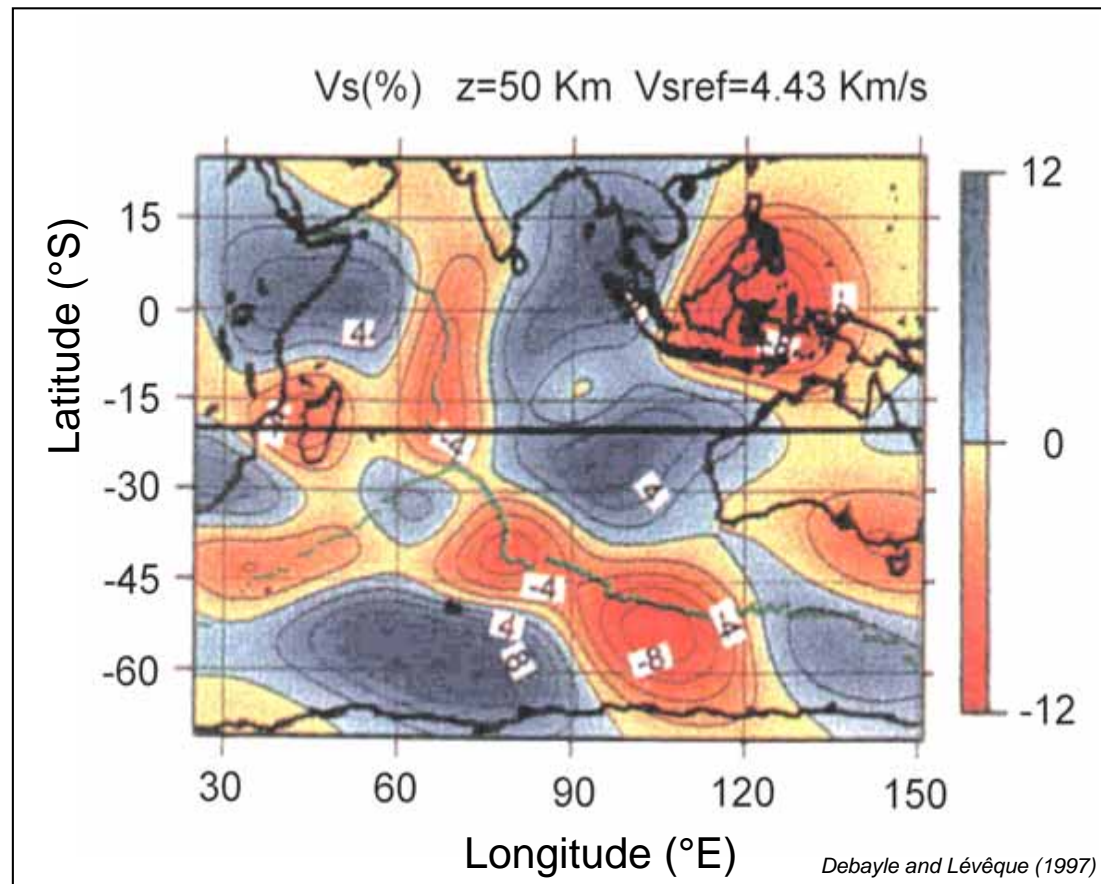


Dorsale lente, type MAR



**Variations à l'échelle régionale : l'exemple de la la SWIR**

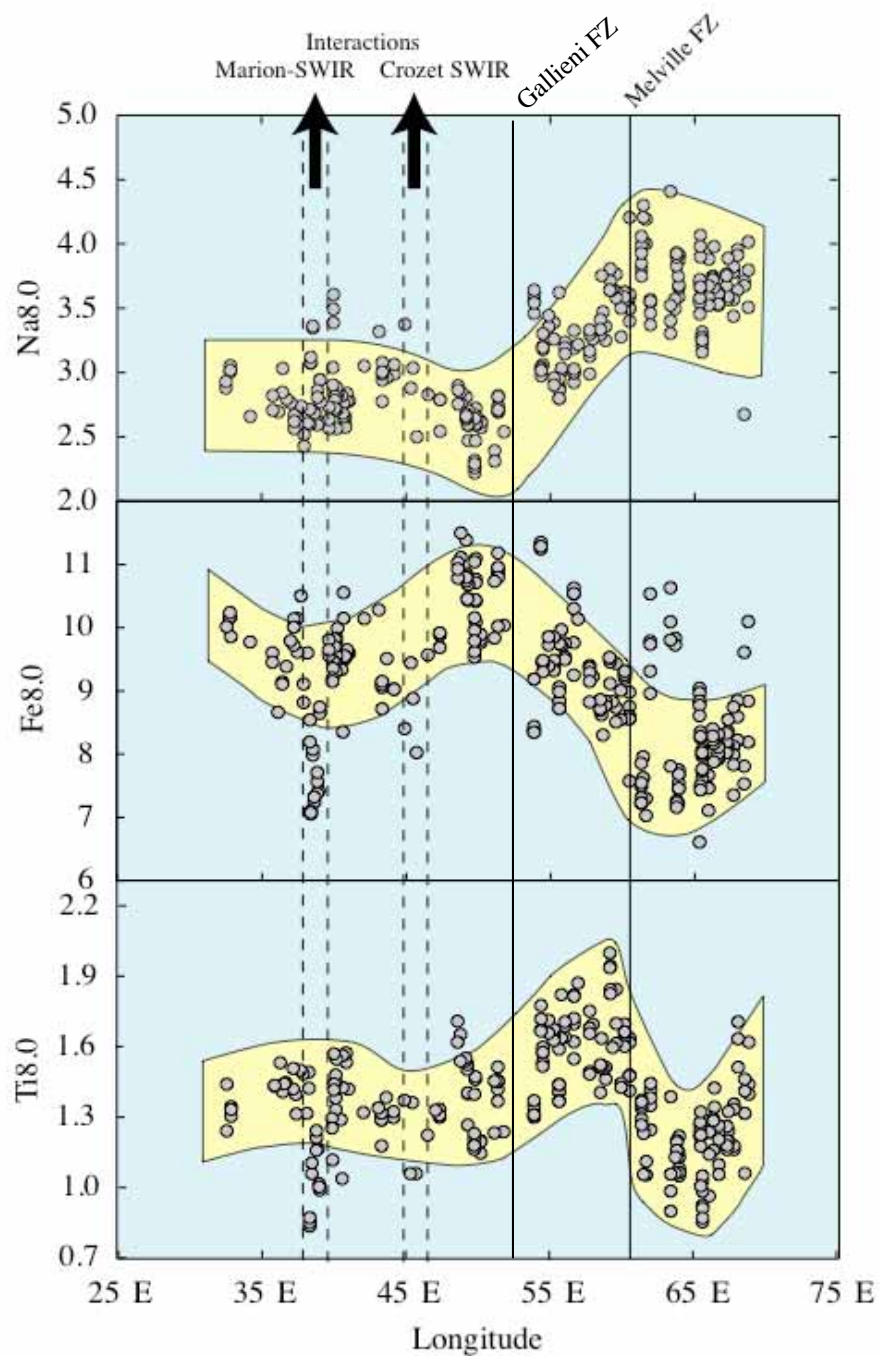




### **TOMOGRAPHIC DATA:**

High seismic waves velocities in the upper mantle  
for the SWIR between Rodrigues Triple Junction and 50-55°E

**Le manteau est plus froid à la terminaison Est**

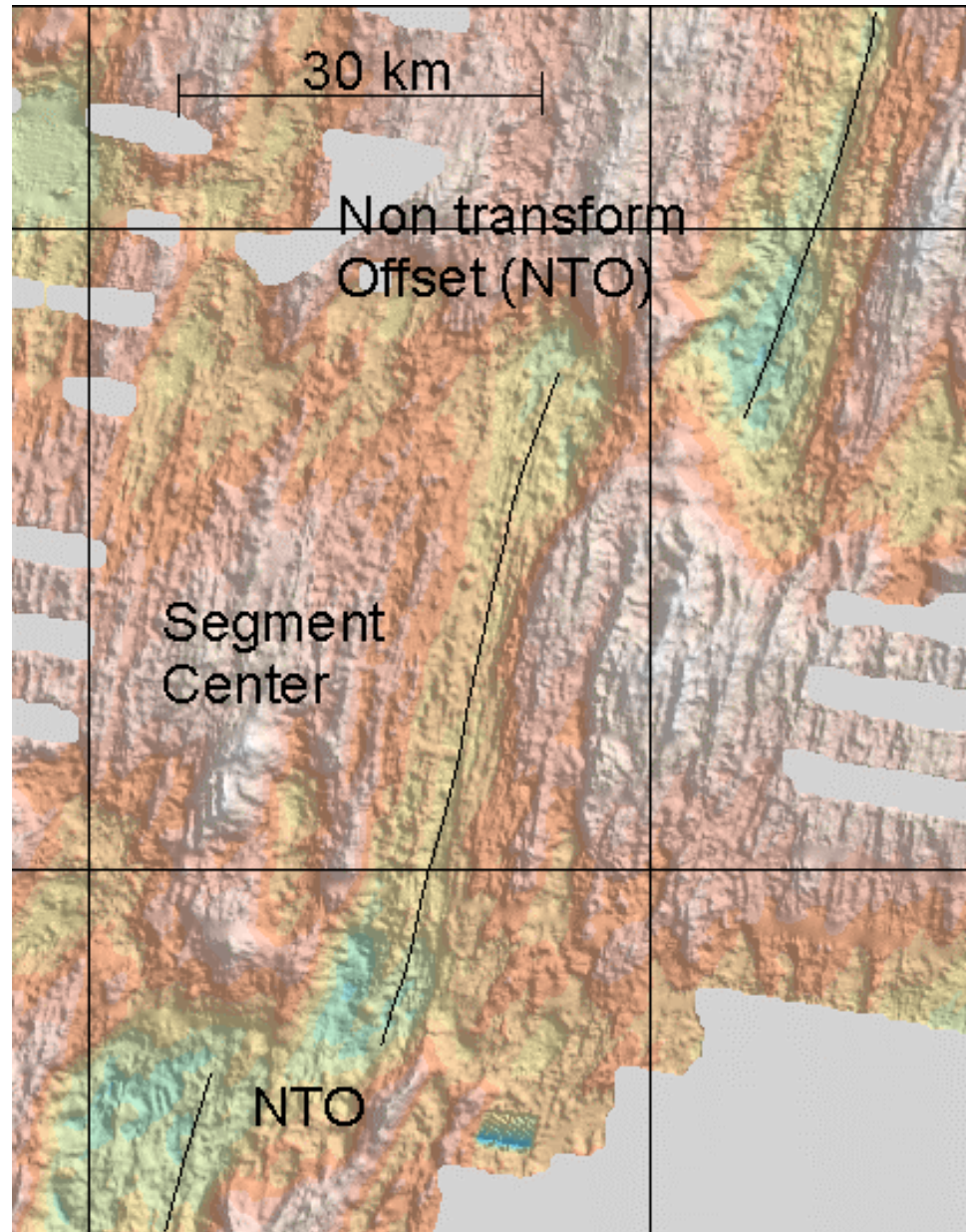


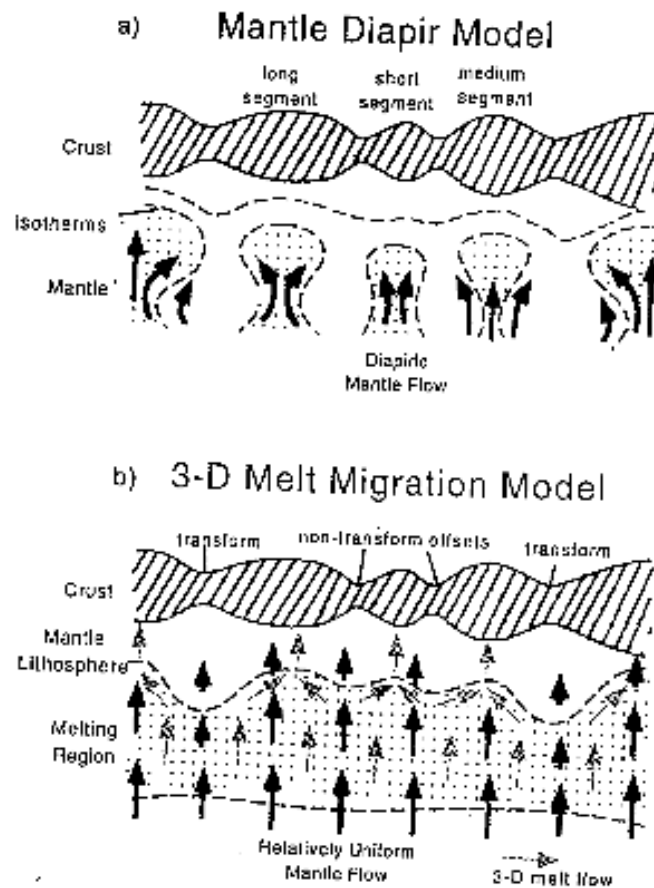
**Dans l'ensemble, le taux de fusions est plus faible à l'Est**

**Mais dans le détail, réalité plus complexe : Hétérogénéité du manteau**

## A l'échelle locale

La profondeur varie aussi à l'échelle du segment  
Exemple d'un segment de la M.A.R.





*Figure 18. a) model of upwelling associated with the formation of a series of diapirs due to convective instability in the upper mantle. Melt production and crustal thickness is controlled by the locations of the diapirs. b) model of passive upwelling controlled by the geometry of plate spreading (from Magde et al., 1997).*

**La composition des  
basaltes renseigne sur  
les modalités de  
migration des liquides  
dans le manteau**



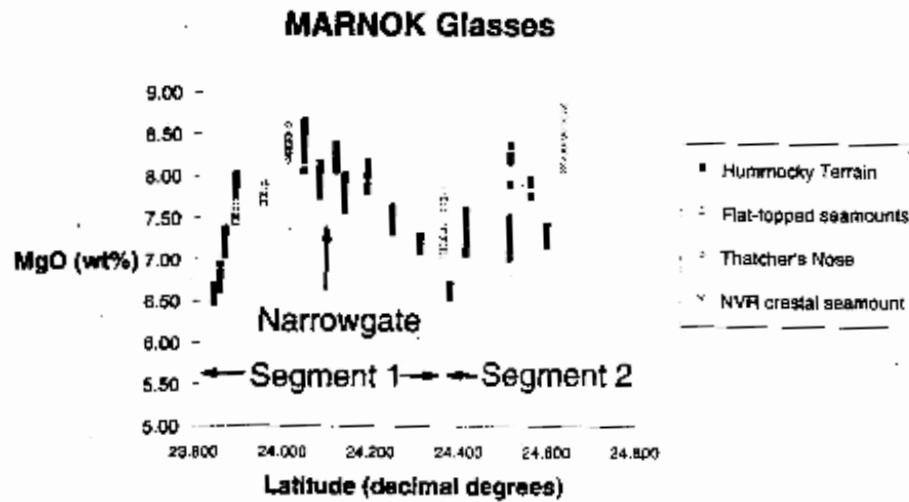


Fig. 15. MgO content of probed glasses plotted against latitude showing that the least fractionated glasses occur in the segment centres.

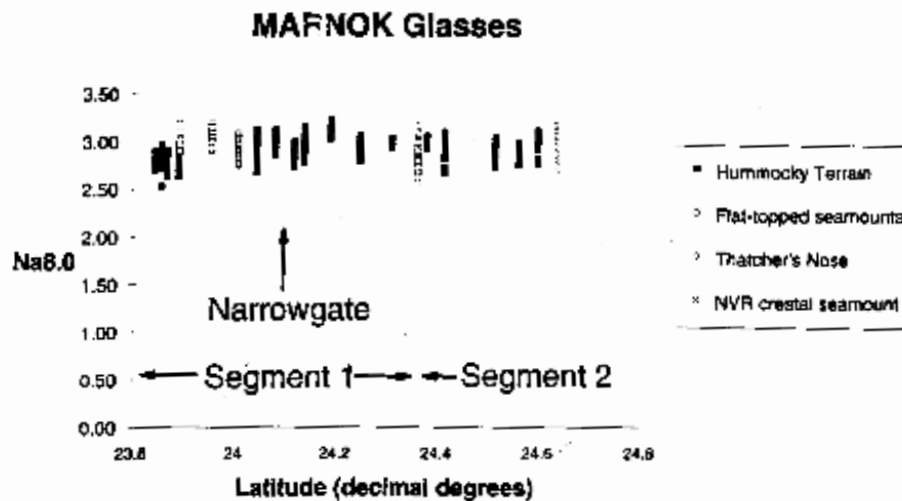
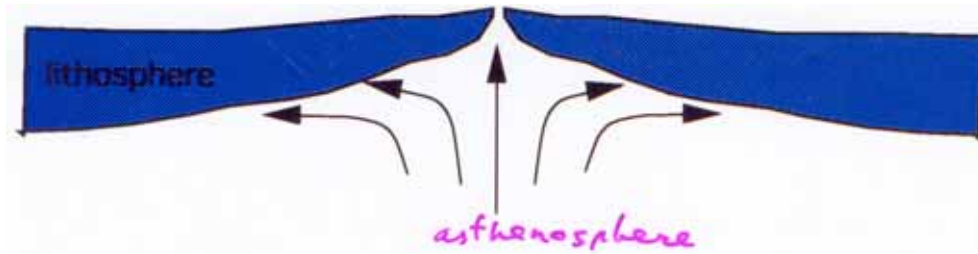


Fig. 16.  $Na_{K0}$  of MARNOK glasses (calculated using the equation of Plank & Langmuir 1992). shows little variation when plotted against latitude. This implies that the bulk degree of melting along the length of the segments is relatively uniform.

Composition des verres  
basaltiques  
Zone MARNOK  
MAR, 24°N  
2 segments

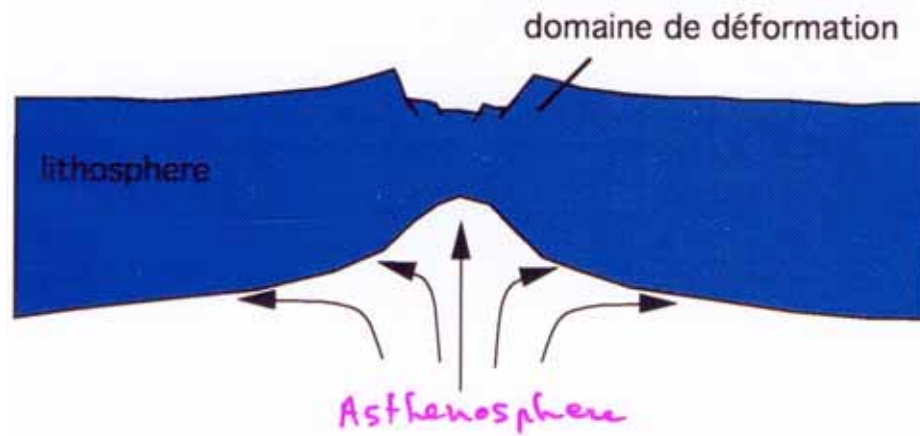
# Epaisseur de la lithosphère axiale

Dorsale « chaude »

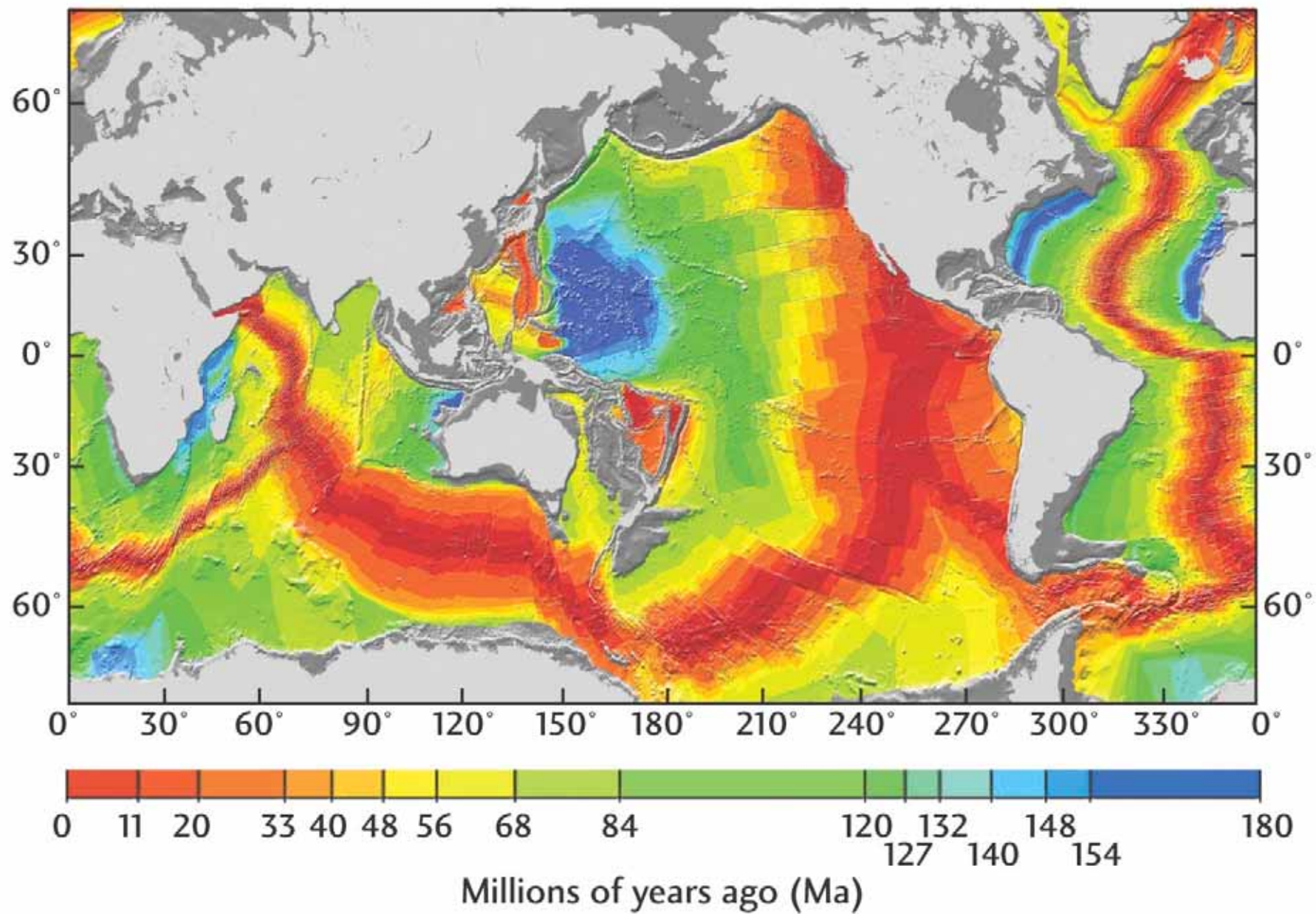


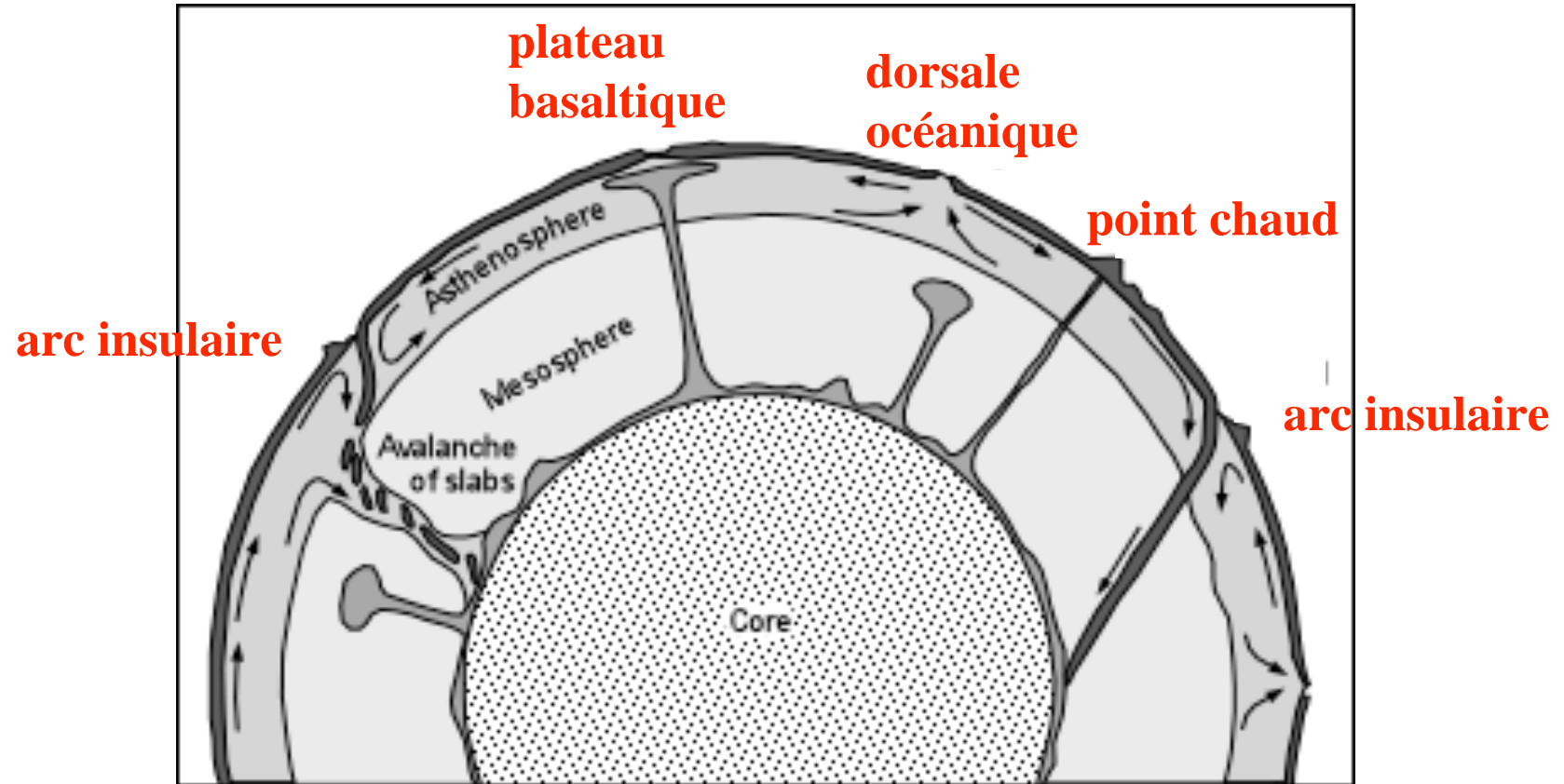
Type EPR

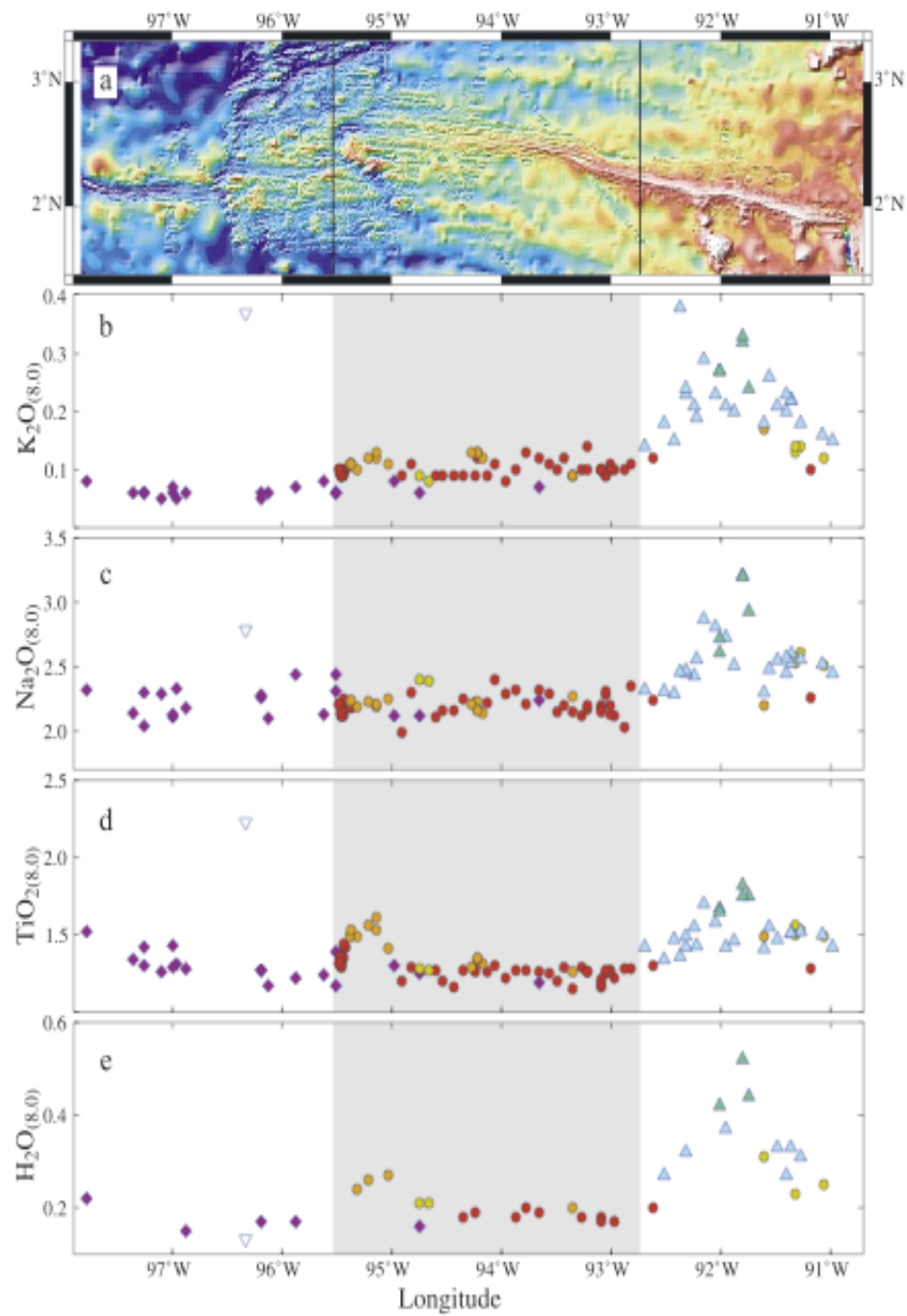
Dorsale « froide »



Type MAR







**Exemple de la dorsale des Galapagos, sous l'influence du point chaud des Galapagos**

## **Conclusions**

**Les magmas qui construisent la croûte océanique sont issus de la fusion partielle des péridotites qui remontent sous les dorsales sous l'effet de la convection mantellique**

**Le taux de fusion partielle des péridotites mantelliennes est influencé par le régime thermique.**

**La composition des basaltes dépend du taux et de la profondeur de fusion. Elle est également influencée par la composition de la source.**