

# **STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE**

**1. RELATION AVEC LA FORMATION DE LA TERRE**


**2. MODÈLES DE TERRE**

**3. STRUCTURE ET DYNAMIQUE DU MANTEAU. NOTIONS DE LITHOSPHERE ET DE CROÛTE**

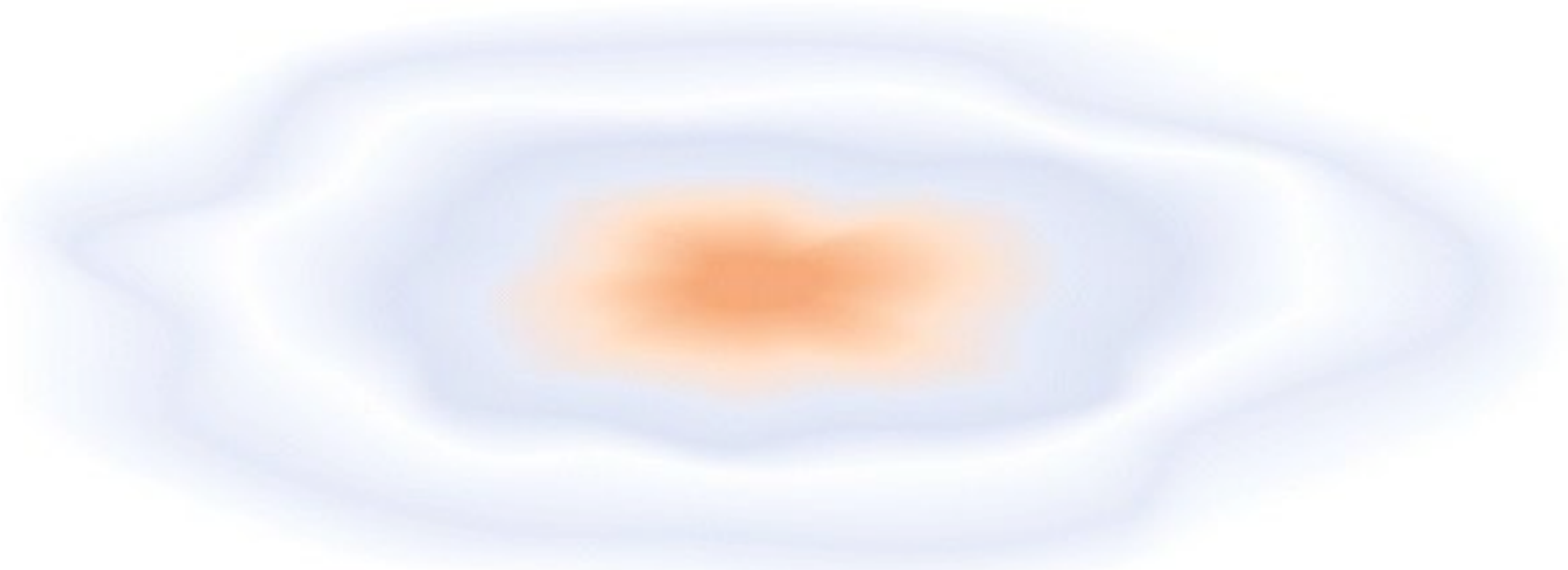
# **STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE**

## **1. RELATION AVEC LA FORMATION DE LA TERRE**

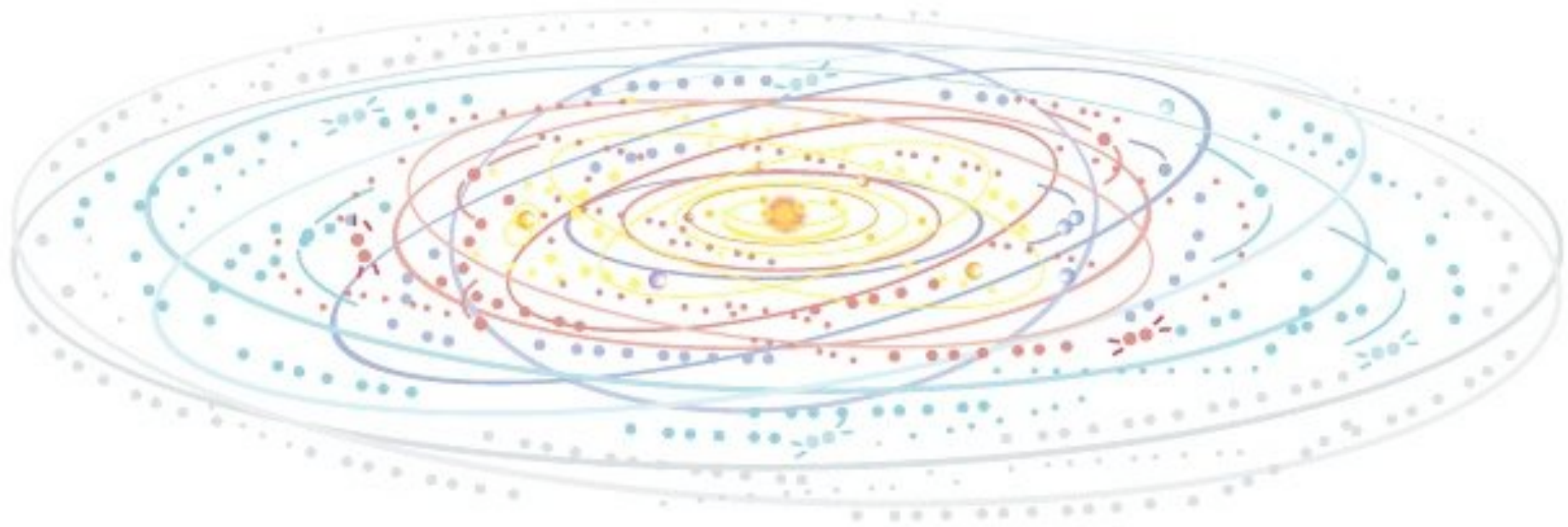
# **SCHÉMAS DE FORMATION DE LA TERRE**



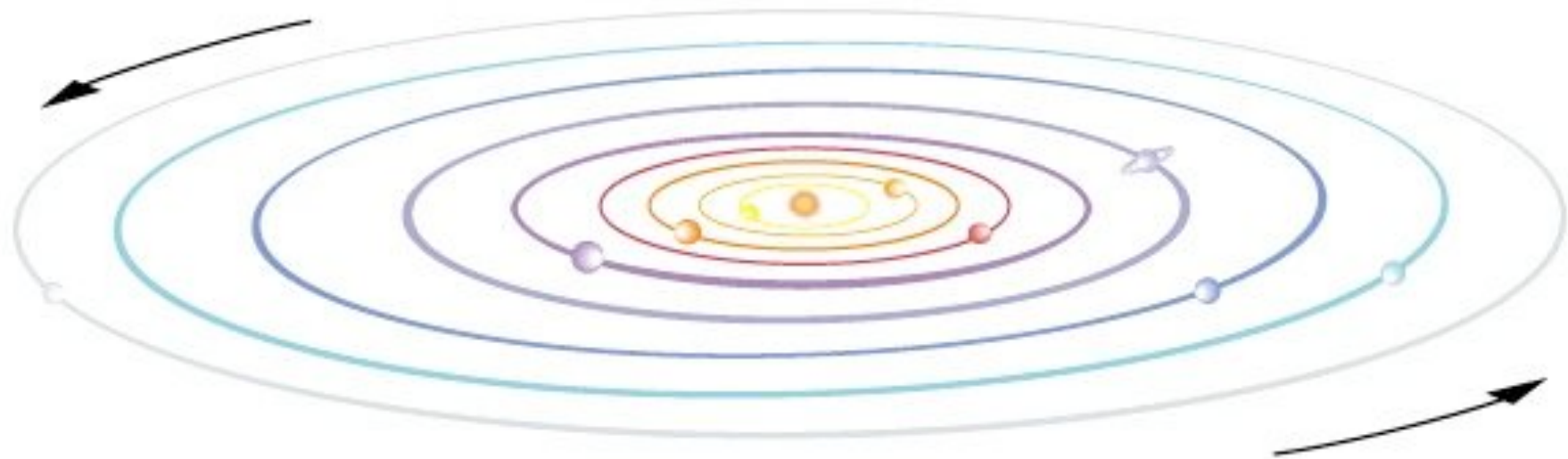
**T = 0 (-4.567 Ga)**



**T = quelques centaines  
de milliers d'années**



**T = quelques millions d'années**



**T = env. 50 millions d'années**

**COMPOSITION CHIMIQUE**



**MINÉRAUX**



**ROCHES**



# Le tableau de Mendeleïev

I		II												III	IV	V	VI	VII	VIII																										
1 H																		2 He																											
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne																												
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si		16 S	17 Cl	18 Ar																												
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn				29 Cu	30 Zn	31 Ga		33 As	34 Se	35 Br	36 Kr																												
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb		43 (Tc)				47 Ag	48 Cd	49 In		51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe																												
55 Cs	56 Ba	57 La*	72 Hf	73 Ta	74 W					80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn																													
87 Fr	88 Ra	89 Ac**																																											
		<table border="1"> <tr> <td>57 La</td> <td>58 Ce</td> <td>73 Pr</td> <td>73 Nd</td> <td>74 (Pm)</td> <td>75 Sm</td> <td>76 Eu</td> <td>77 Gd</td> <td>78 Tb</td> <td>79 Dy</td> <td>80 Ho</td> <td>81 Er</td> <td>82 Tm</td> <td>83 Yb</td> <td>84 Lu</td> </tr> <tr> <td>89 Ac</td> <td>90 Th</td> <td>91 Pa</td> <td>92 U</td> <td>93 Np</td> <td>94 Pu</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>														57 La	58 Ce	73 Pr	73 Nd	74 (Pm)	75 Sm	76 Eu	77 Gd	78 Tb	79 Dy	80 Ho	81 Er	82 Tm	83 Yb	84 Lu	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu									
57 La	58 Ce	73 Pr	73 Nd	74 (Pm)	75 Sm	76 Eu	77 Gd	78 Tb	79 Dy	80 Ho	81 Er	82 Tm	83 Yb	84 Lu																															
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu																																								
		<p>*Lanthanides</p> <p>**Actinides</p>																																											
		<p> <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background: repeating-linear-gradient(-45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background: repeating-linear-gradient(-45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> </p>																																											

Figure 1.1: Classification périodique (tableau de Mendéléïev) et classification géochimique de Goldschmidt. Les éléments entre parenthèses n'existent pas naturellement sur Terre. Le numéro atomique est indiqué pour chaque élément. Les chiffres romains au dessus des colonnes identifient les groupes.

# Terre et planètes telluriques (Mercure, Vénus, Terre-Lune, Mars)

**Fe, Mg, Si, O**

**+ Al, Ca, Na, Ni**

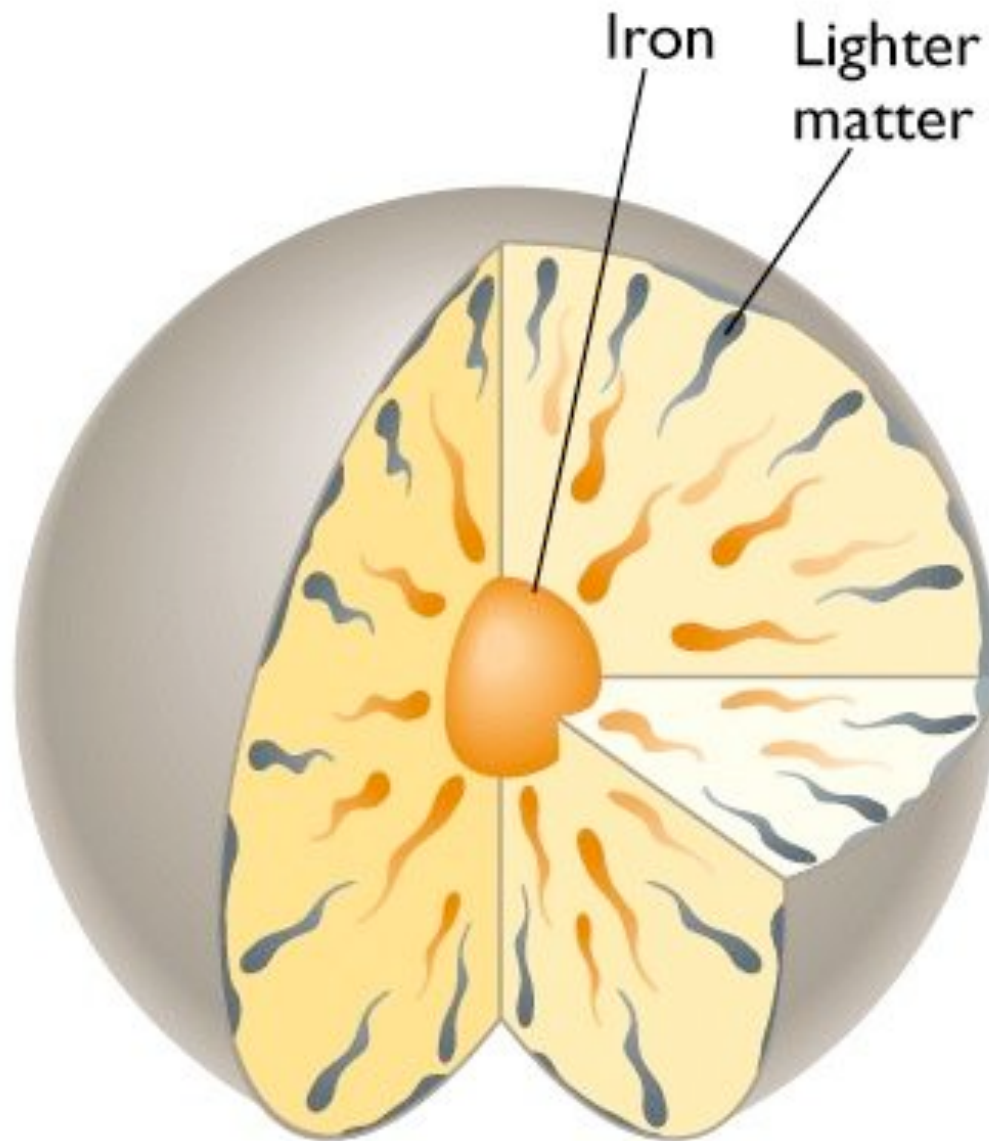
**+ tous les autres**

**Les astéroïdes et les comètes n'ont jamais été inclus dans de grosses planètes. Ils sont les corps parents des météorites**

**l'astéroïde Ida**



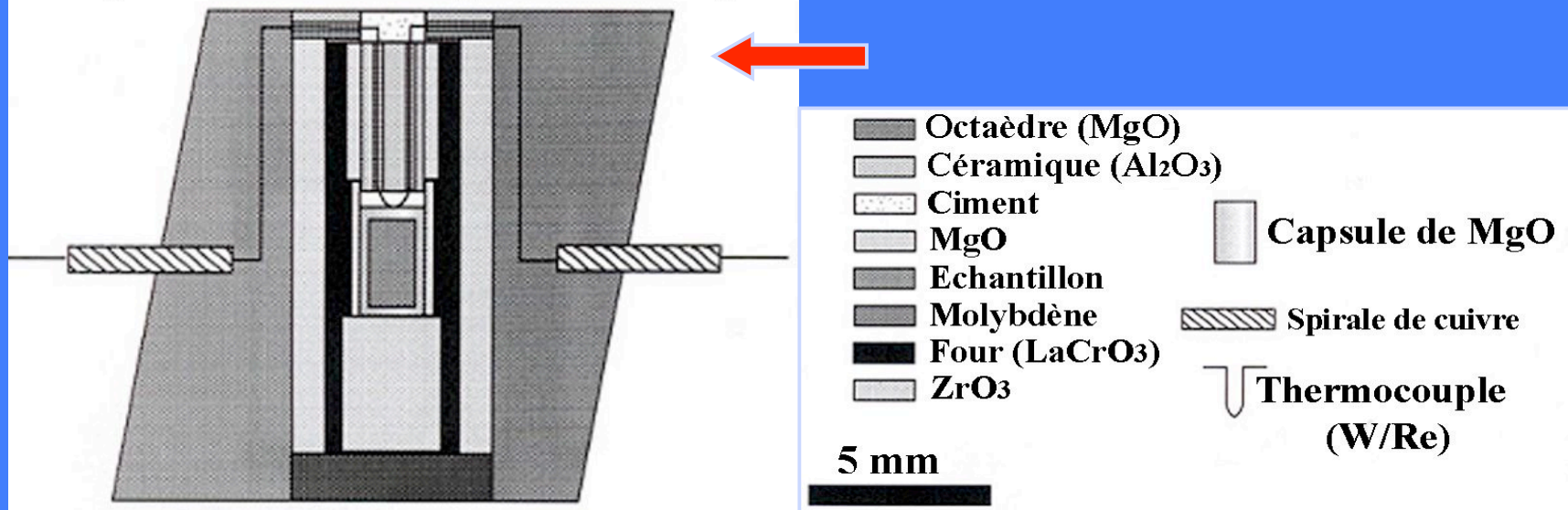
**une chondrite**



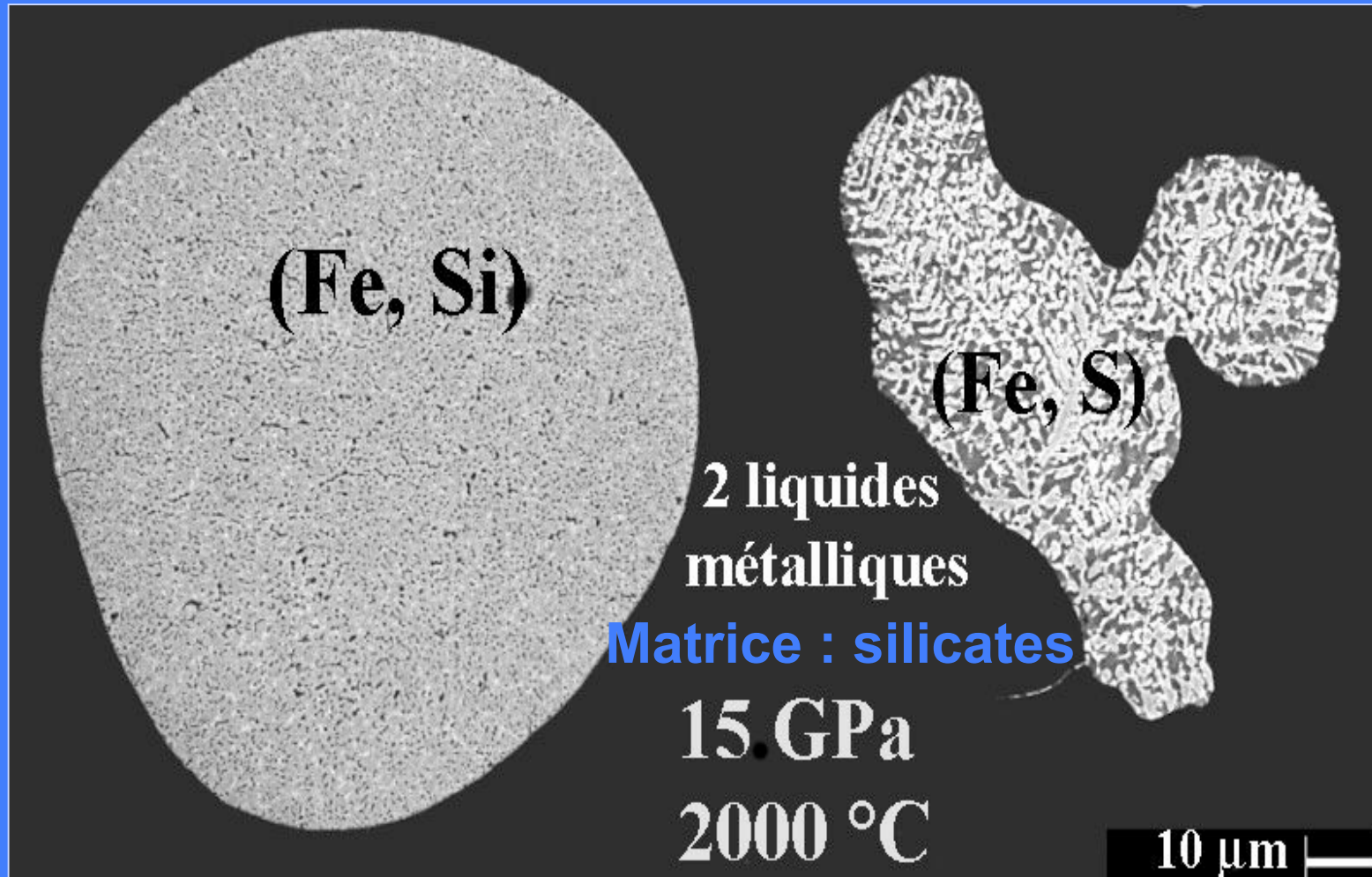
**DIFFÉRENCIATION**

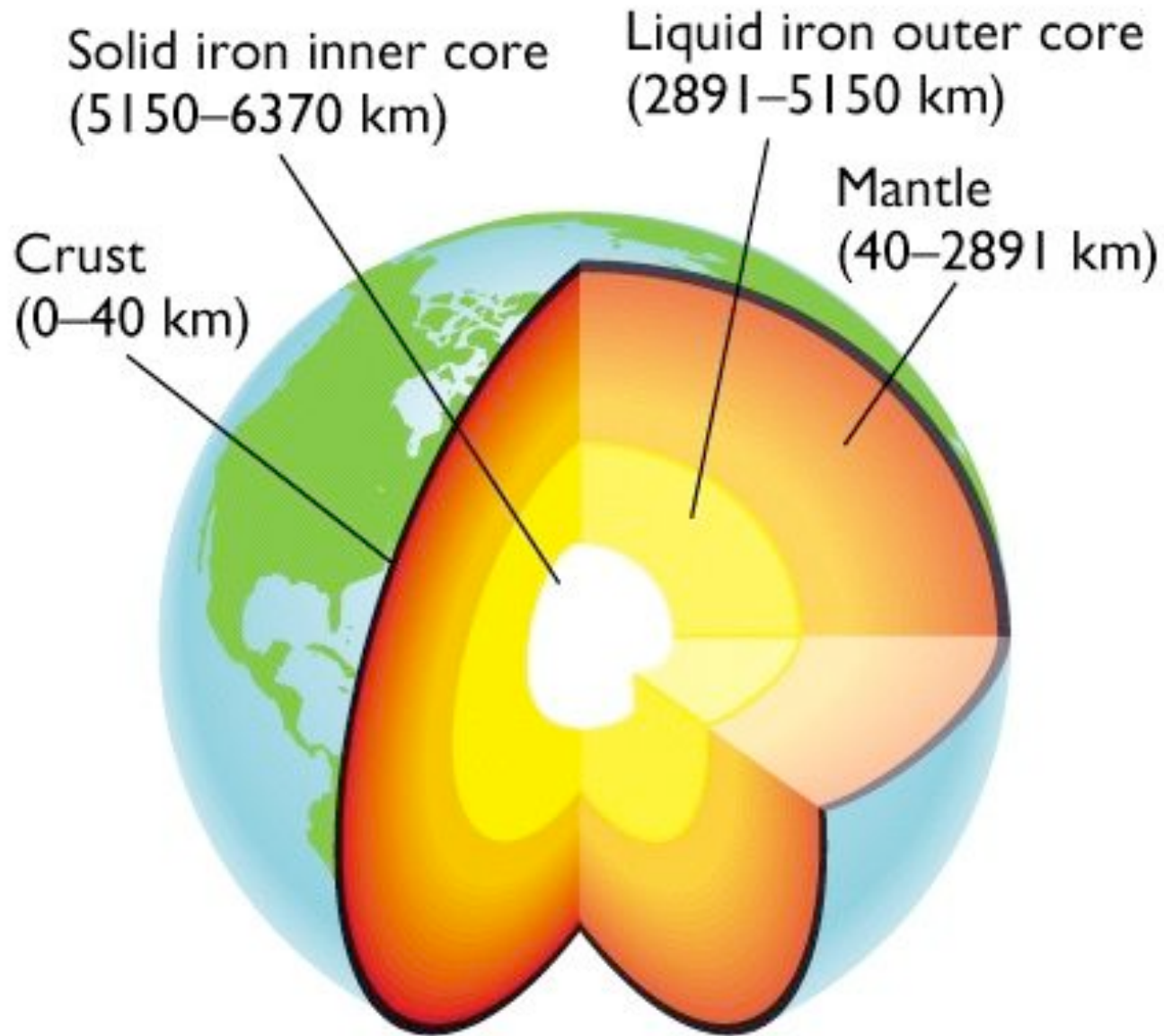
# EXPÉRIENCES DE SÉGRÉGATION DU NOYAU

Coupe de l'assemblage Octaédrique



# SÉGRÉGATION DU NOYAU TERRESTRE



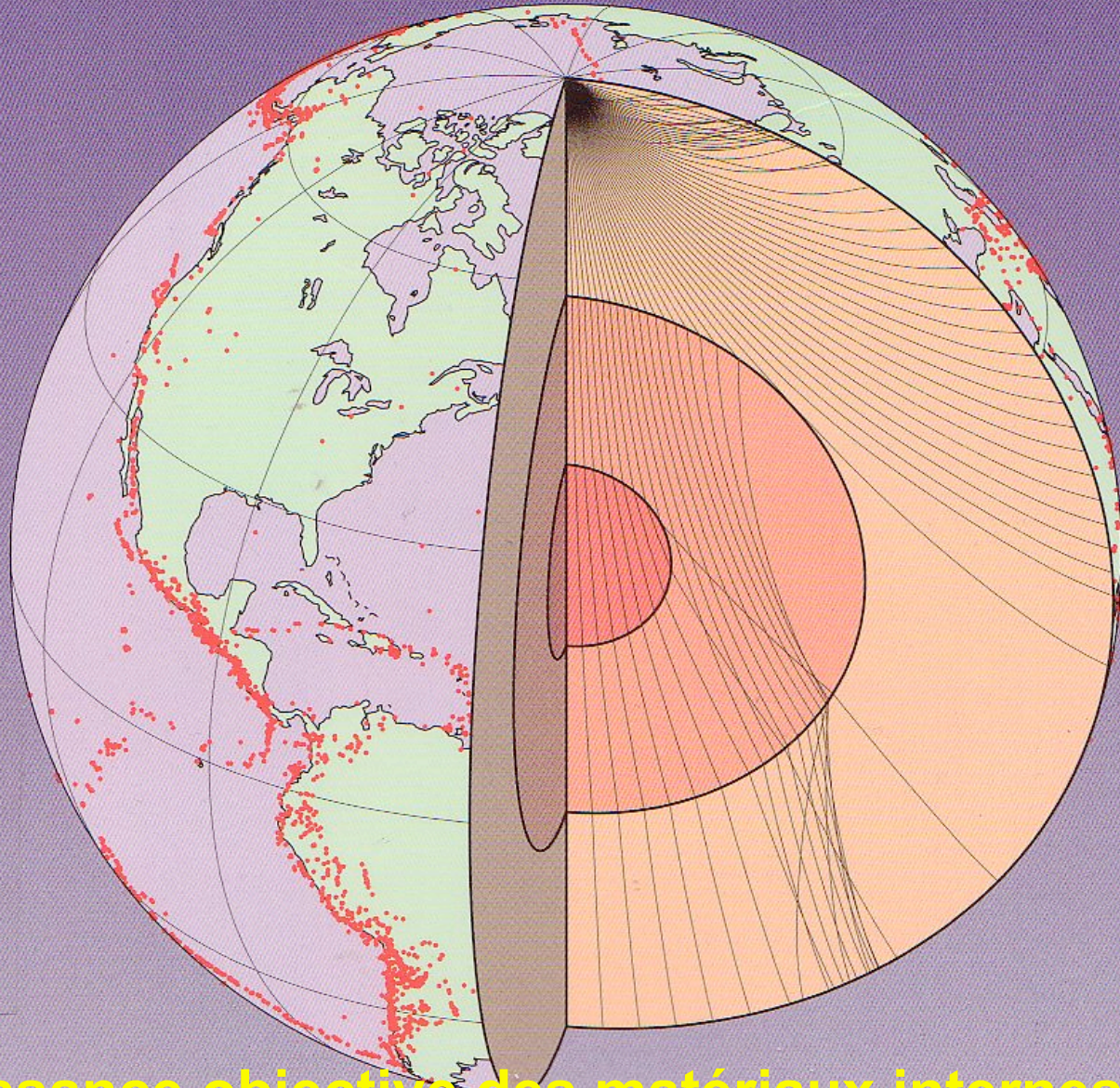


**ETAT FINAL env. -4.45 Ga)**

# **STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE**

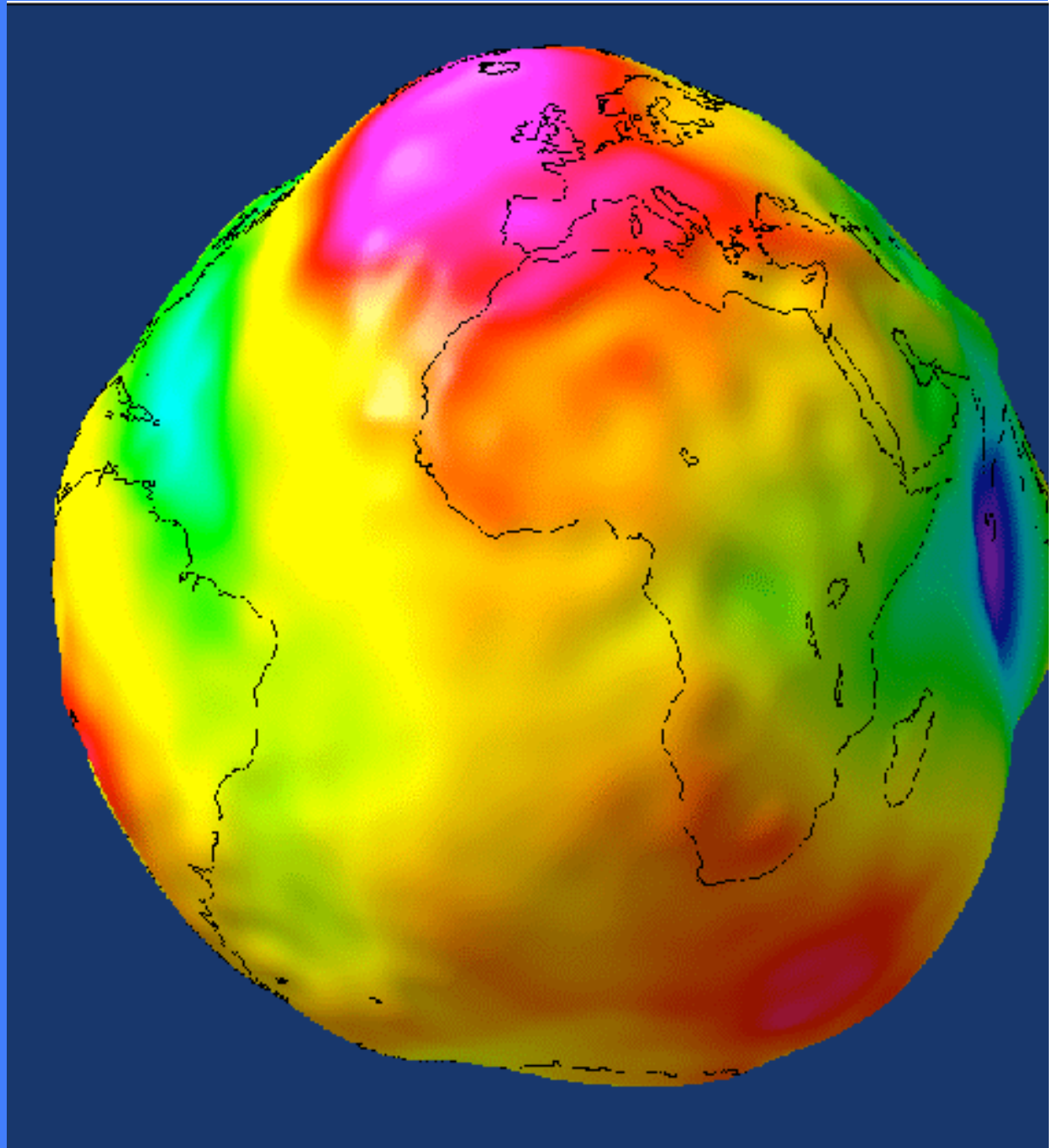
## **2. MODÈLES DE TERRE**





**Notre connaissance objective des matériaux internes repose sur des modèles sismologiques à symétrie radiale**

**Il existe  
d'autres  
méthodes.  
Gravimétrie  
Le géoïde**



**Ces bosses traduisent  
des anomalies de densité  
(composition chimique, température)  
dans le manteau  
et  
la dynamique de la convection profonde**

# Réfraction et réflexion d'un pinceau de lumière

(interface  
air/eau)

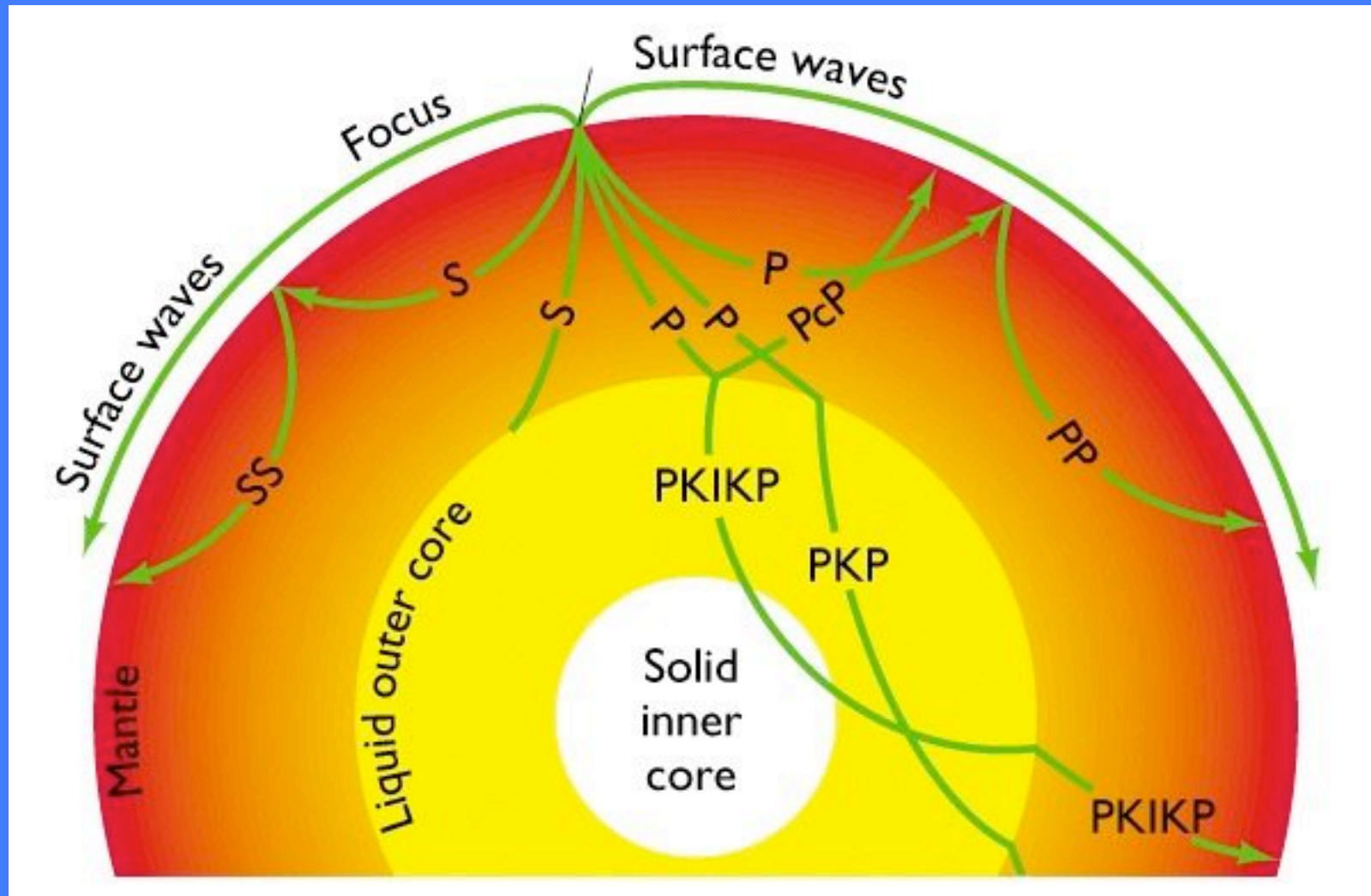


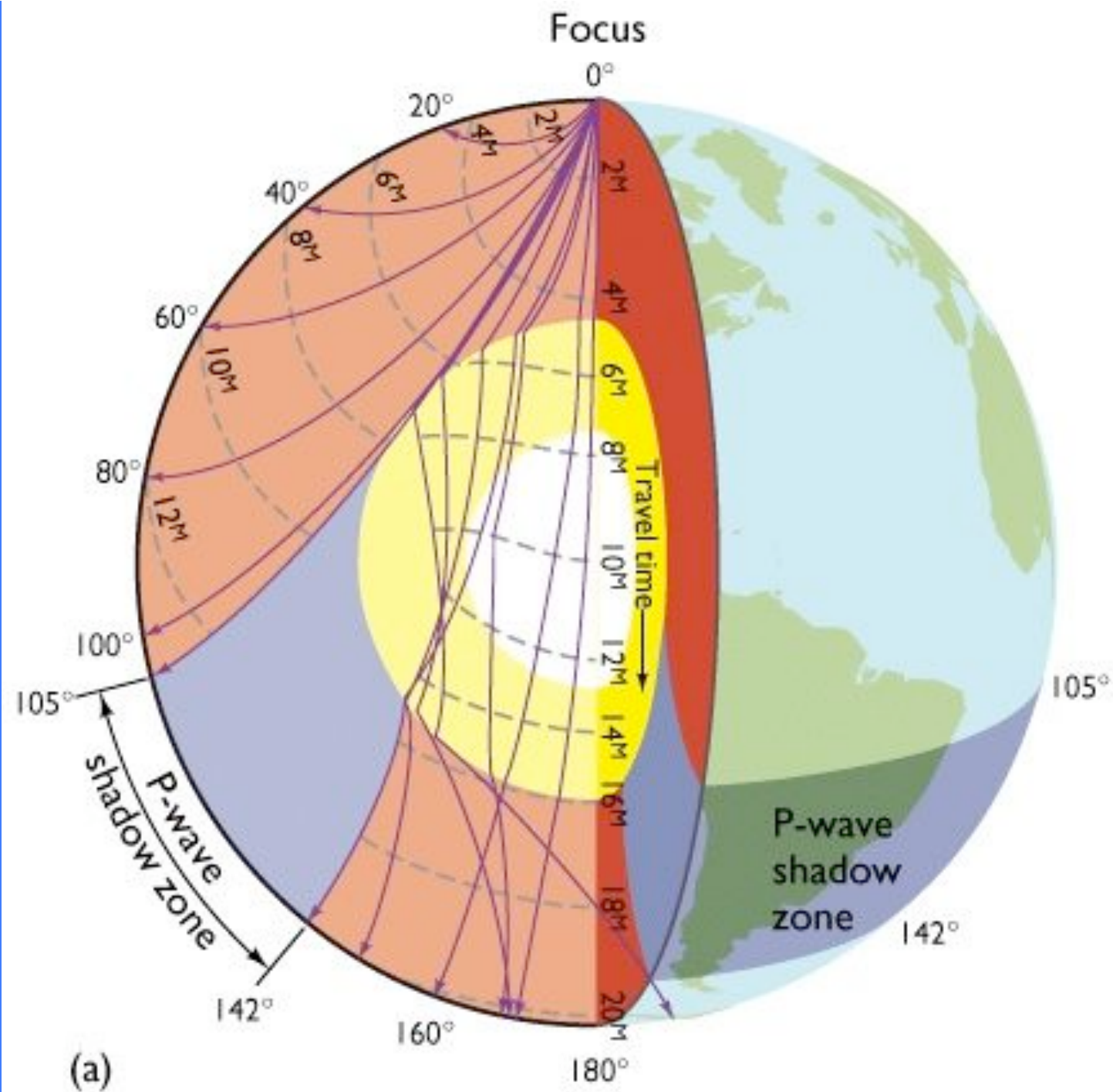
Réfraction

The diagram shows a glass sphere partially filled with water. A red laser beam enters from the left, passes through the air, and hits the water surface. At this point, the beam splits: one part refracts into the water, bending towards the normal, and the other part reflects back into the air. The labels 'Réfraction' and 'Réflexion' are placed near these respective points with blue arrows pointing to the corresponding beam paths.

Réflexion

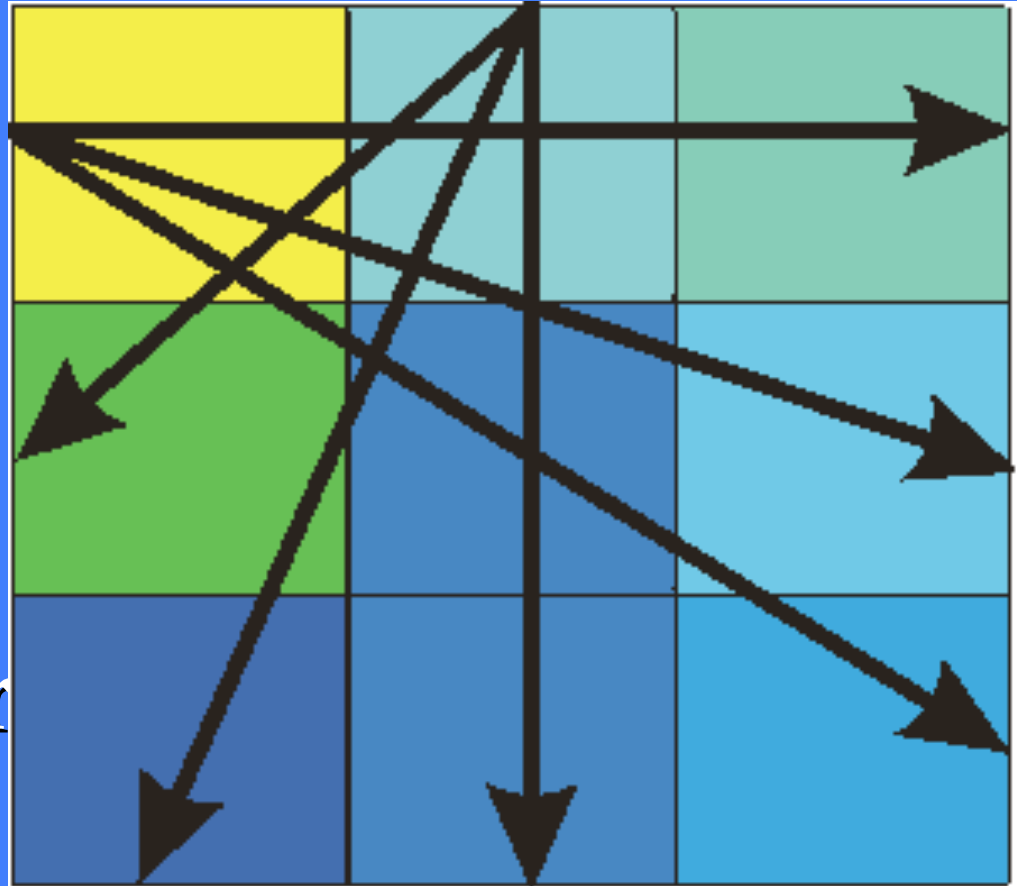
# Trajets sismiques des ondes P et S dans la Terre



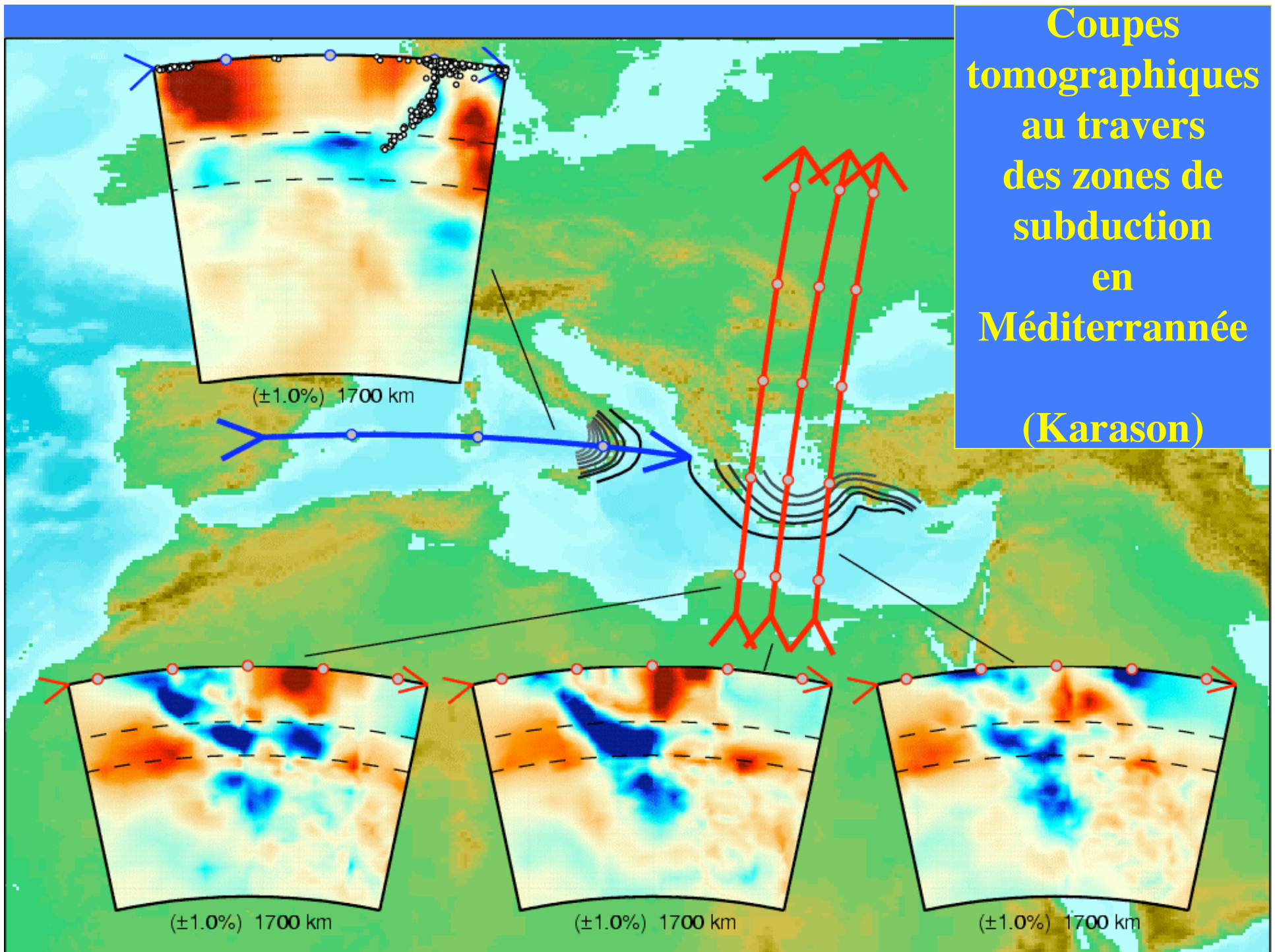


# Etude des hétérogénéités latérales:

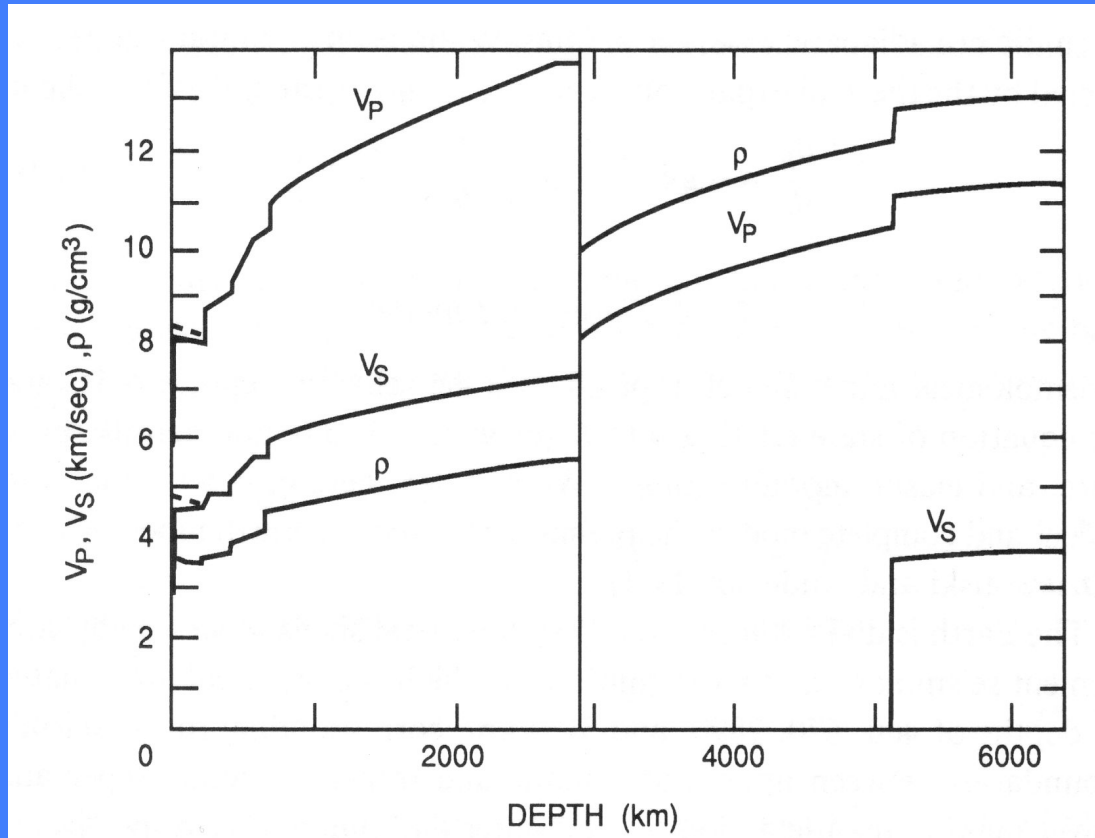
le principe de la  
tomographie  
sismique:  
un “scanner” pour  
voir des coupes du  
manteau



**Coupes  
tomographiques  
au travers  
des zones de  
subduction  
en  
Méditerranée  
(Karason)**







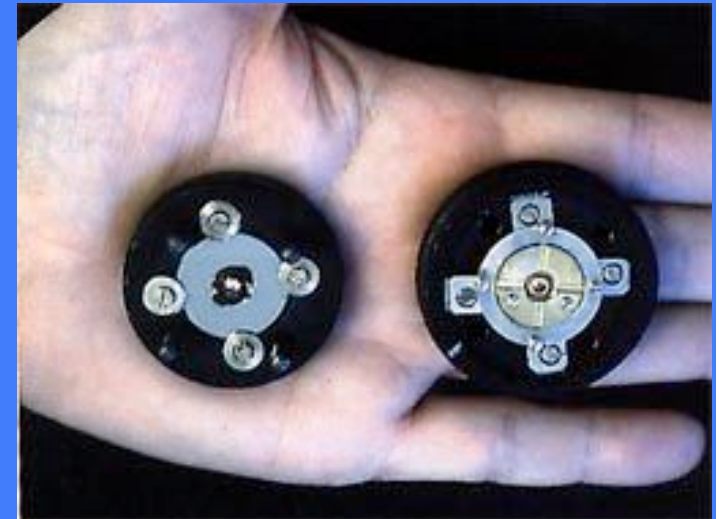
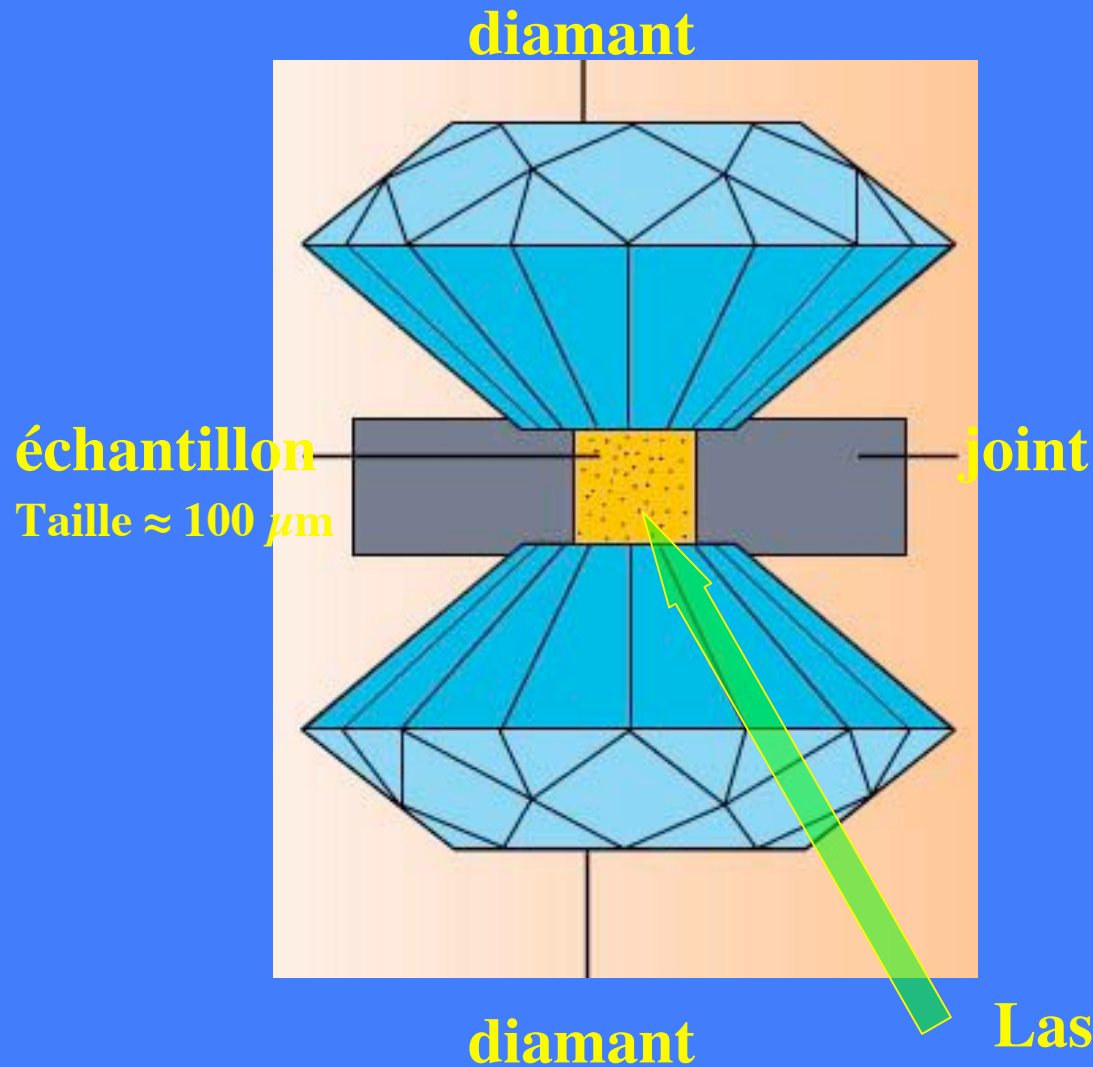
Modèle  
radial:

Distributions  
de

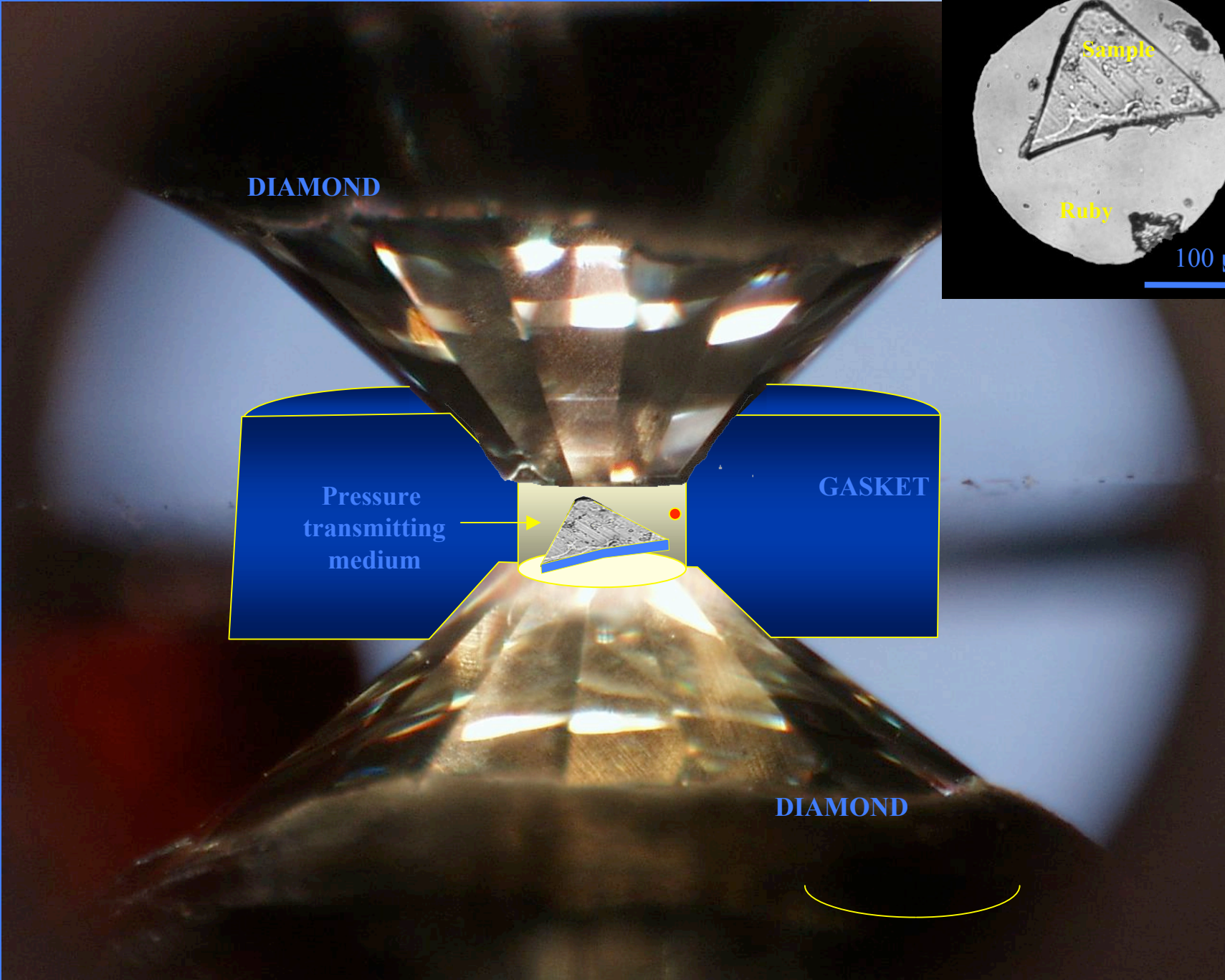
$V_P, V_S, \rho$

en fonction  
de la  
profondeur

# Compression avec une cellule diamant



Laser annexe  
qui chauffe l'échantillon

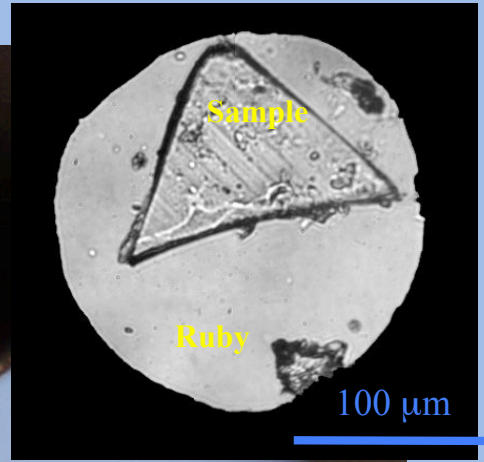


DIAMOND

Pressure transmitting medium

GASKET

DIAMOND



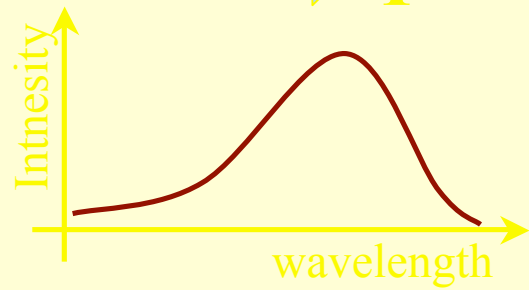
Sample

Ruby

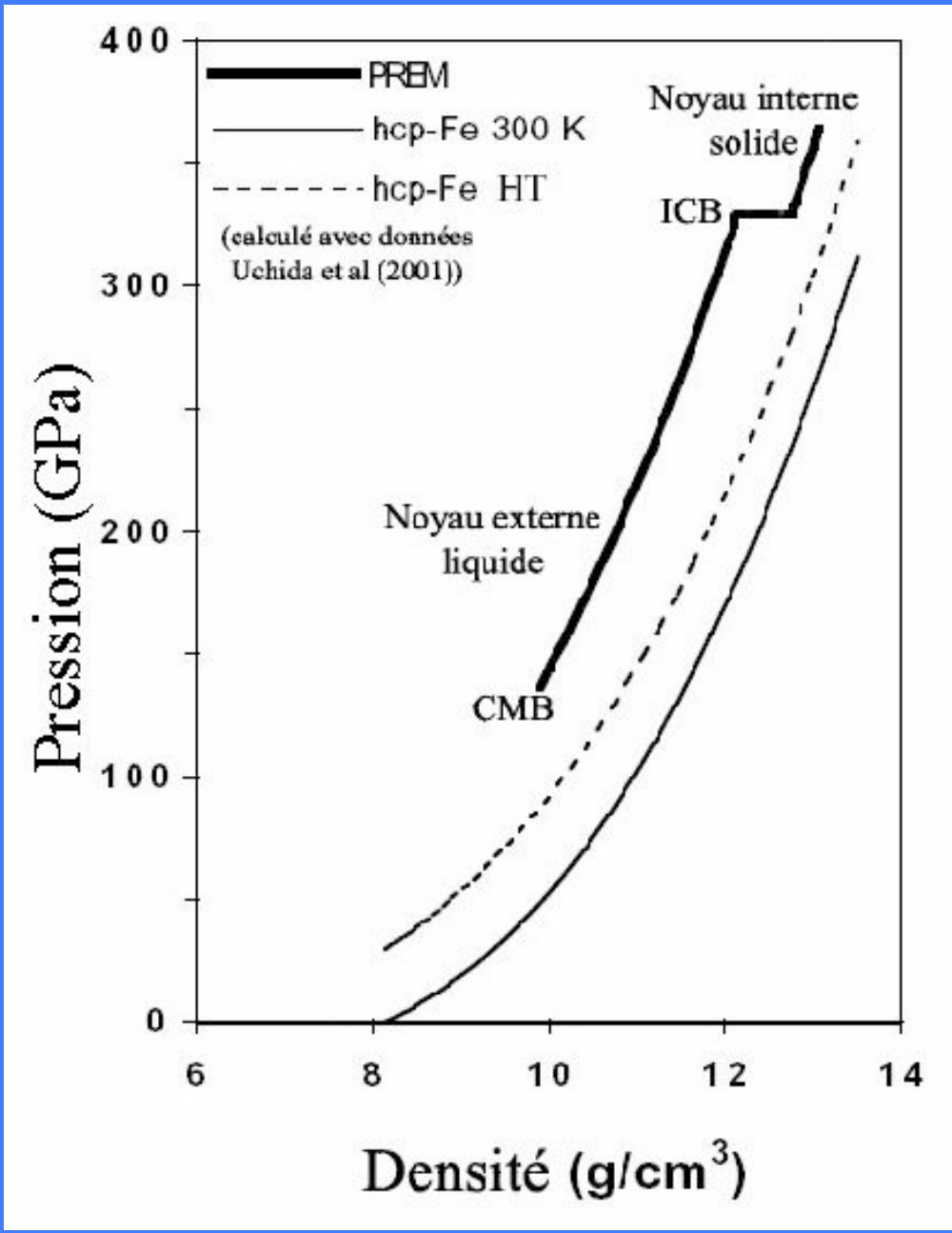
100  $\mu$ m

spectrum of thermal emission

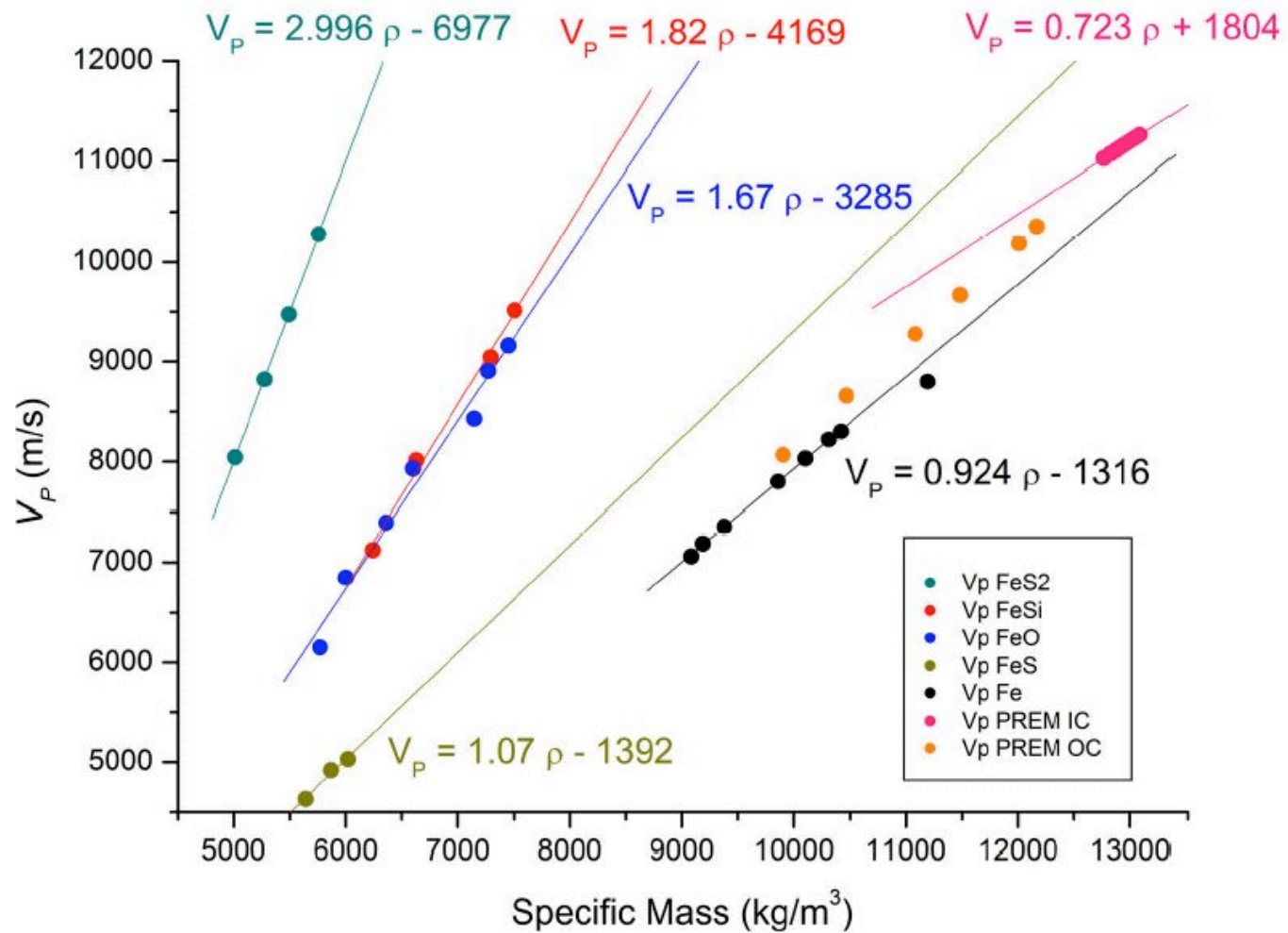
→ T



IR laser



**NOYAU**

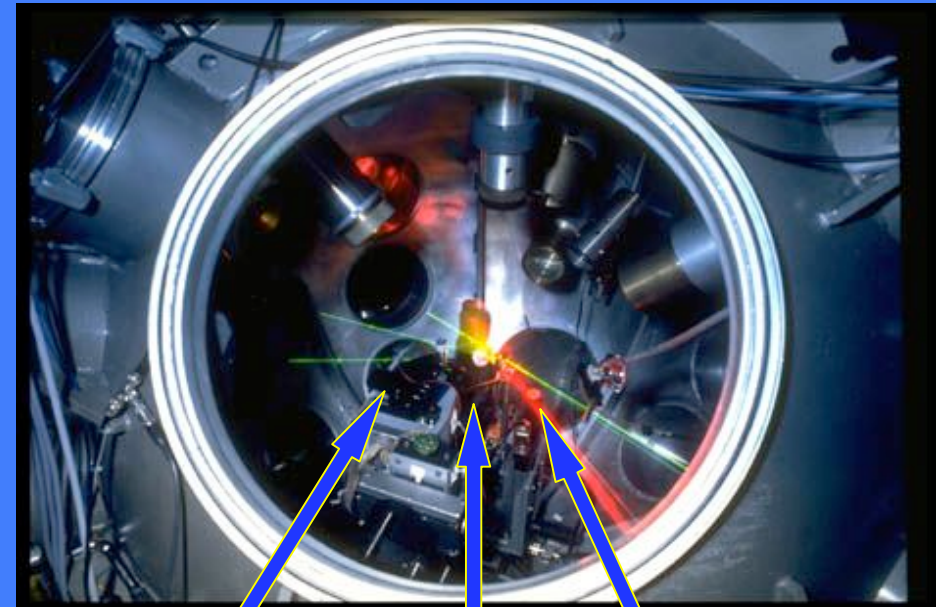
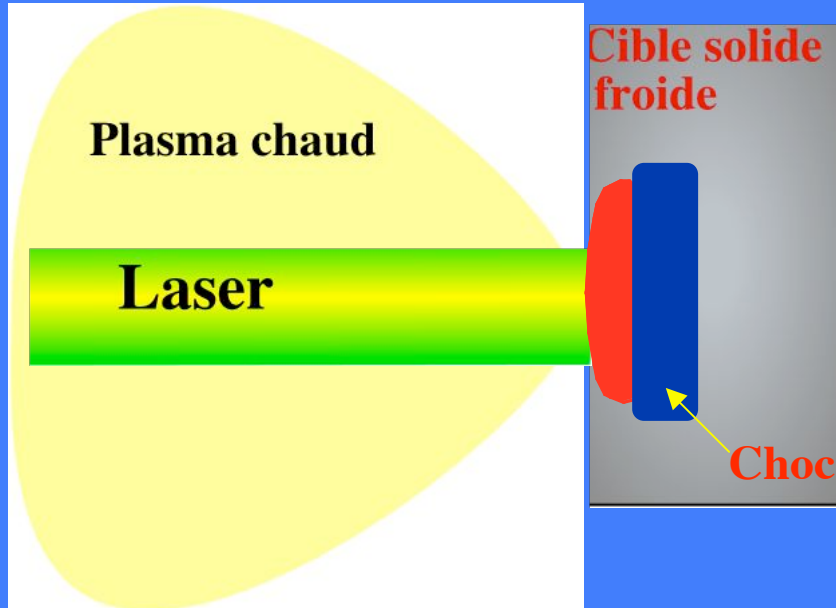


**Light elements in the core**  
**Badro et al. 2007**

# Ondes de chocs

(ex chocs laser M. Koenig, LULI)

Chambre expérimentale



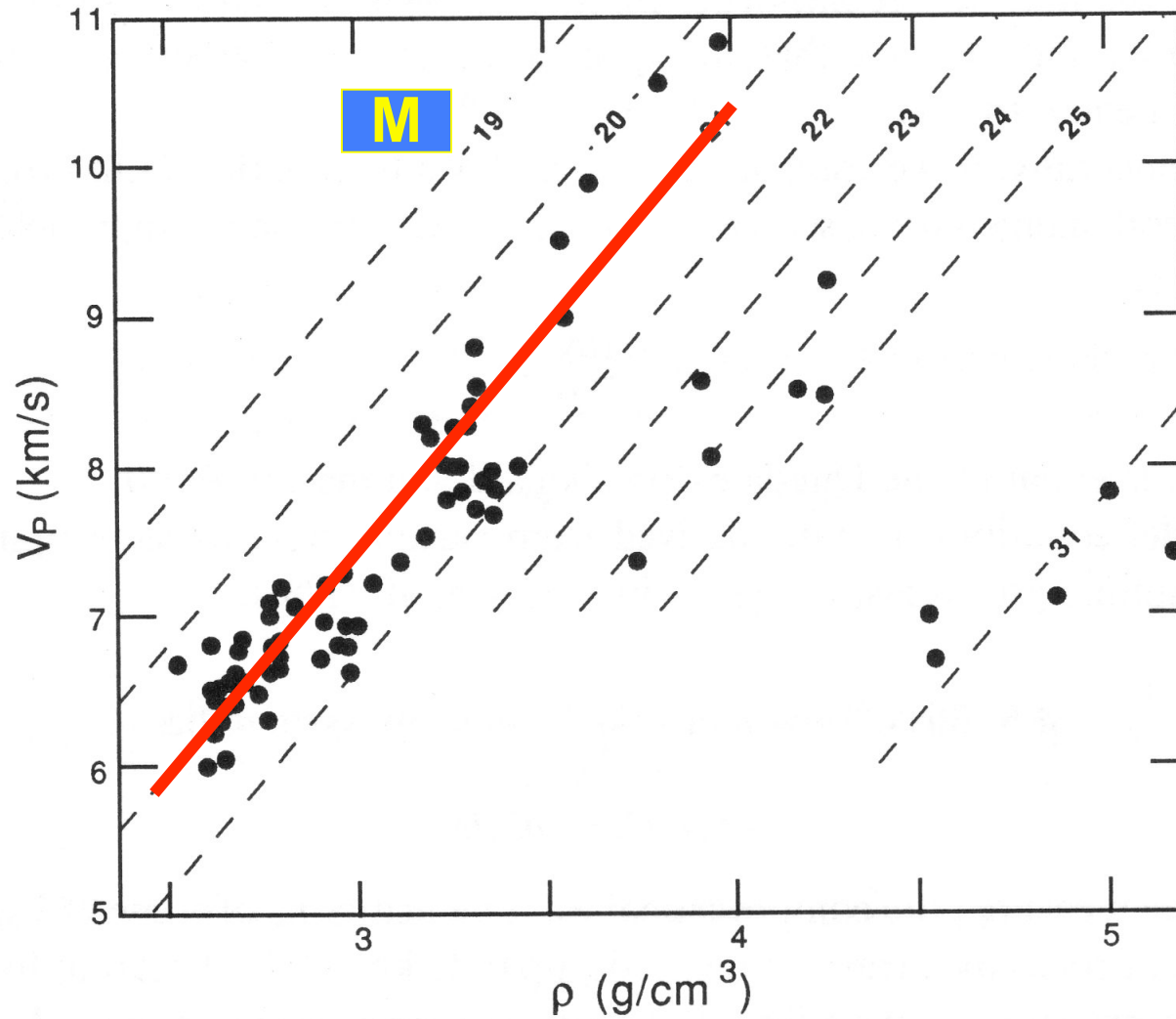
Pression d'ablation

$$P \approx 12(I_L / \lambda)^{2/3}$$

$I_L$  en  $10^{14}$  W/cm<sup>2</sup>

$\lambda$  en  $\mu\text{m}$

P en Mbar

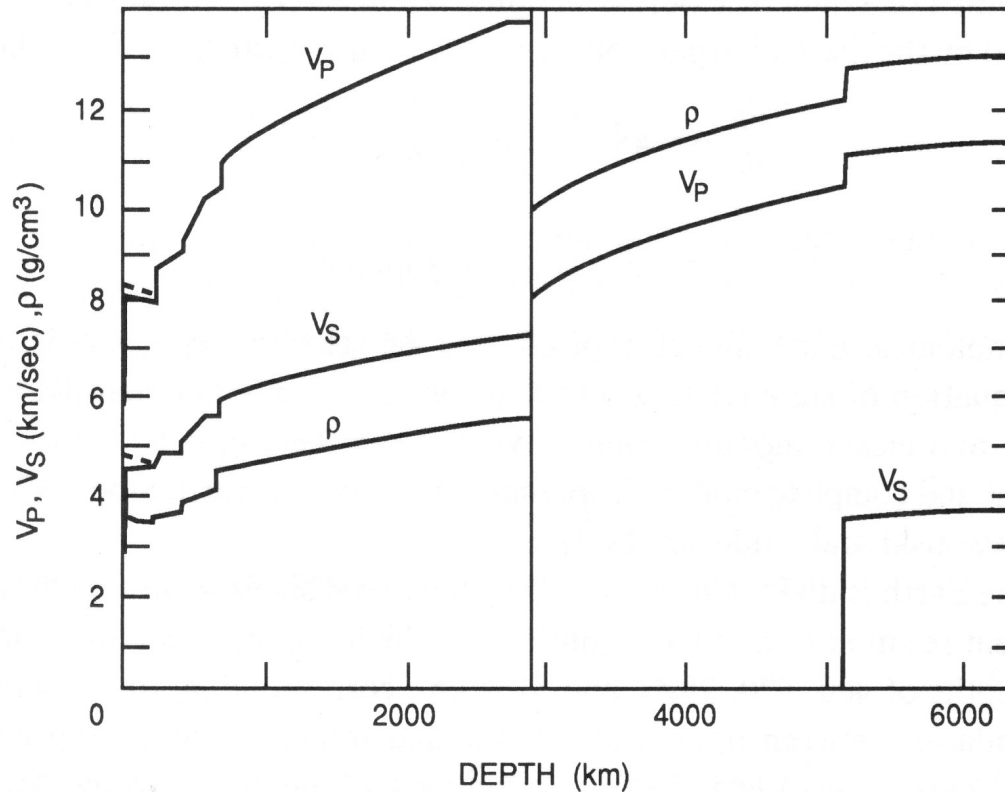


# Loi de Birch

**MANTEAU**

$$v_P = - 1.87 + 3.05 \rho$$





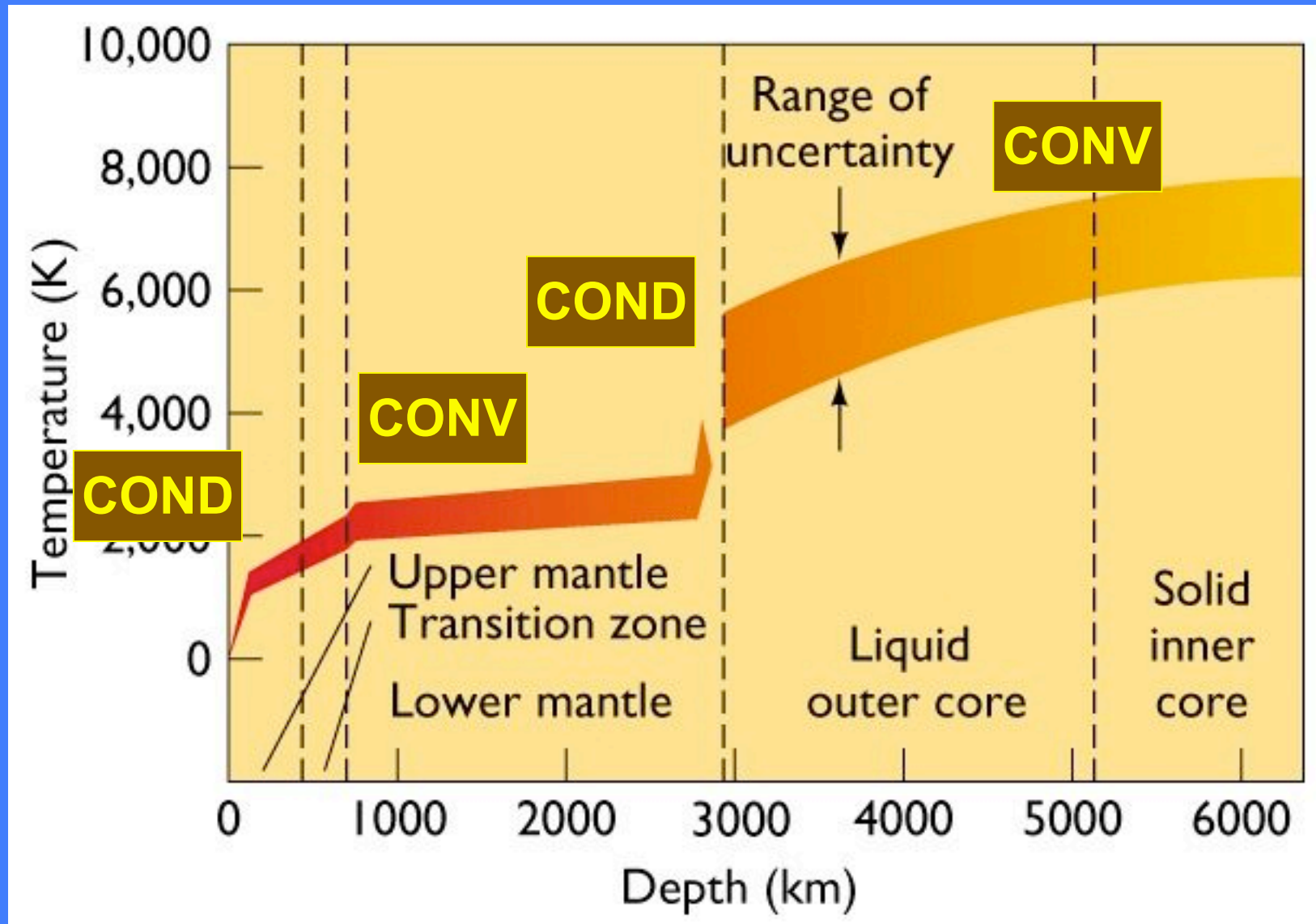
Distributions  
de

$V_P, V_S, \rho$

en fonction  
de la  
profondeur

**Discontinuités sismiques**  
**= (parfois) transformations de phases**  
**= Thermomètres profonds**

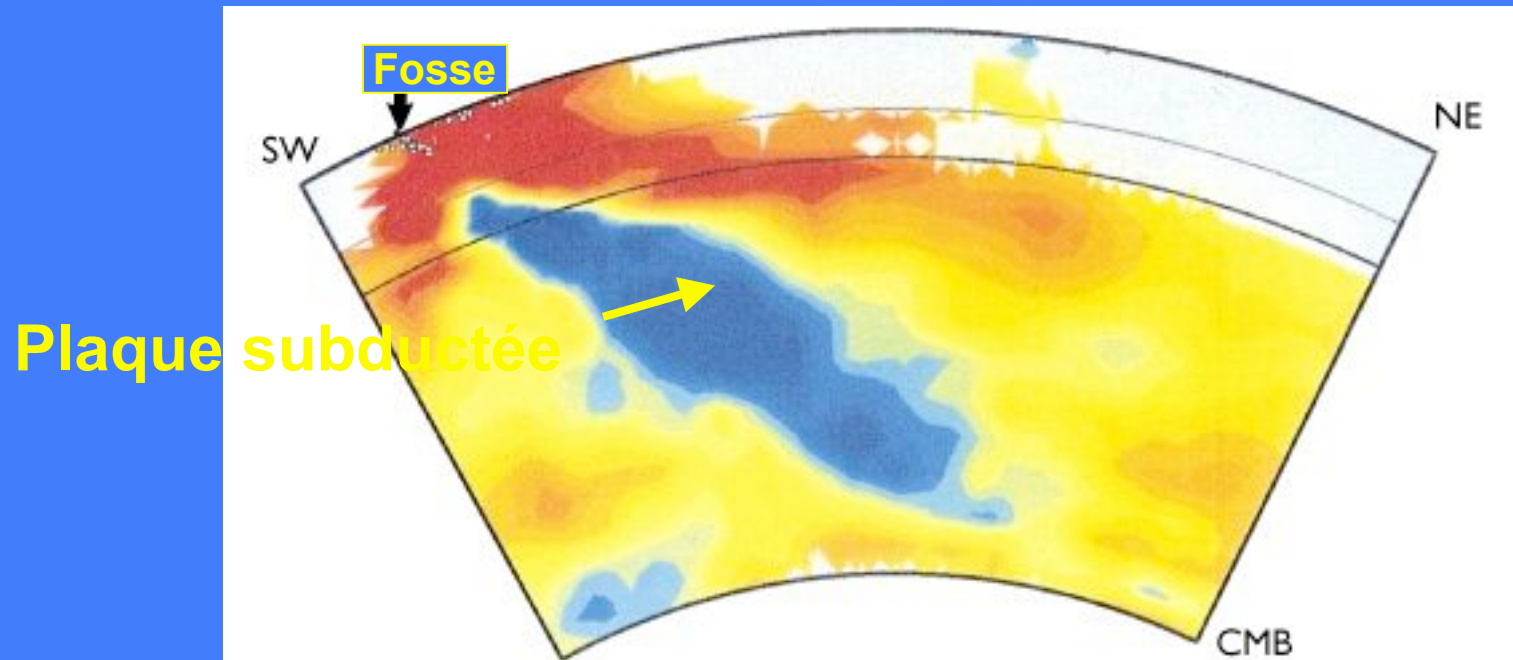
# Température en fonction de la profondeur



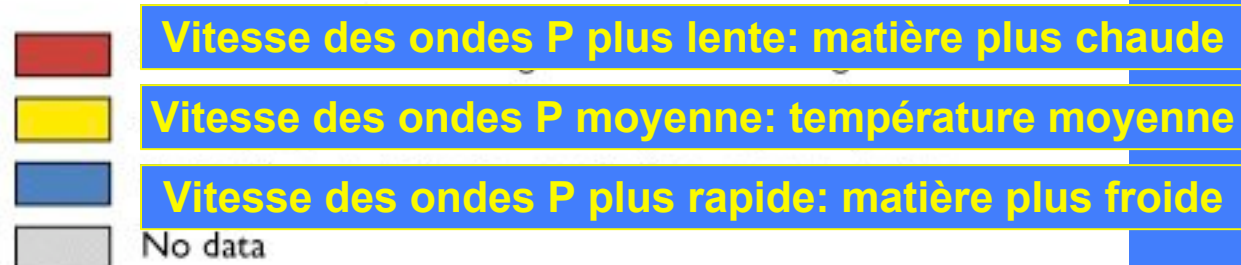
# **STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE**

## **3. STRUCTURE ET DYNAMIQUE DU MANTEAU. NOTIONS DE LITHOSPHERE ET DE CROÛTE**

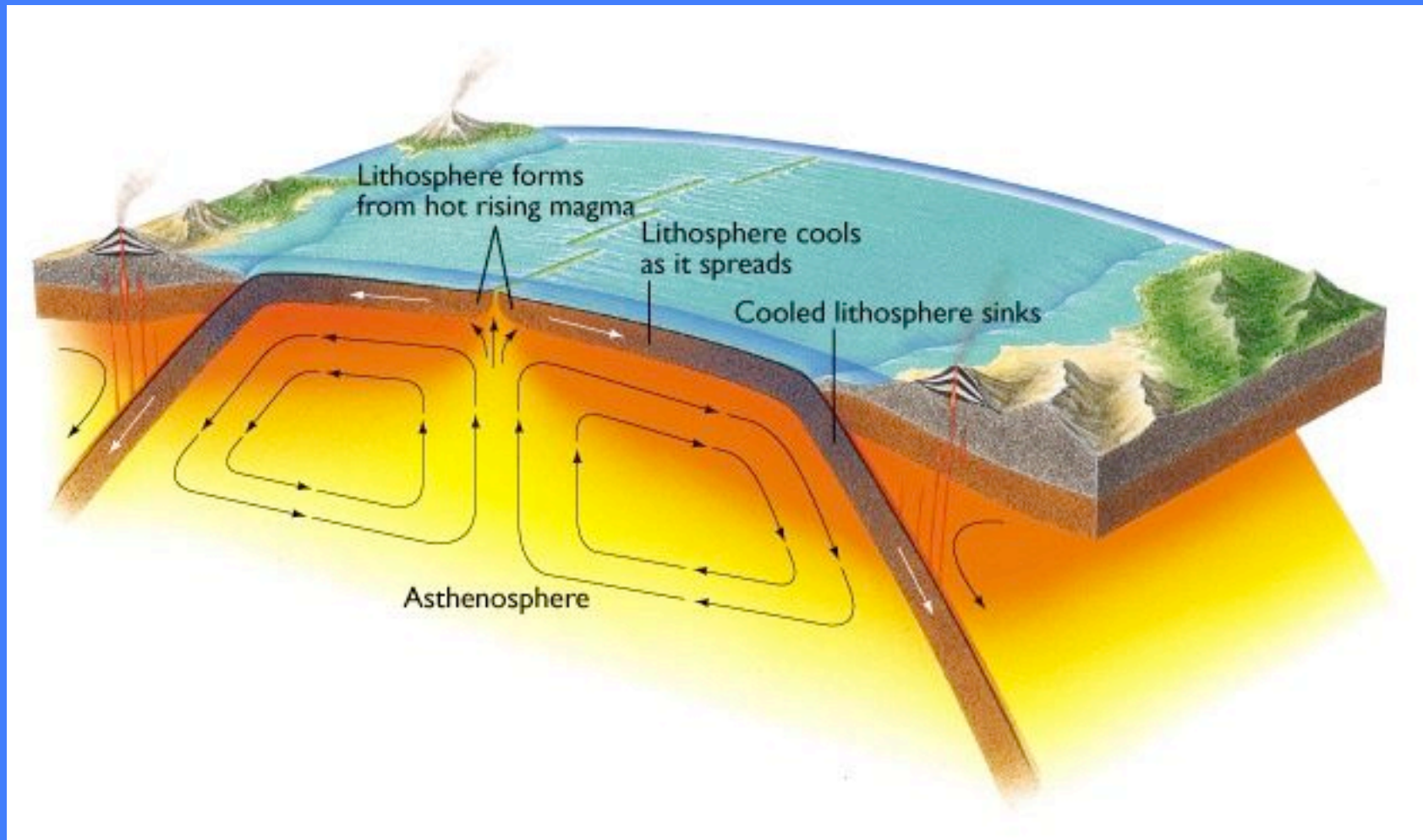
# Convection dominée par des panaches froids descendants



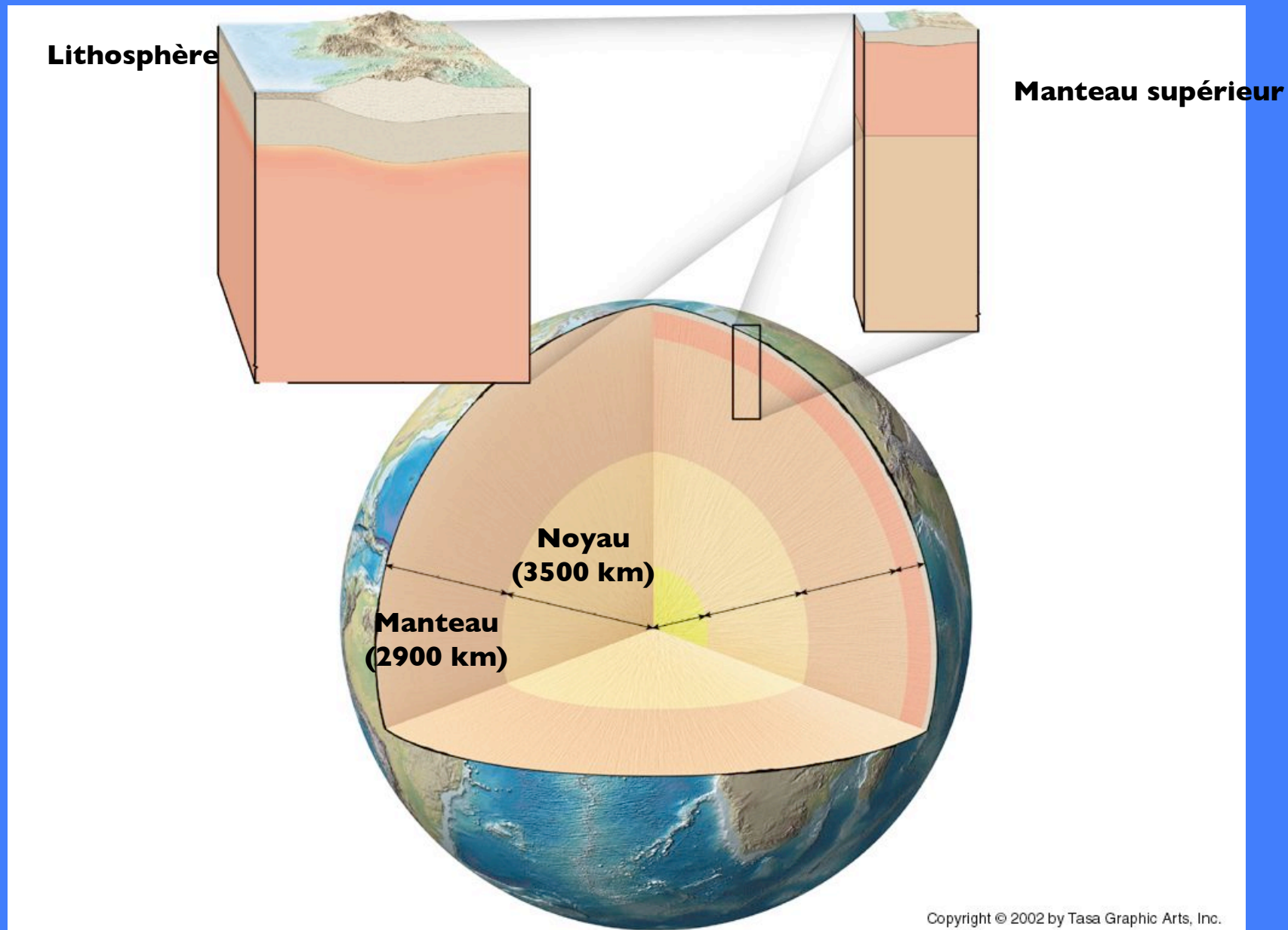
Les variations de vitesse des ondes P corrént avec la température (et/ou la composition?) dans le manteau



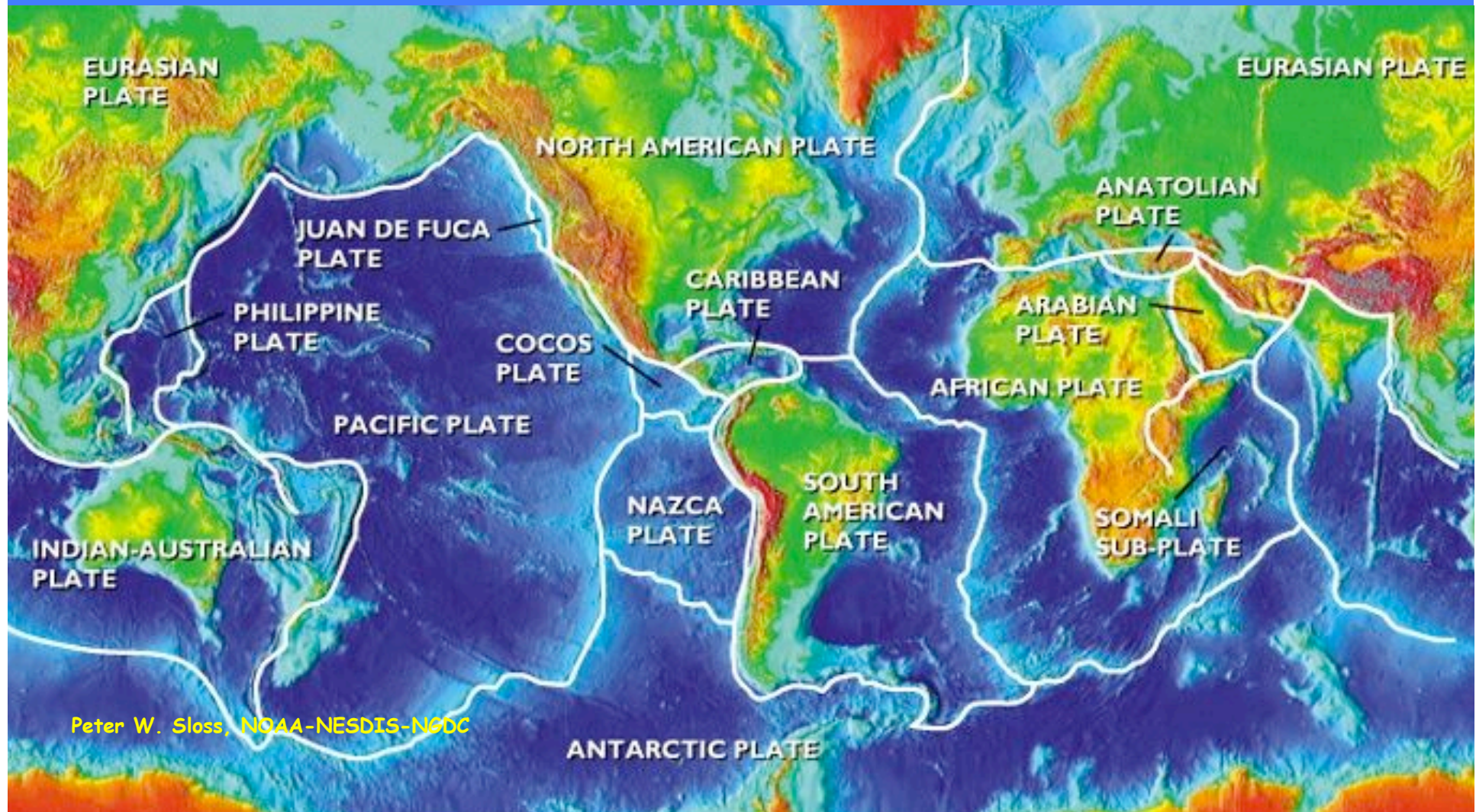
# La convection du manteau supérieur: le mécanisme de la tectonique des plaques



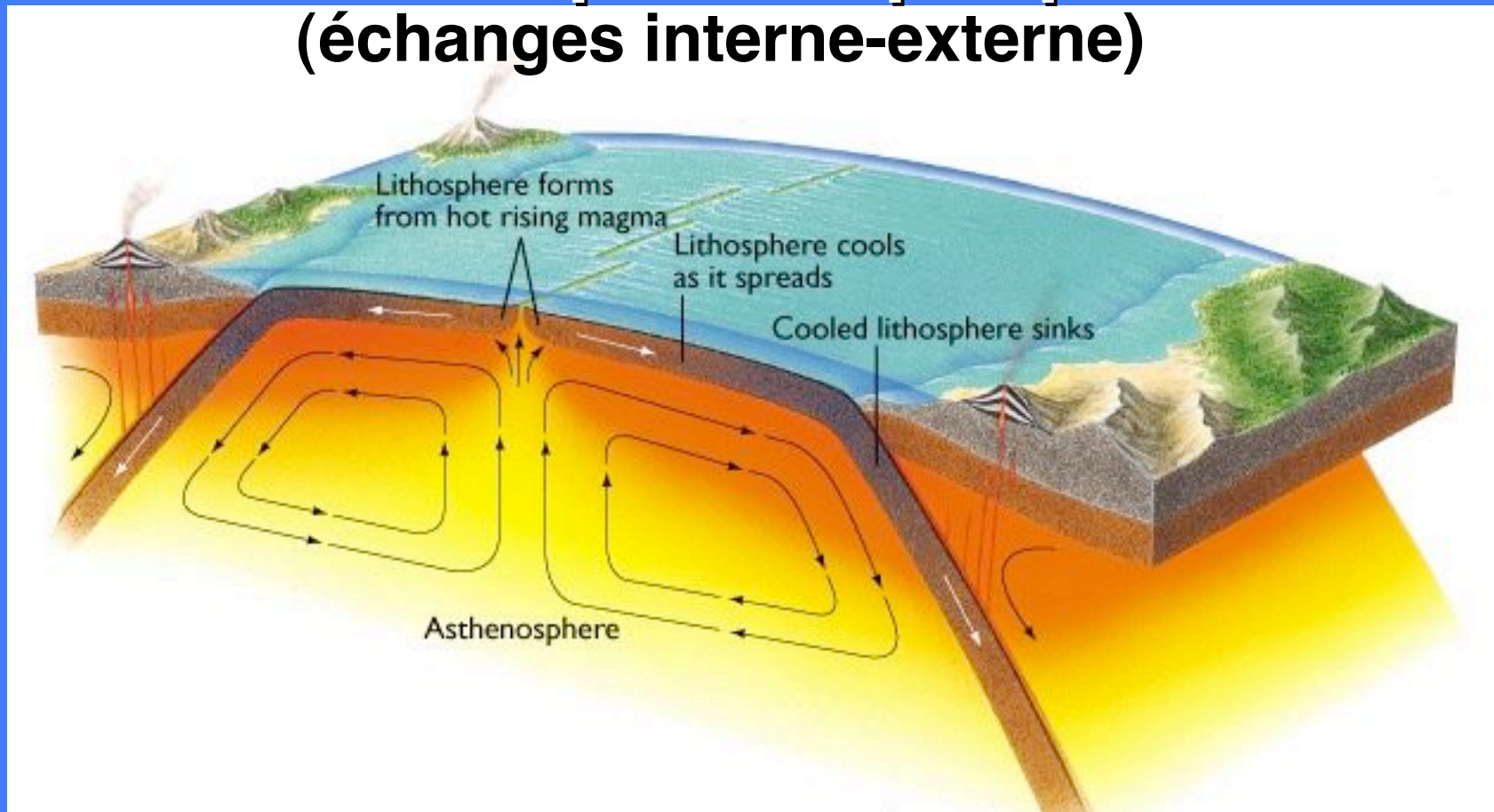
# Convection planétaire et lithosphère



# Sur Terre, cette lithosphère est découpée en plaques



**Convection mantélique  
+  
Fractures lithosphériques  
=  
Tectonique des plaques  
(échanges interne-externe)**



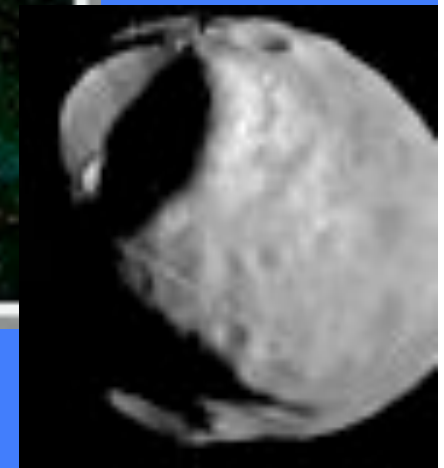
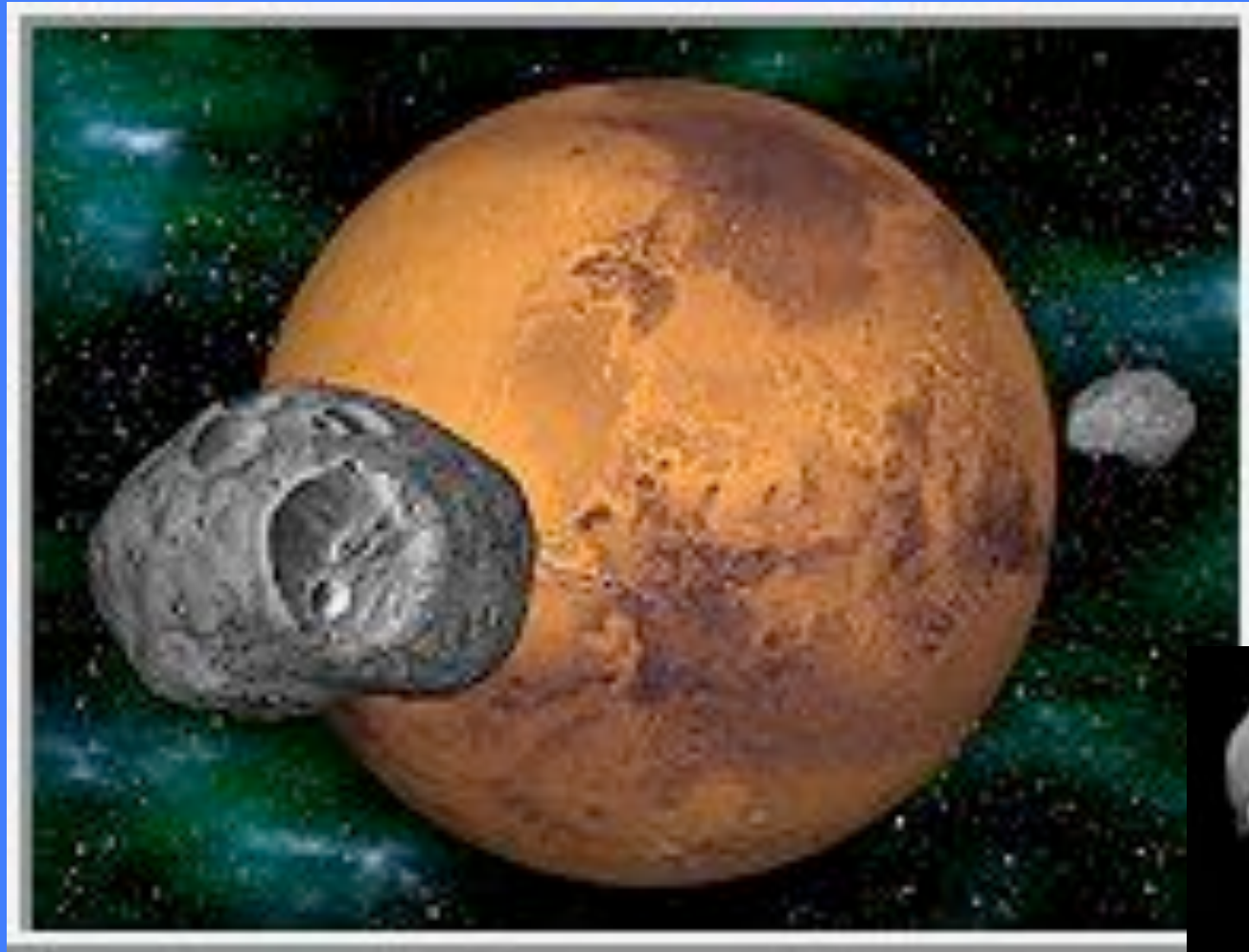


**Vénus:  
images  
optique  
et  
radar :**

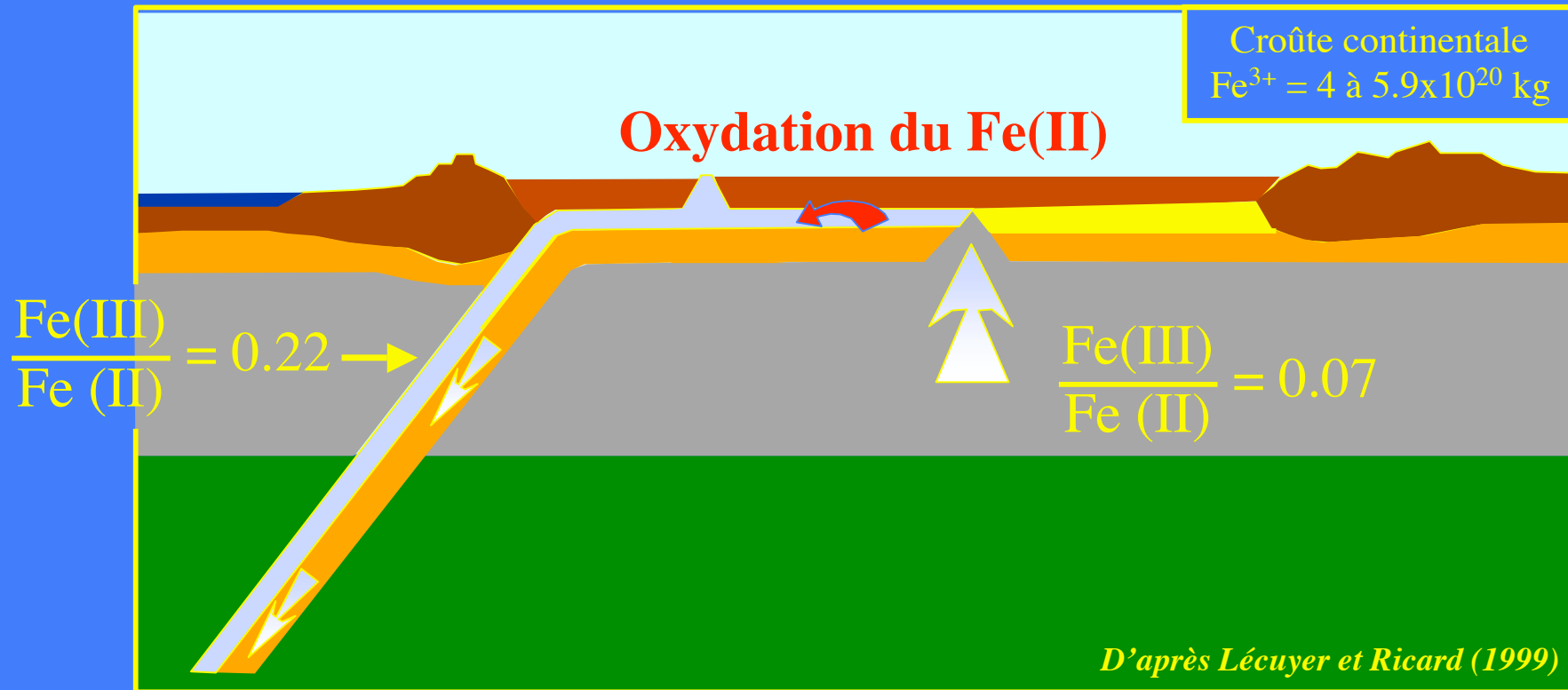
**Une  
tectonique de  
grands  
panaches.  
Pas de  
tectonique  
des plaques**



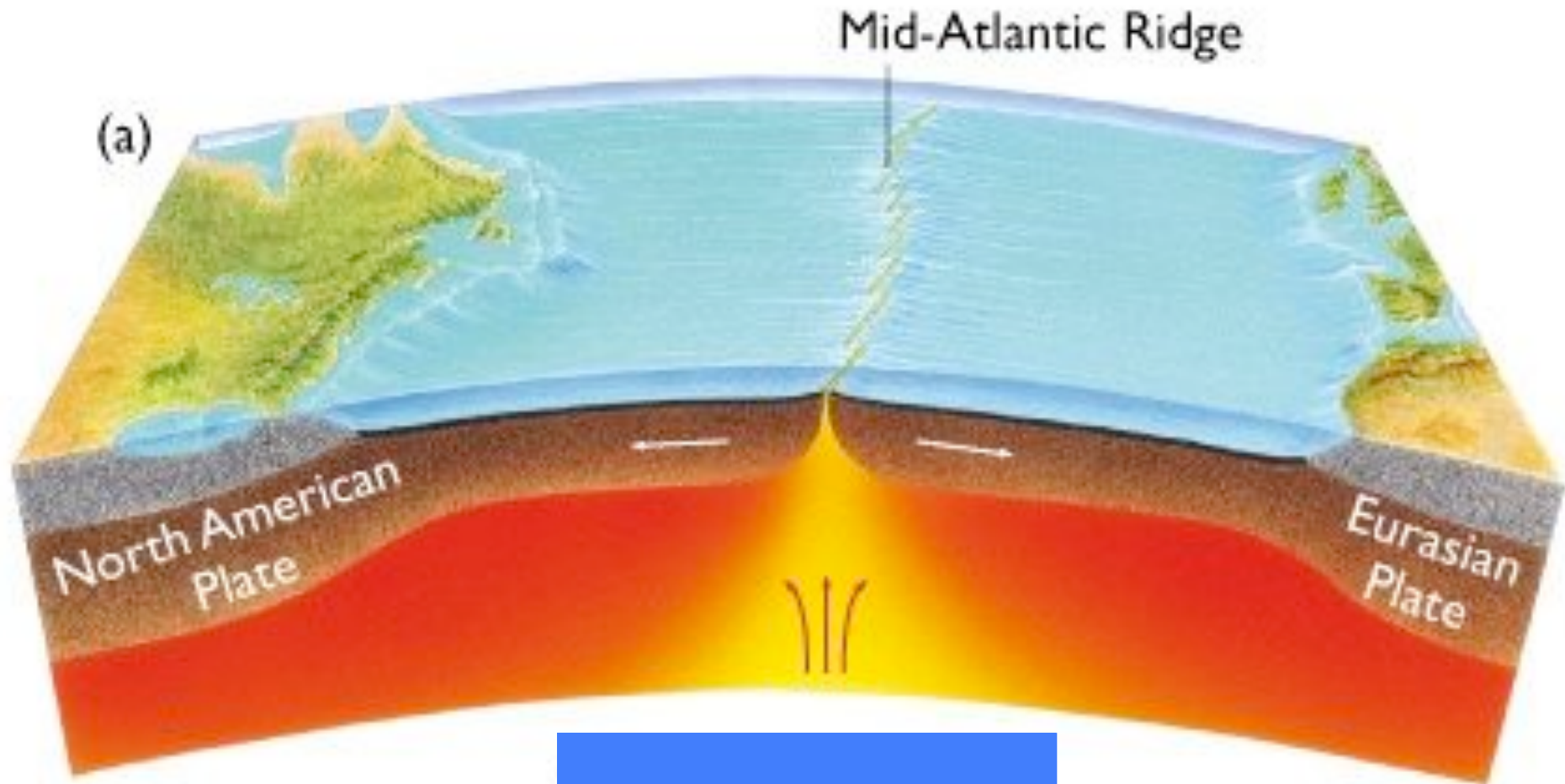
# Mars non plus n'a pas ou n'a plus de tectonique des plaques



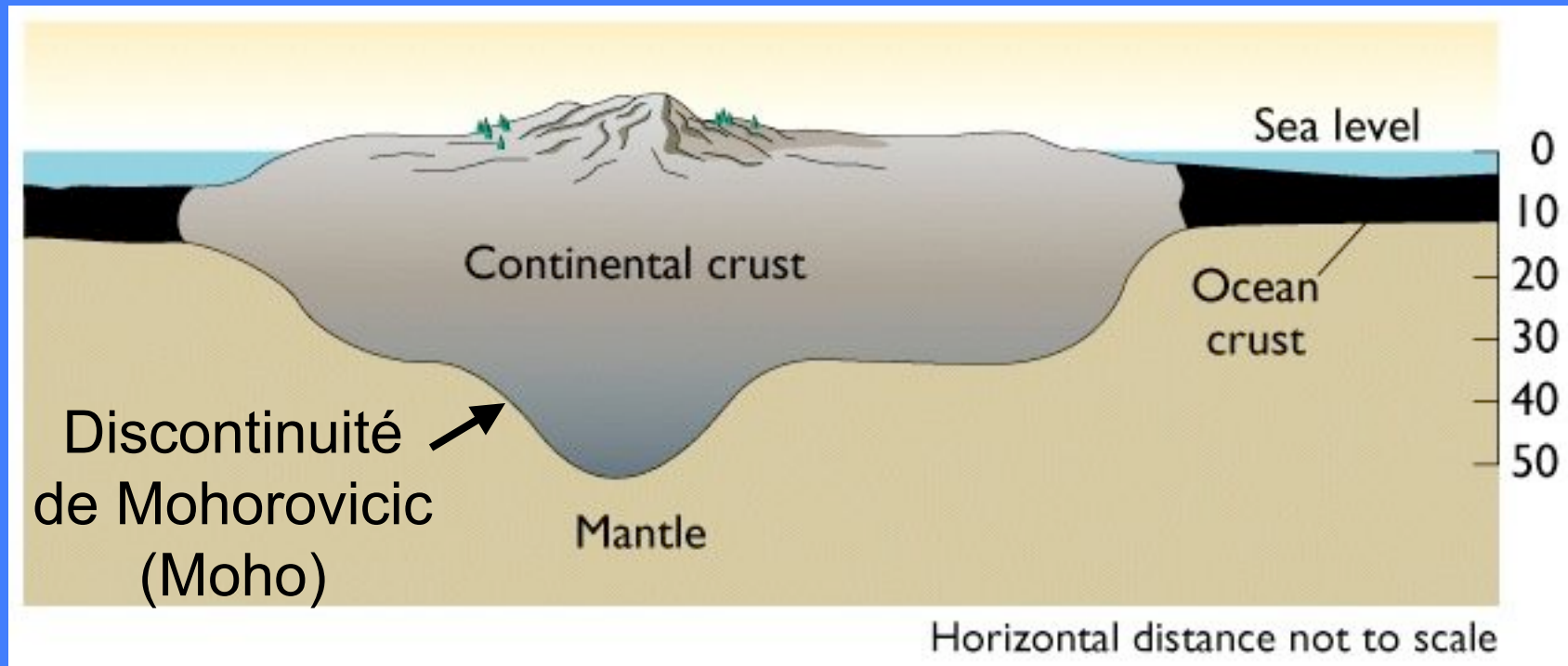
# Importance des échanges internes/externes Régulation de O<sub>2</sub> par l'hydrothermalisme océanique



# Volcanisme associé : Dorsales Genèse de la croûte océanique

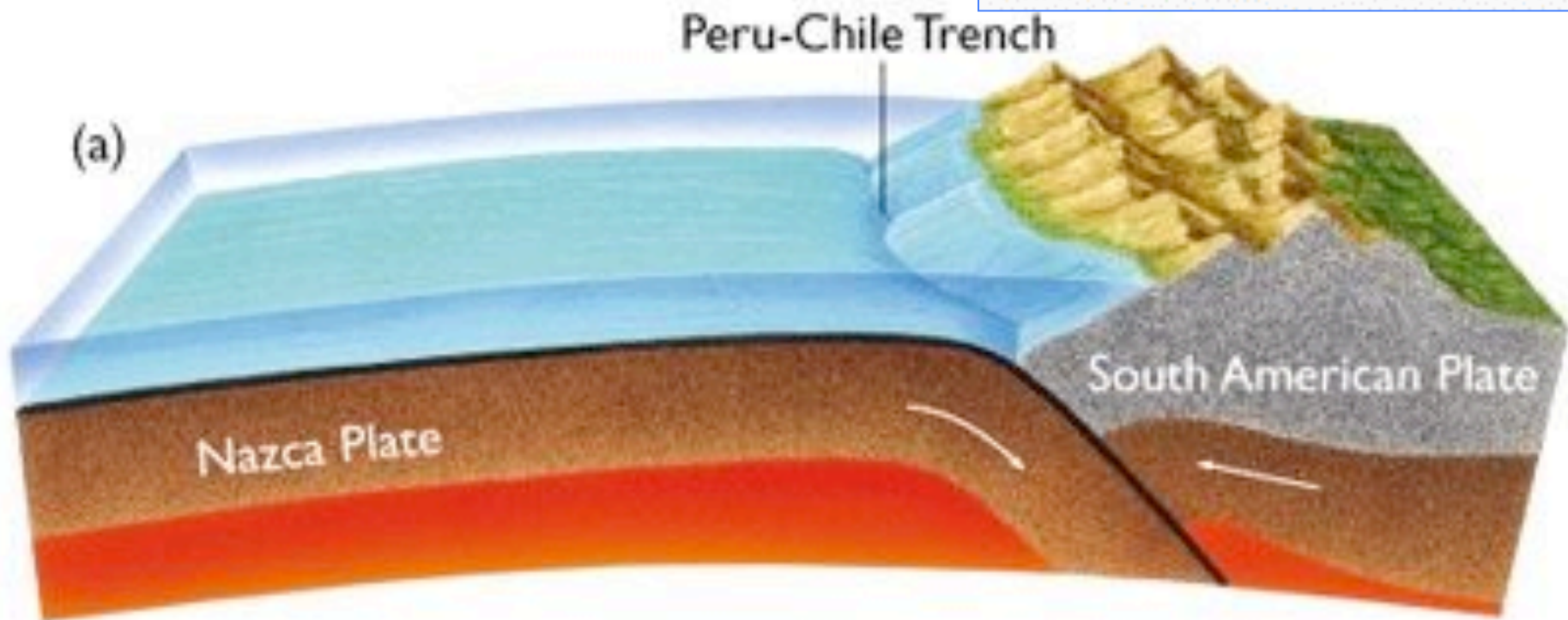
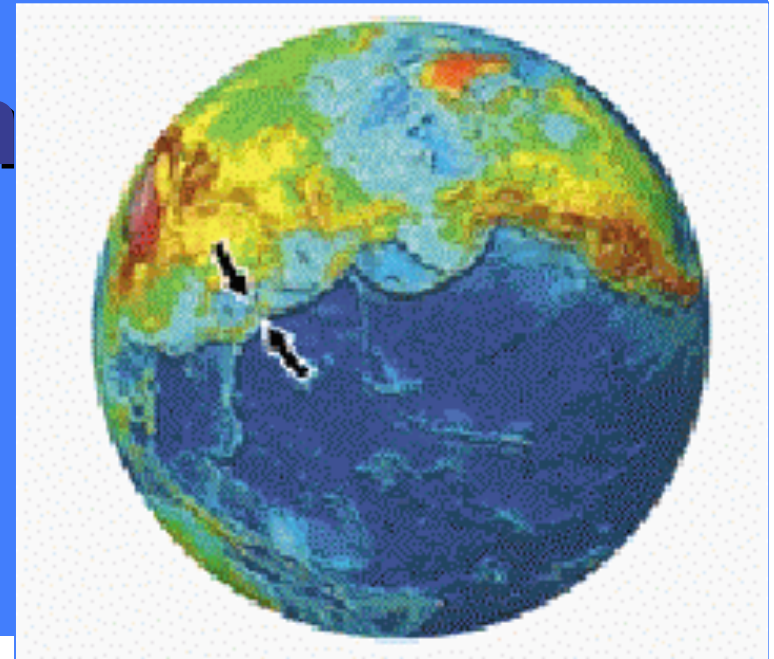


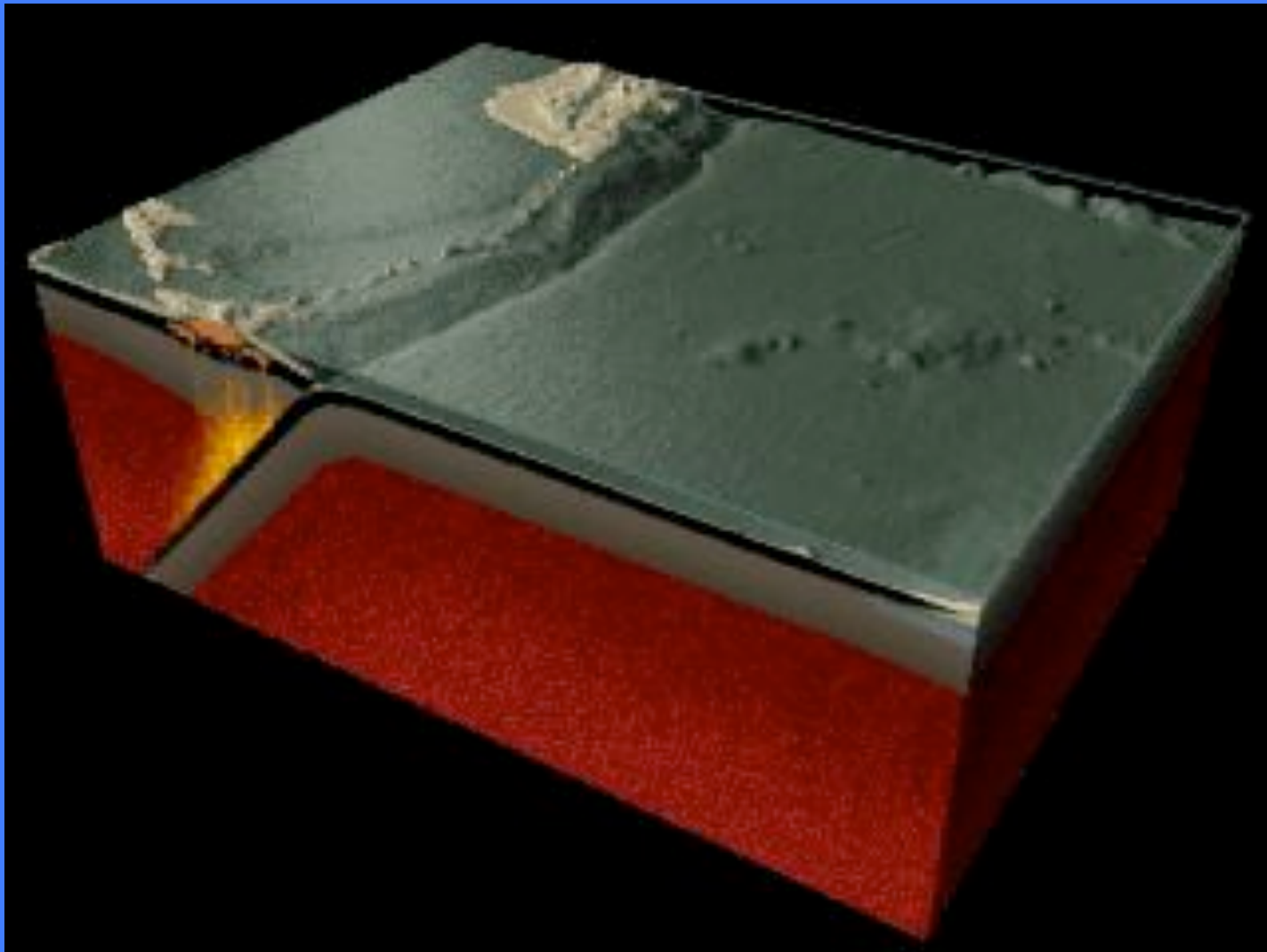
# La Terre possède aussi une croûte continentale (granitique)



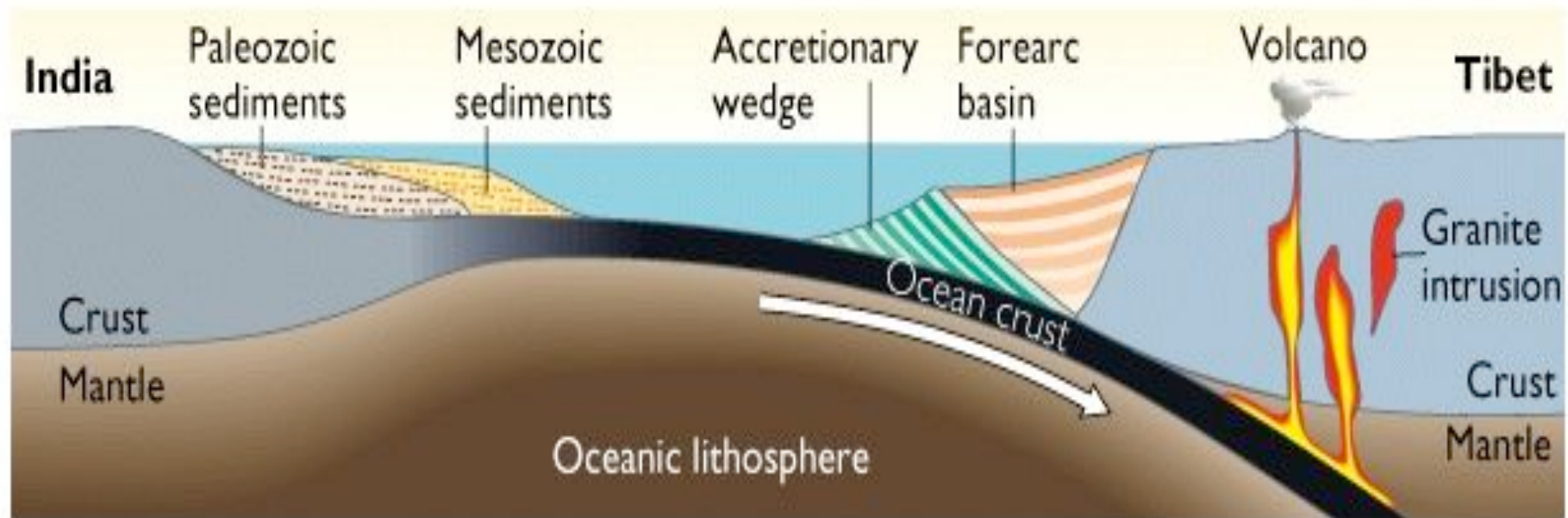
## Rôle de l'eau liquide?

# Zone de subduction océan-continent





# Exemple : la plaque indienne subducte sous la plaque asiatique

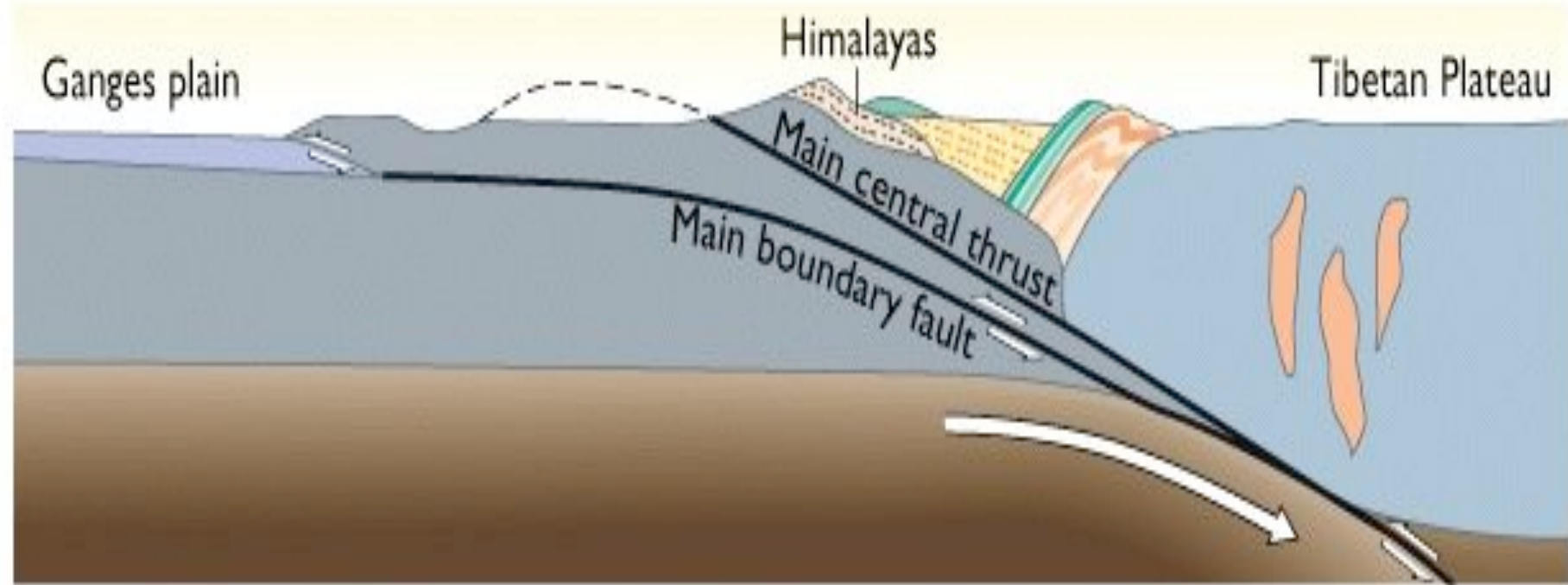


(a)

60 millions d'années



# Collision continentale : fabrication de la véritable nouvelle croûte continentale



(d)

**10–20 millions d'années**

La Terre doit être considérée comme un  
« résultat d'expérience »  
parmi les autres planètes

Importance de la Planétologie comparée

Un vingt et unième siècle incroyablement excitant  
avec l'étude « géologique » de milliers de Terres  
extrasolaires?

L'intérieur de la Terre et des Planètes. Agnès Dewaële  
et Chrystèle Sanloup. Belin sup 2005

La Terre Interne. Roches et Matériaux en Conditions  
Extrêmes. Fabrice Brunet, Denis Andrault et Gilles  
Chazot. Société Géologique de France. Vuibert 2007

Les profondeurs de la Terre. Jean Paul Poirier. Masson

Introduction to the Physics of the Earth's Interior.  
Jean-Paul Poirier. Cambridge University Press 1991.