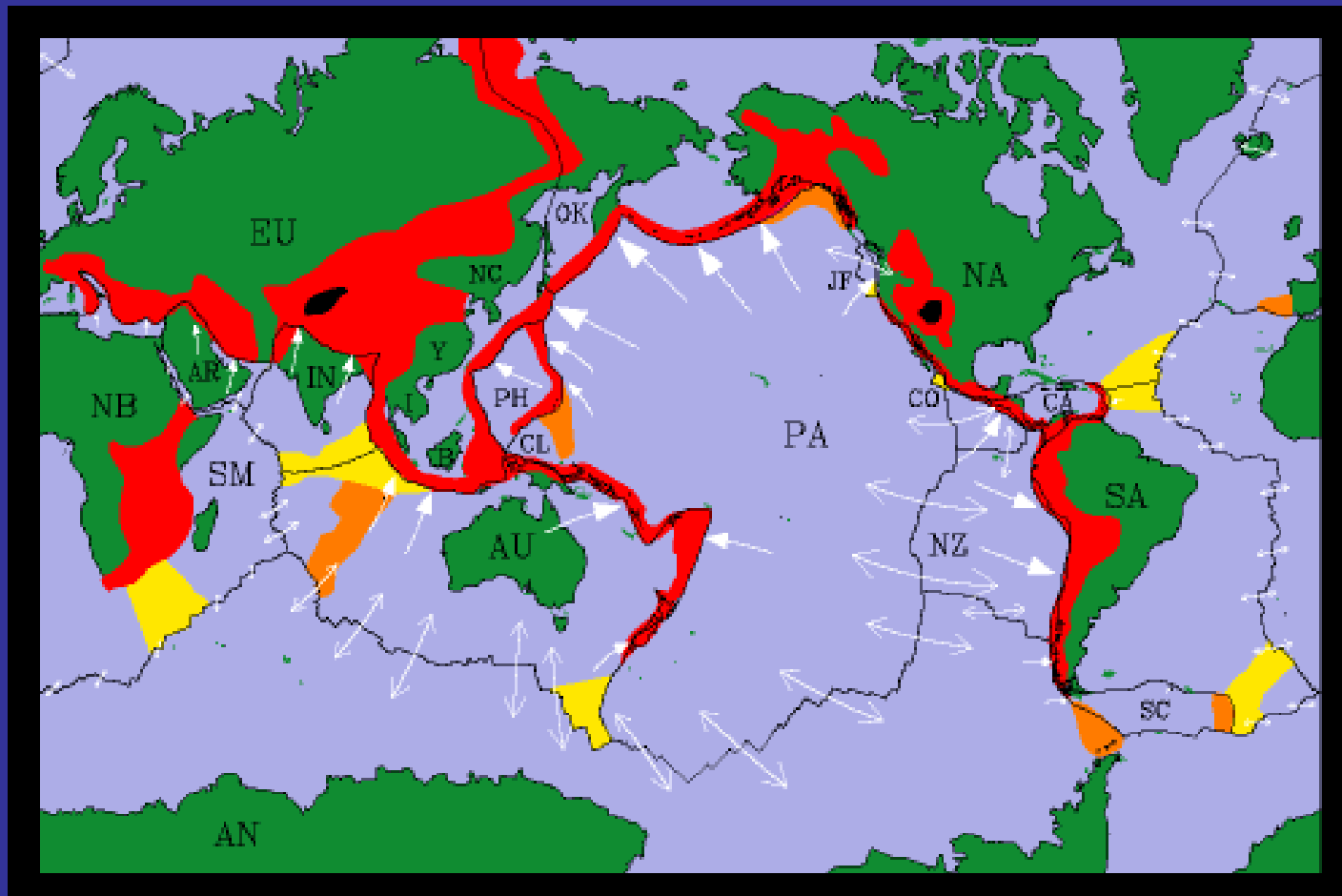


LA MACHINE TERRESTRE

5

Jean-Paul Montagner, Elise Delavaud,
Université Paris VII-Denis Diderot, Institut de Physique du Globe



Plan

I- Une brève Histoire de la Terre

-observations de surface: calculs à la surface de la terre

Calcul de la masse des planètes

- l'aventure Wegenerienne

II- Le champ magnétique terrestre

-Définition

-Modèle de champ dipolaire

-Les inversions

-Aimantation des roches, PGV

III- Tectonique des plaques

- Expansion des fonds océaniques

-Théorème d'Euler

-Modèle cinématique- cinématique sur la sphère

-Différents types de frontière- Différents types de données

IV- Déformations, contraintes, rhéologie (très sommaire)

V- Sismologie

-séismes, localisation, ondes P, ondes S

-structure radiale de la terre (1D)

-Notions de tomographie sismique

VI- Imagerie des objets géologiques

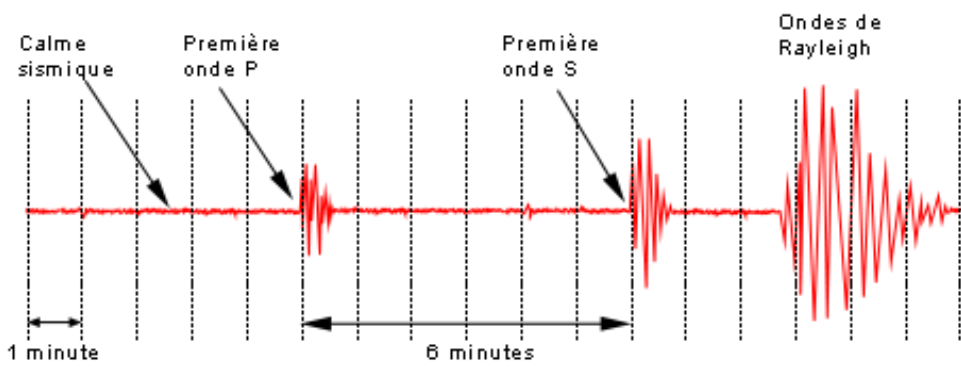
-Modèles globaux 3D

- Concept de lithosphère

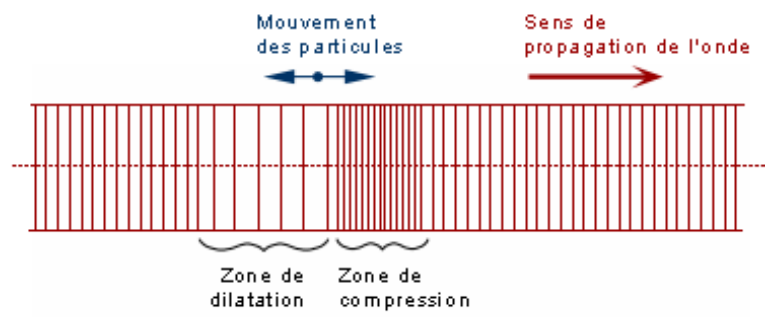
- Slabs

-Hotspots- panaches

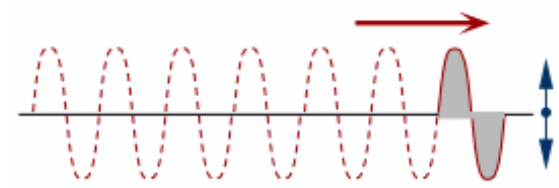
VII-Développements actuels



Onde P (compression)



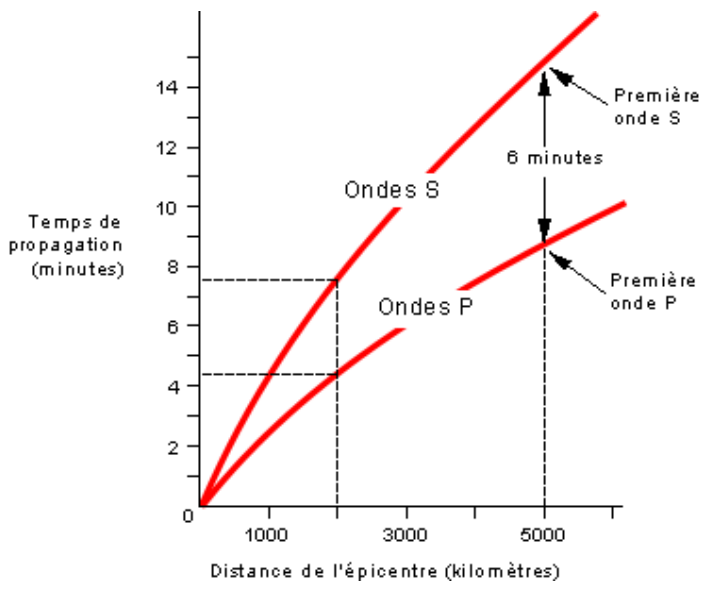
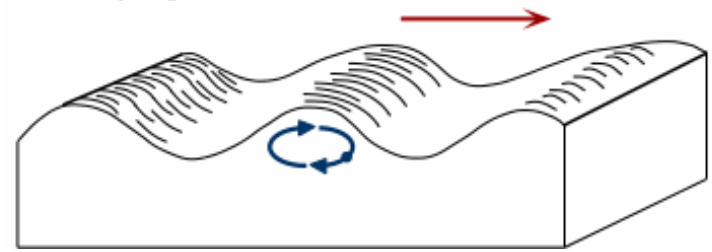
Onde S (cisaillement)



Onde L (de Love) (cisaillement)



Onde de Rayleigh

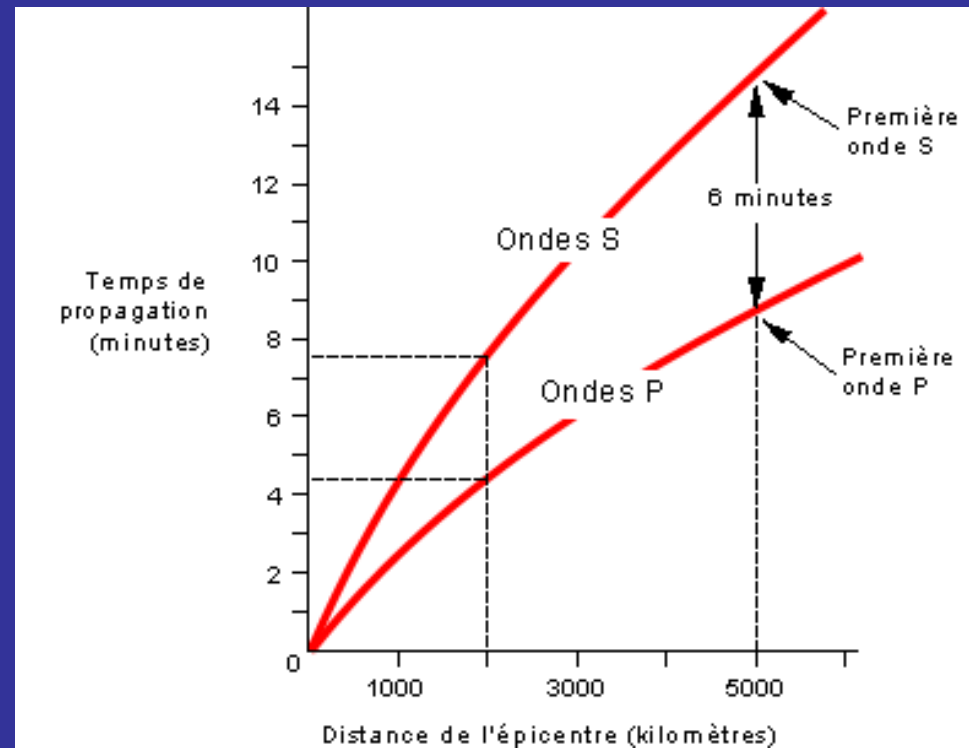


Localisation des séismes

Milieu homogène

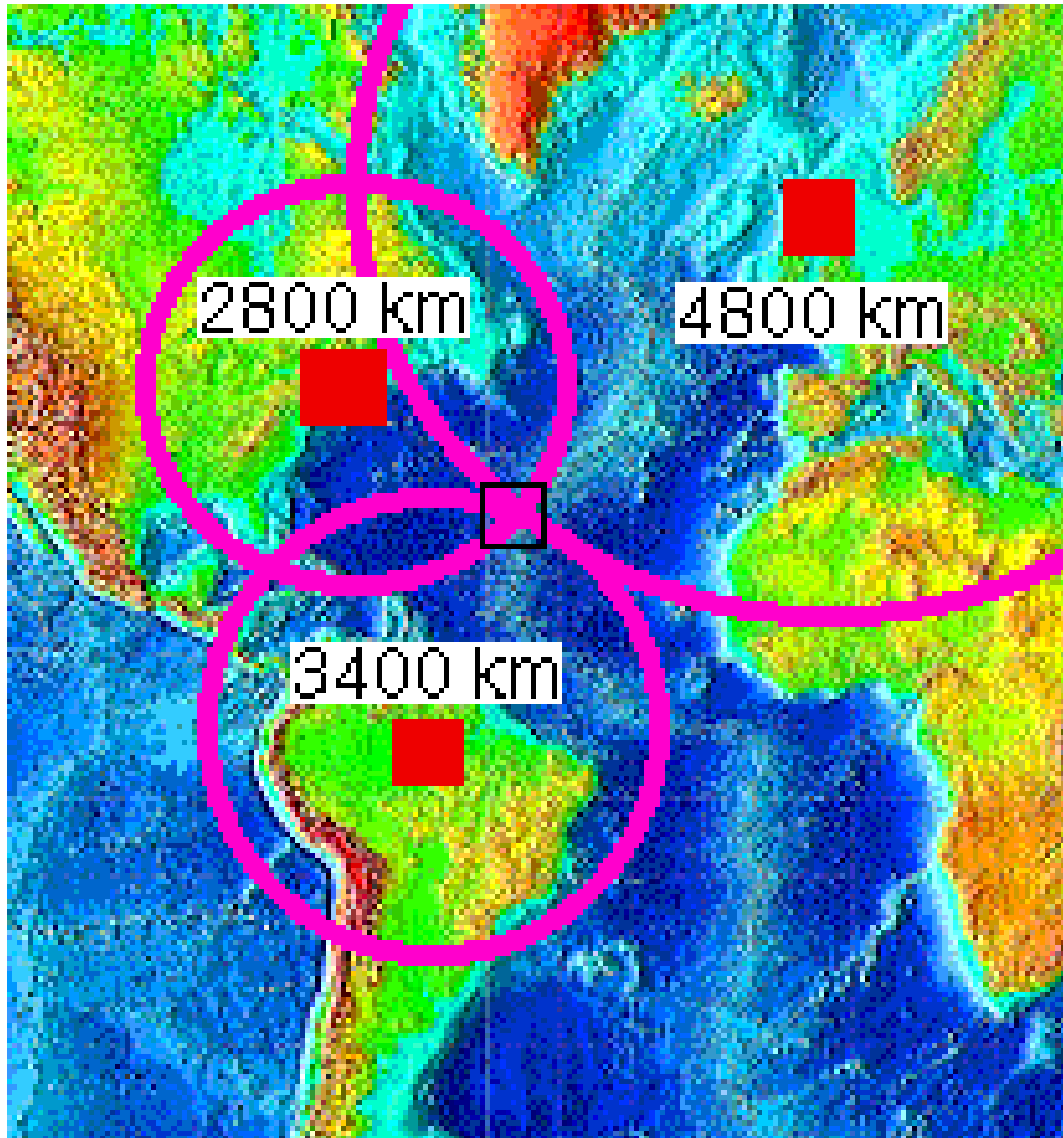
Inconnues t_0 , x_S , y_S , z_S

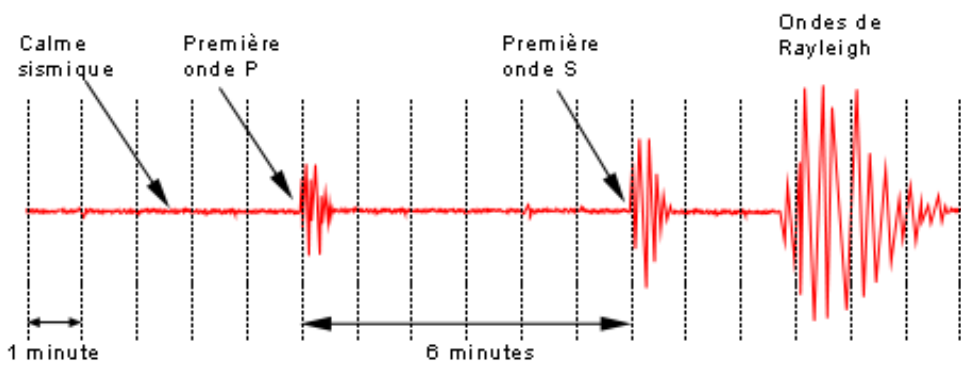
Stations réceptrices x_{Ri} , y_{Ri}



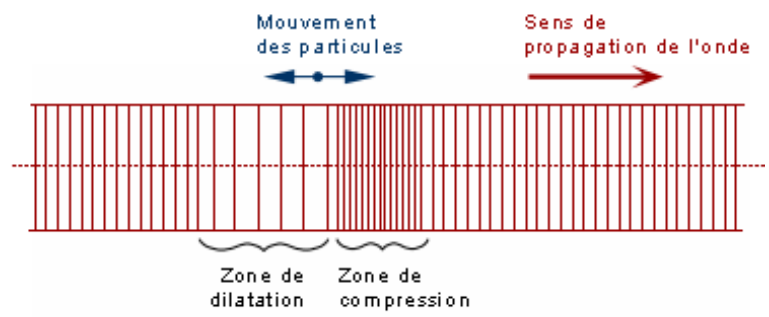
$$t_P^i - t_0 = 1/V_P \sqrt{(x_{Ri}^2 - x_S^2) + (y_{Ri}^2 - y_S^2) + (z_S^2)}$$

$$t_S^i - t_0 = 1/V_S \sqrt{(x_{Ri}^2 - x_S^2) + (y_{Ri}^2 - y_S^2) + (z_S^2)}$$

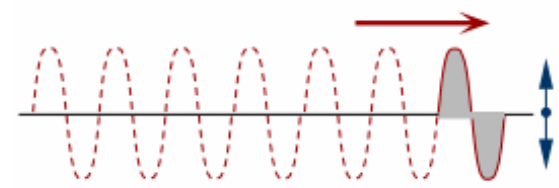




Onde P (compression)



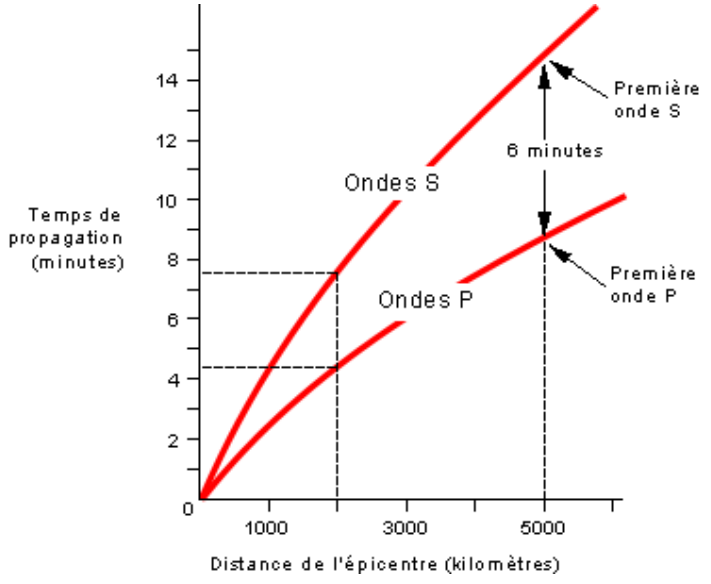
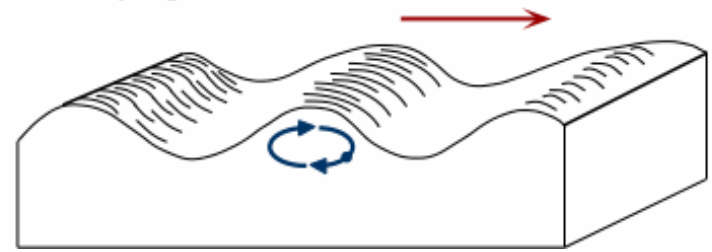
Onde S (cisaillement)



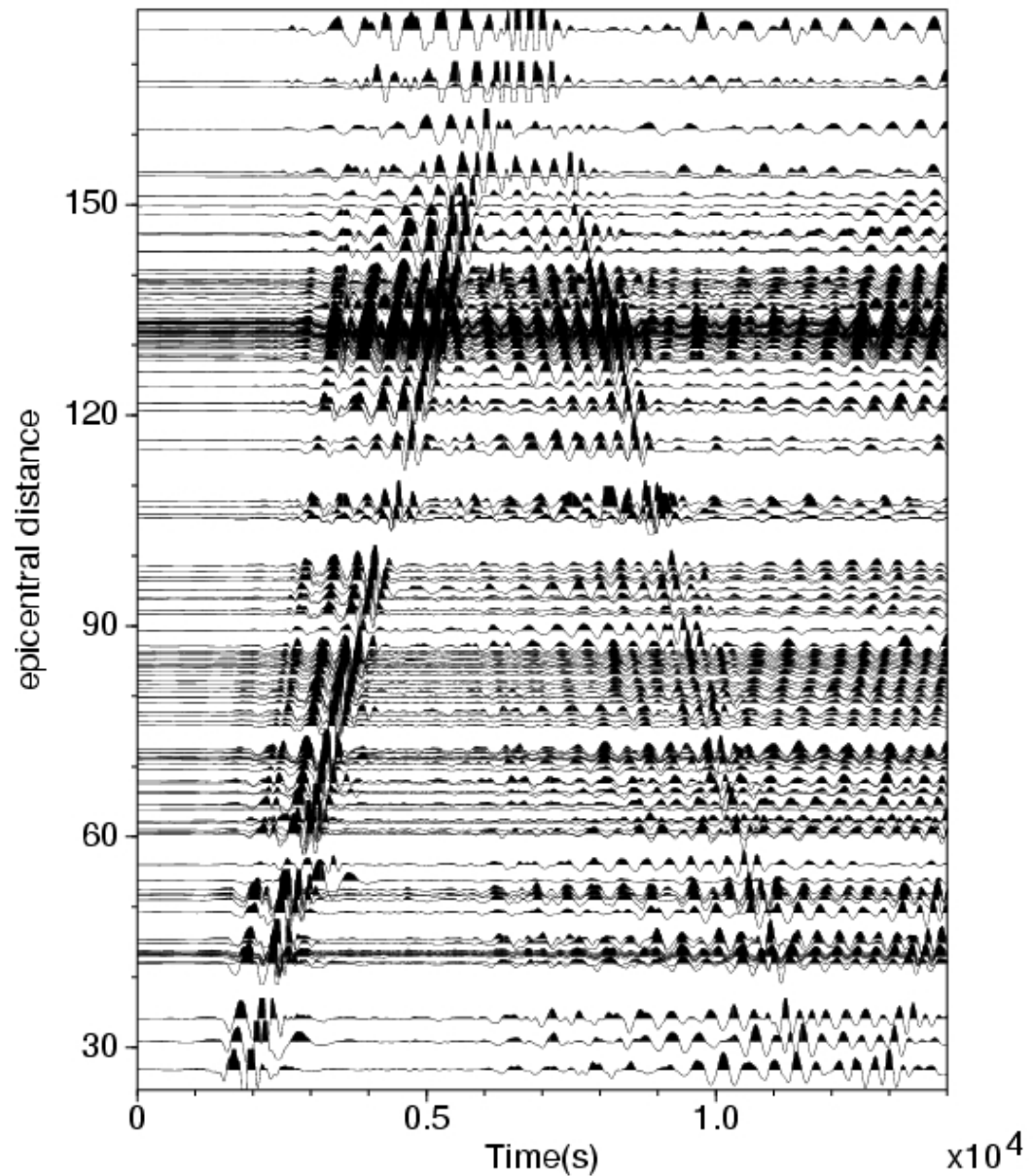
Onde L (de Love) (cisaillement)



Onde de Rayleigh



12/26/2004 data (1.2-9mHz)

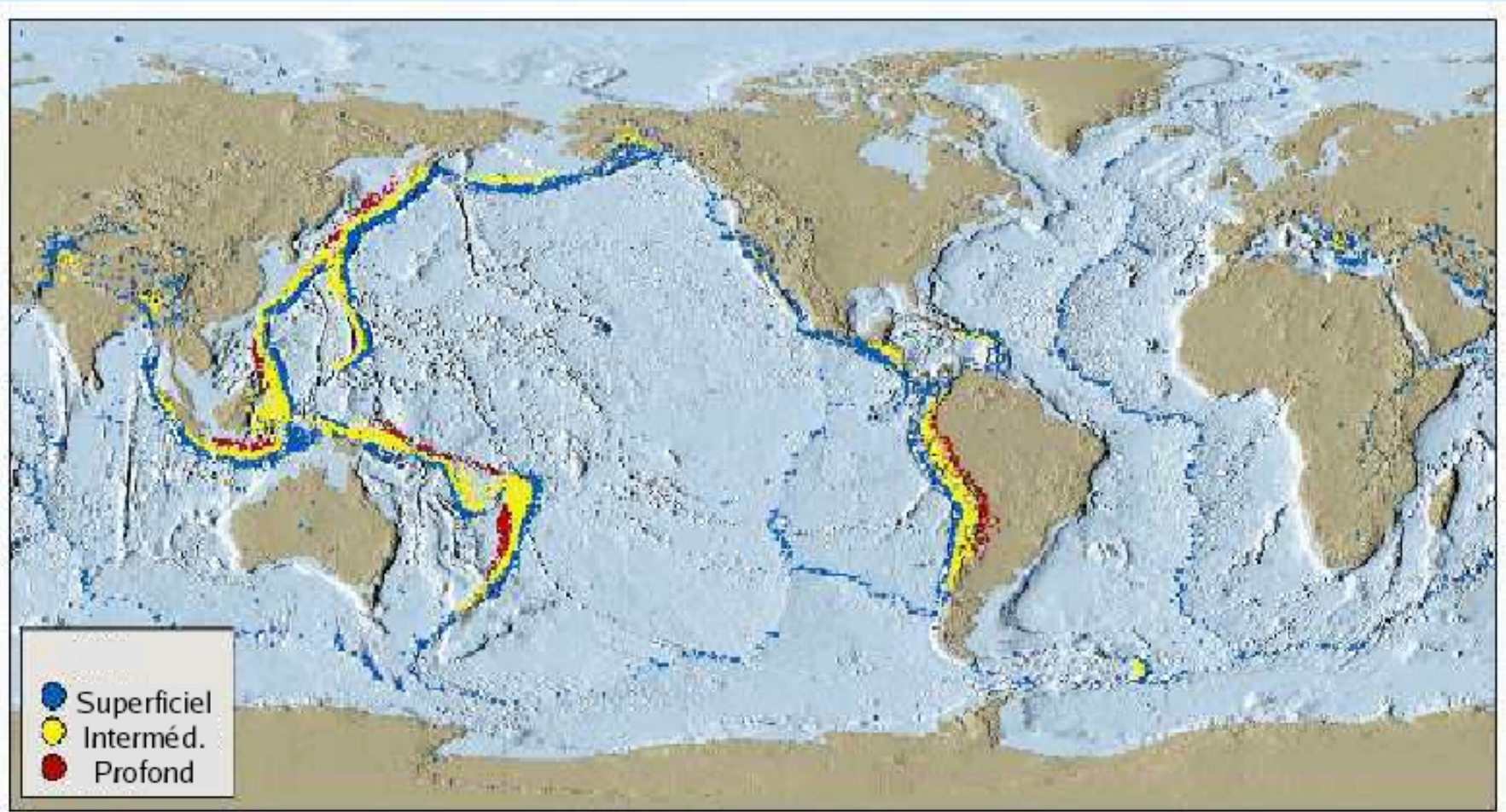


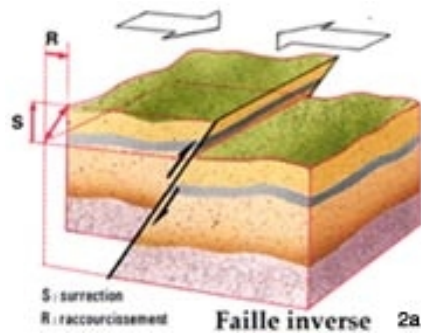
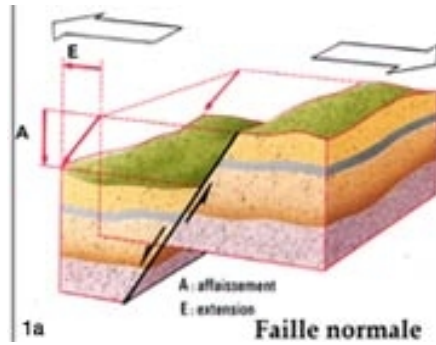
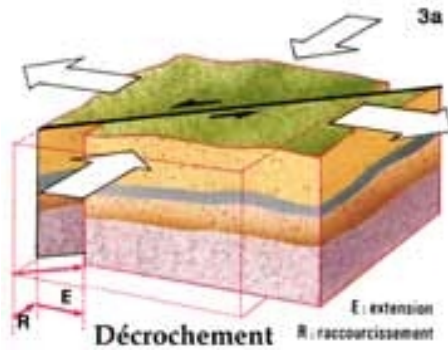
Sumatra-Andaman
26 Décembre 2004

2007

The 121 real records we work with in this experiment (#11).

Distribution des tremblements de Terre



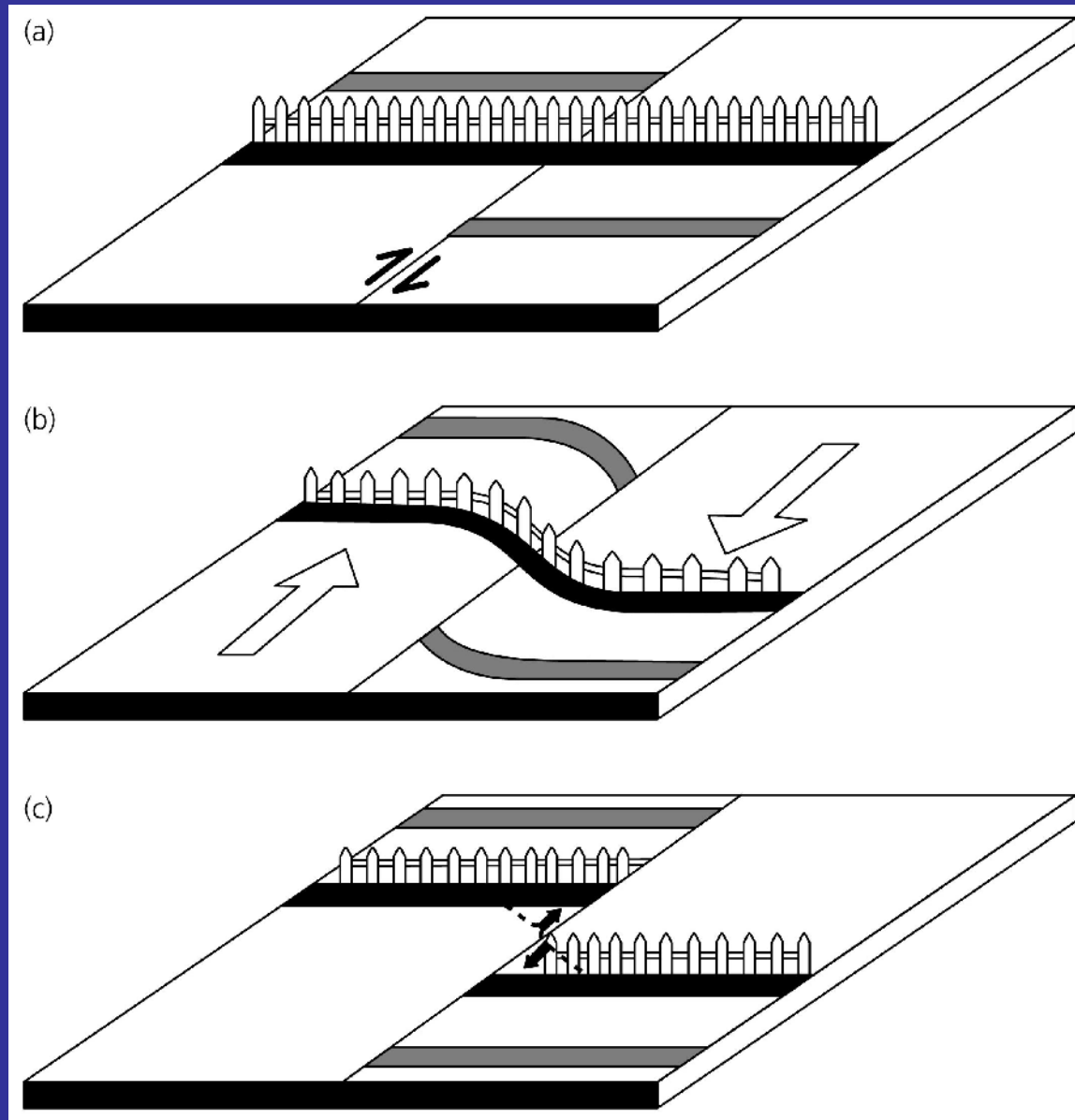


REBOND ELASTIQUE - MODELE DE CYCLE SISMIQUE

La matière de part et d'autre de la faille se déplace dans des directions opposées, mais la friction sur la faille la bloque et empêche le glissement

A un moment donné, la déformation accumulée devient supérieure à ce que les roches peuvent supporter et le tremblement de terre se produit

Le tremblement de terre reflète la déformation régionale



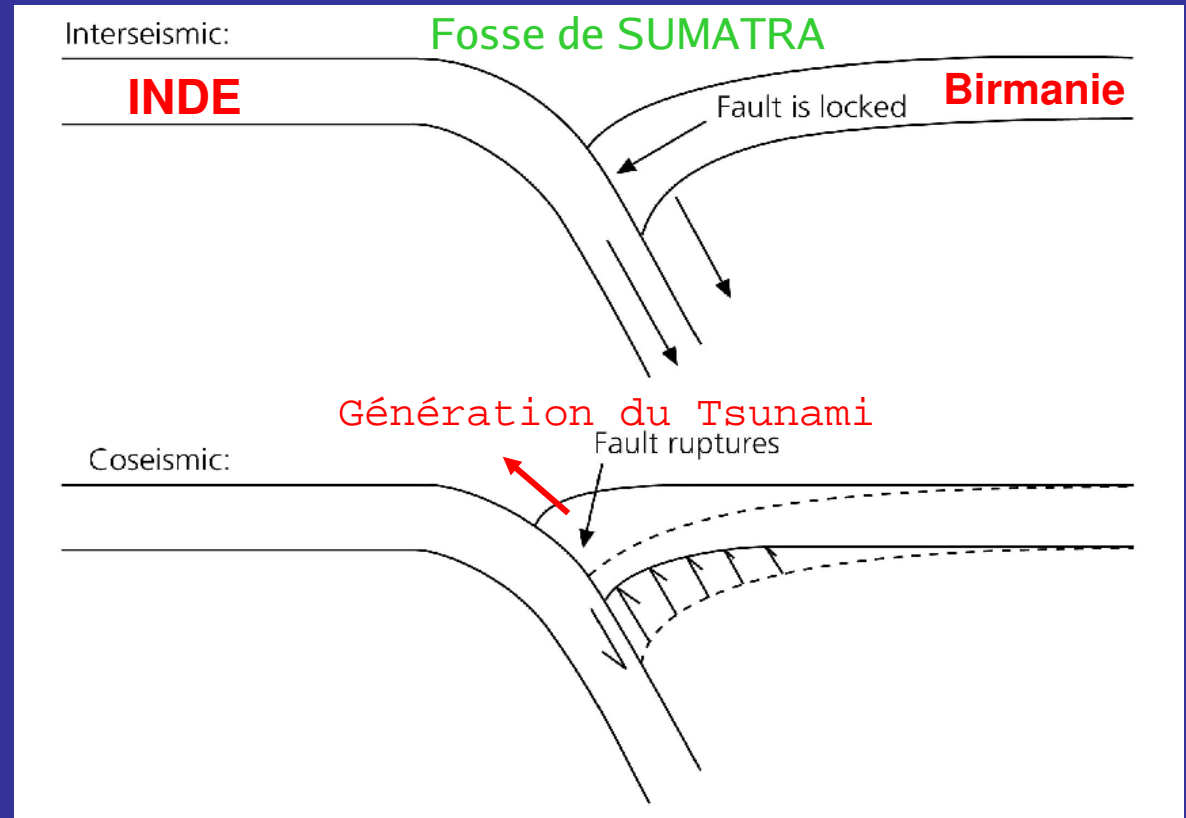
CYCLE SISMIQUE

INTERSISMIQUE:

L'Inde subducte sous la Birmanie à environ 20 mm/yr
L'interface de la faille est bloquée

Tremblement de Terre (COSISMIQUE):

L'interface de la faille glisse, la plaque du dessus rebondit, relachant le mouvement accumulé et engendre un tsunami



Stein & Wysession, 2003 4.5-14

TEMPS DE RÉCURRENCE:

Glissement sur la faille ~ 10 m --> $10000 \text{ mm} / 20 \text{ mm/yr} = 500 \text{ yr}$
Plus long si une partie du glissement est asismique

Failles pas exactement périodiques, du fait de la nature chaotique de la rupture

Applications de la sismologie

-Etude des séismes

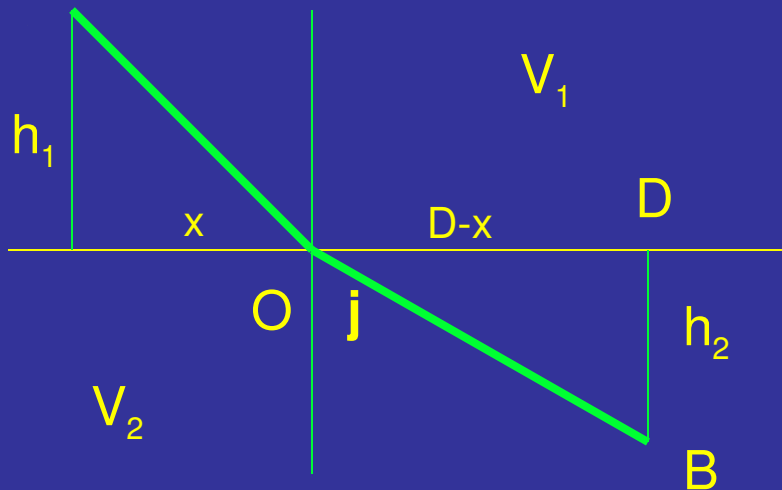
(mécanismes au foyer, histoire de la rupture)

-Etude de la structure

(structure radiale, structure tridimensionnelle:
tomographie)

Structure Radiale de la Terre

Principe de Fermat



Snell- Descartes

$$\frac{\sin i}{V_1} = \frac{\sin j}{V_2}$$

Réfraction critique

(si $V_2 > V_1$)

$$\sin i_c = V_1/V_2$$

Complexité: 2 types d'onde P, S

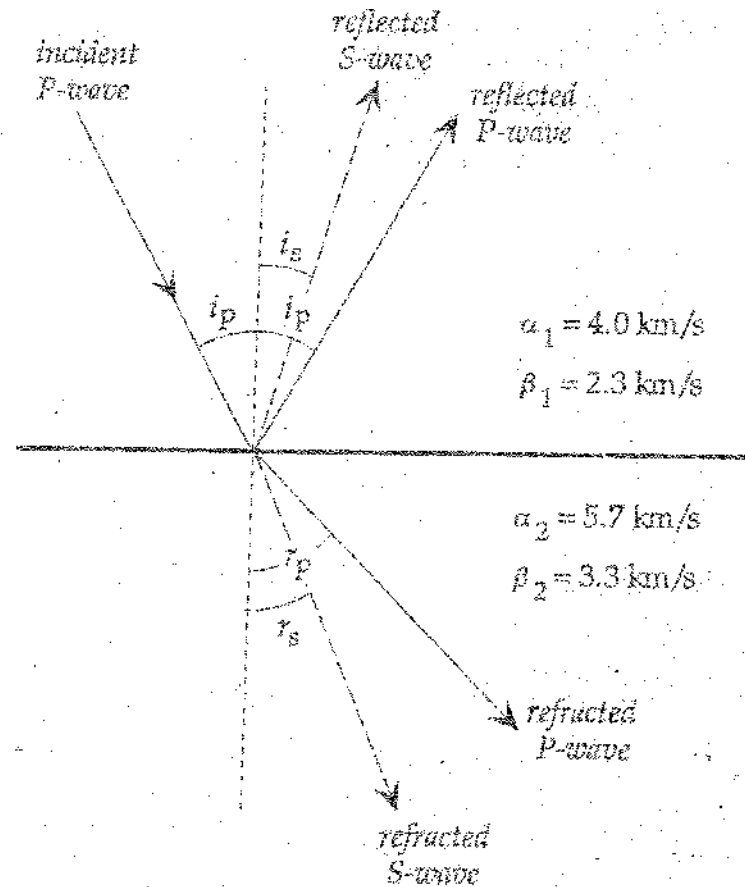
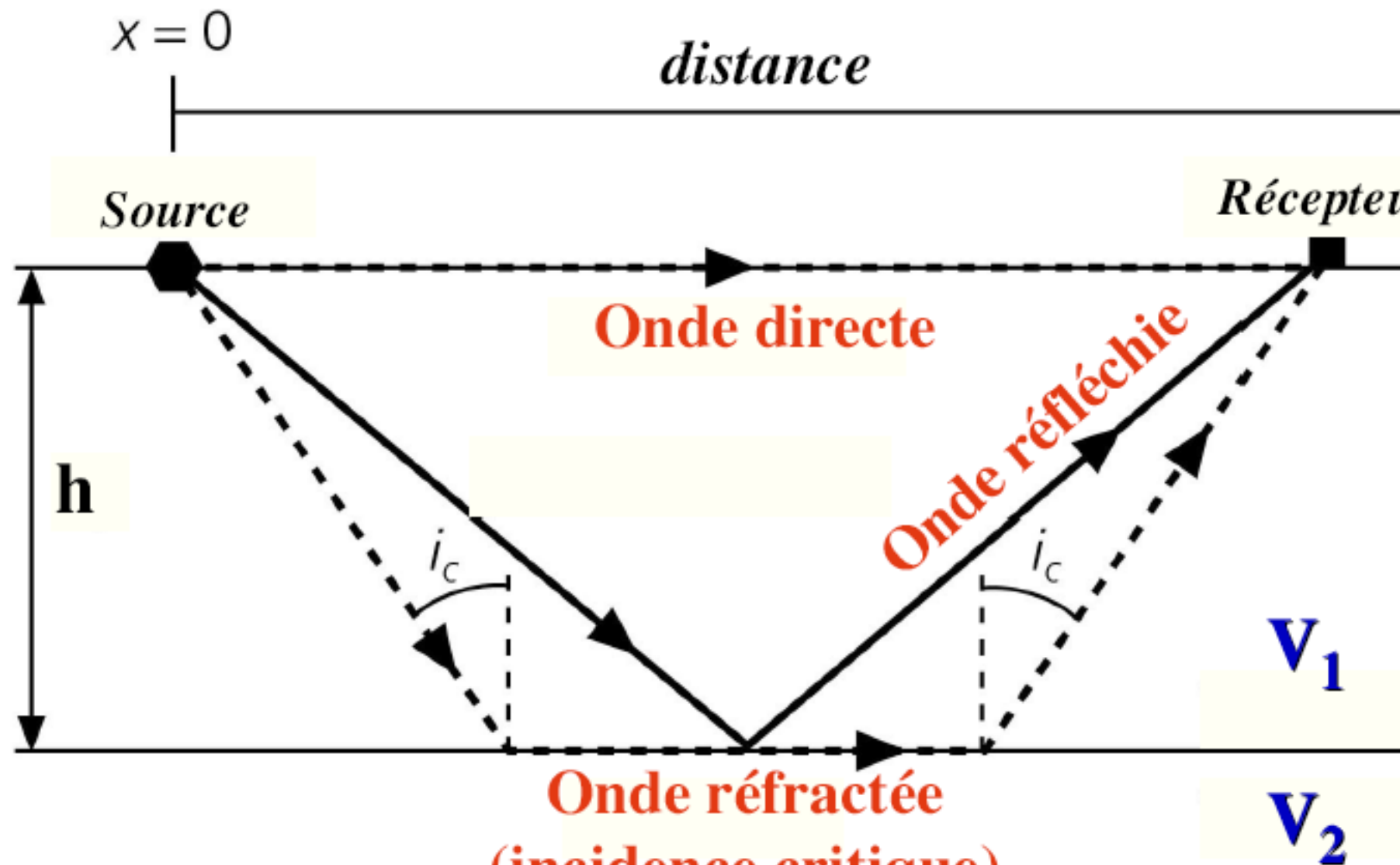
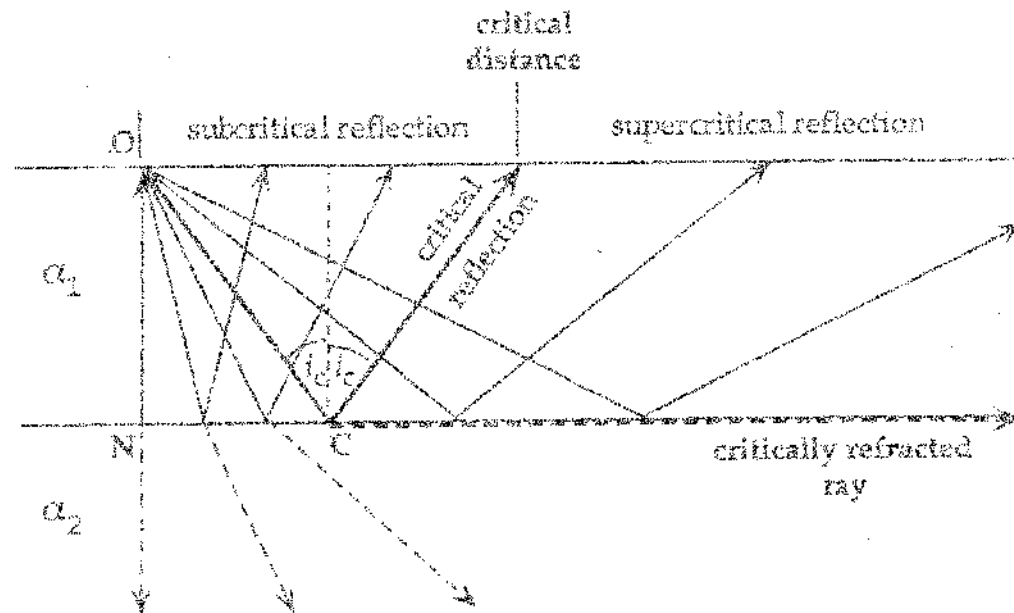


Fig. 3.54 The generation of reflected and refracted P- and S-wave from a P-wave incident on a plane interface.

Temps de trajet des ondes



Réfraction critique

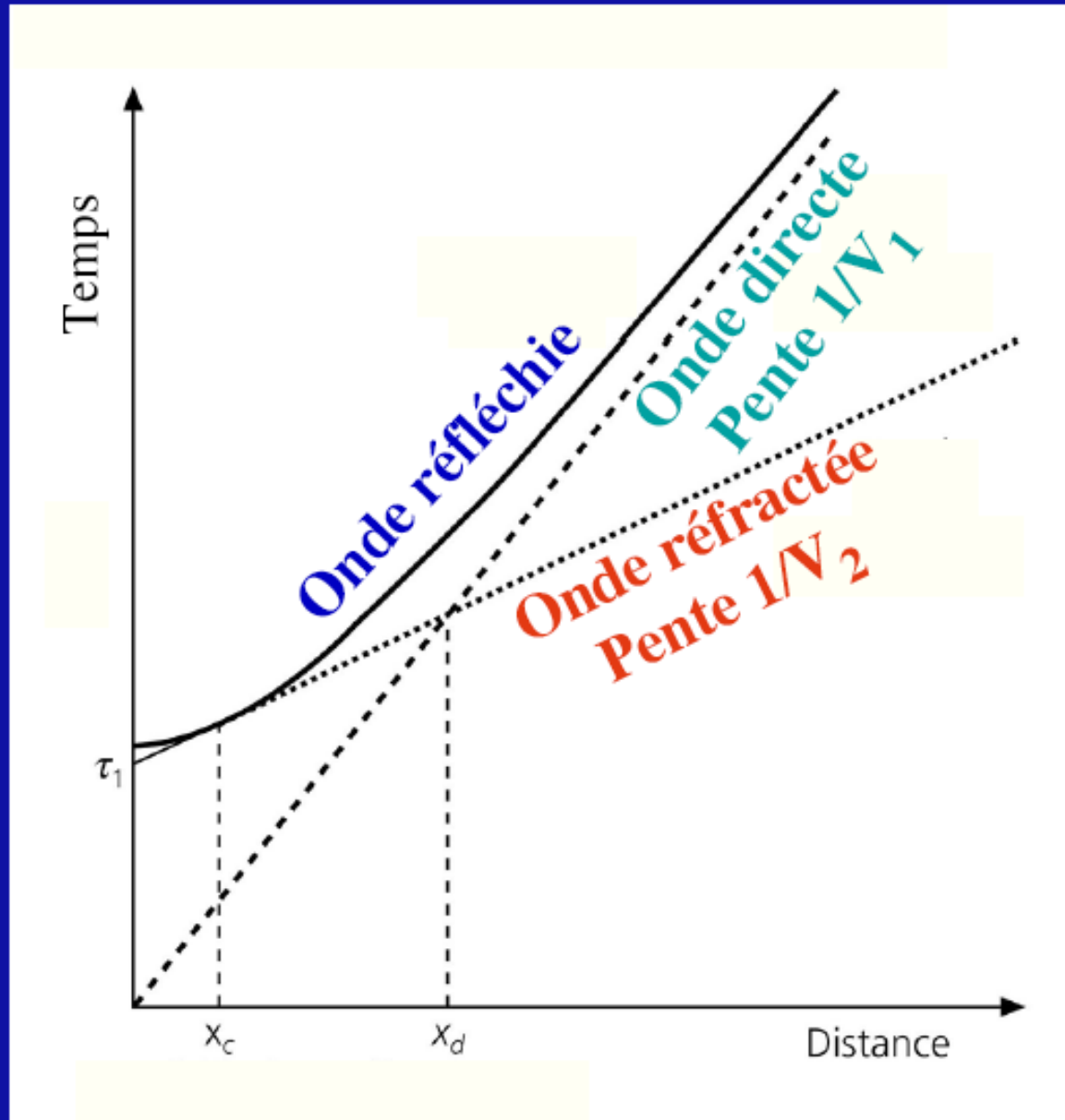


Application à l'étude de la croûte (sismique réfraction)

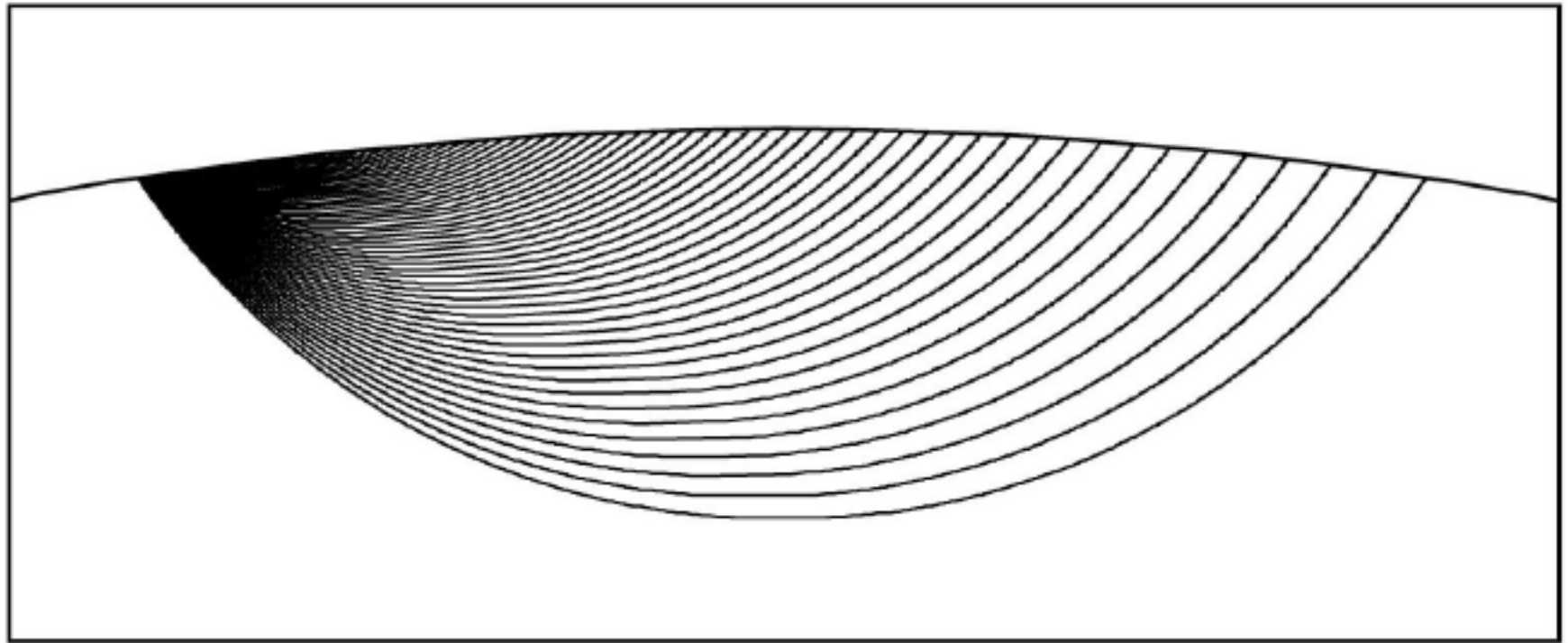
Généralisation à un ensemble de couches

Relation entre temps de trajet et distance

Hodochrones



Trajet des rais sismiques dans la terre sphérique (gradient de vitesse)



Distance (Δ)

Hodochrones $T = f(\Delta)$

Cas sphérique

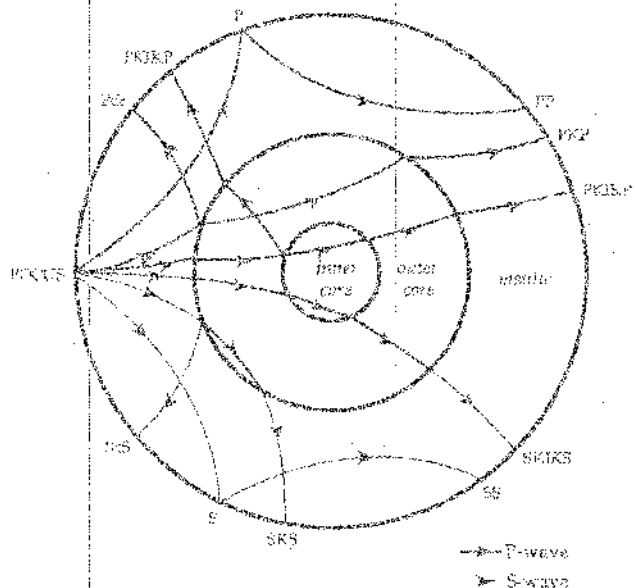


Fig. 3.70 Seismic wave paths of some important refracted and reflected P-wave and S-wave phases from an earthquake with focus at the North's surface

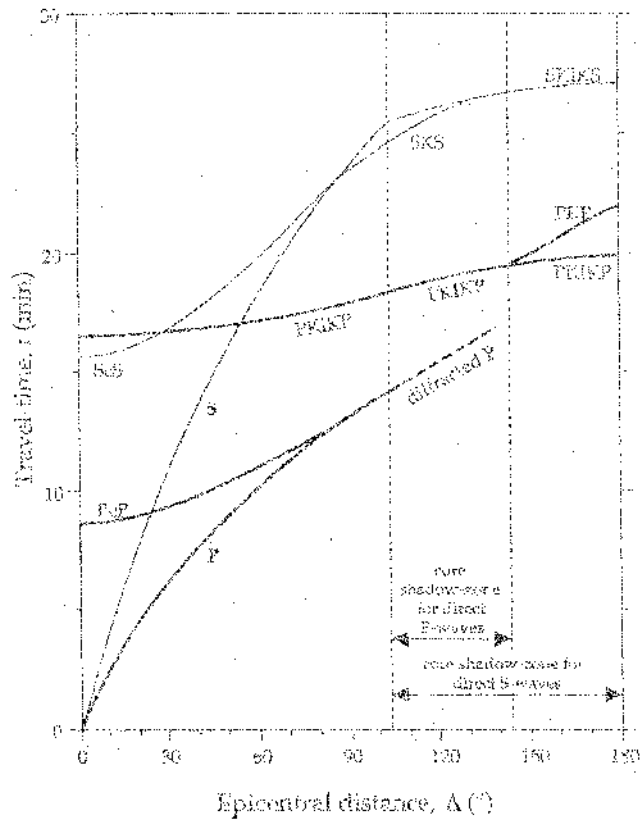
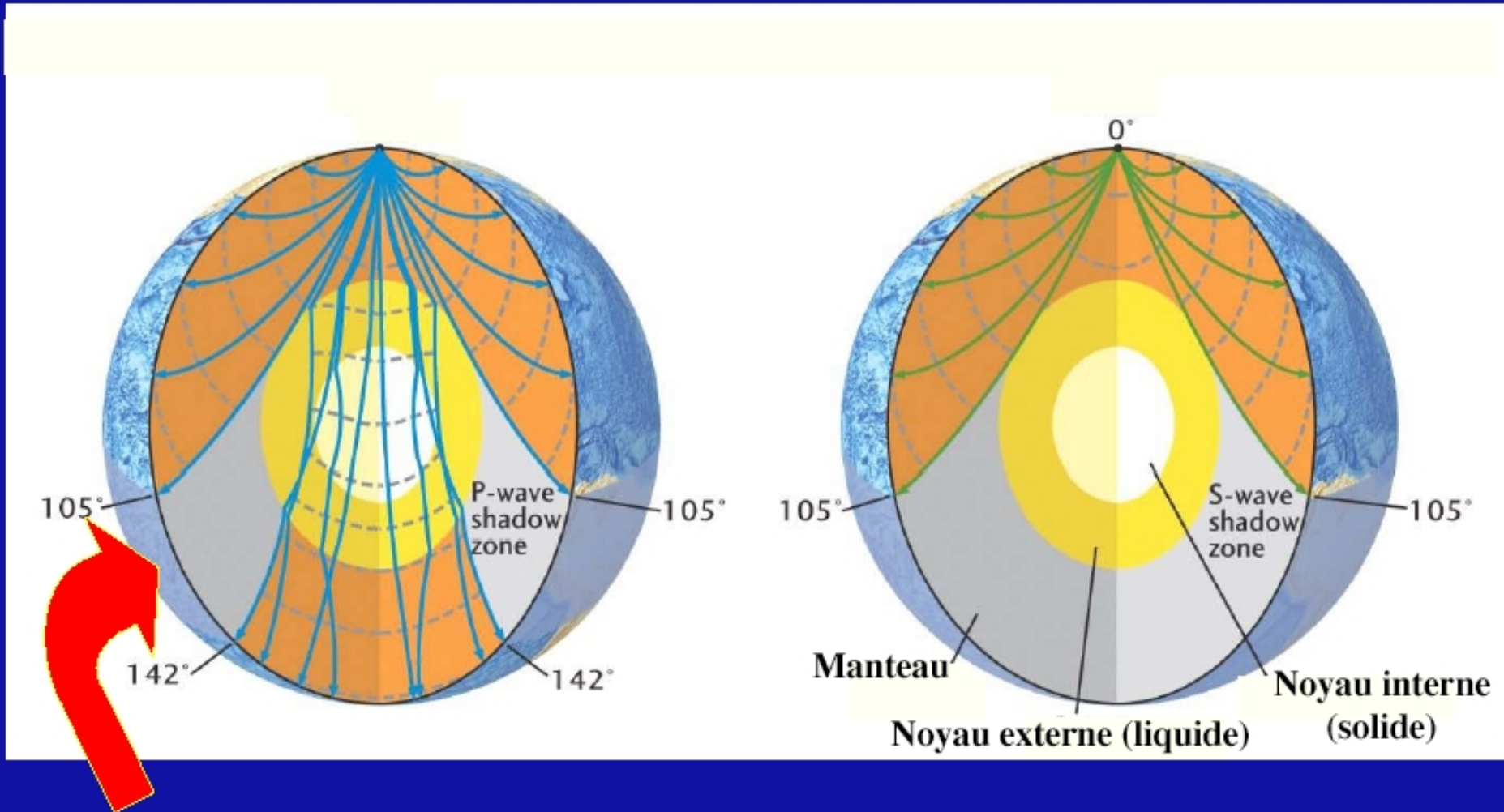


Fig. 3.71 Travel-time vs Δ curves for some important seismic phases (modified from Jeffreys and Bullen, 1940).

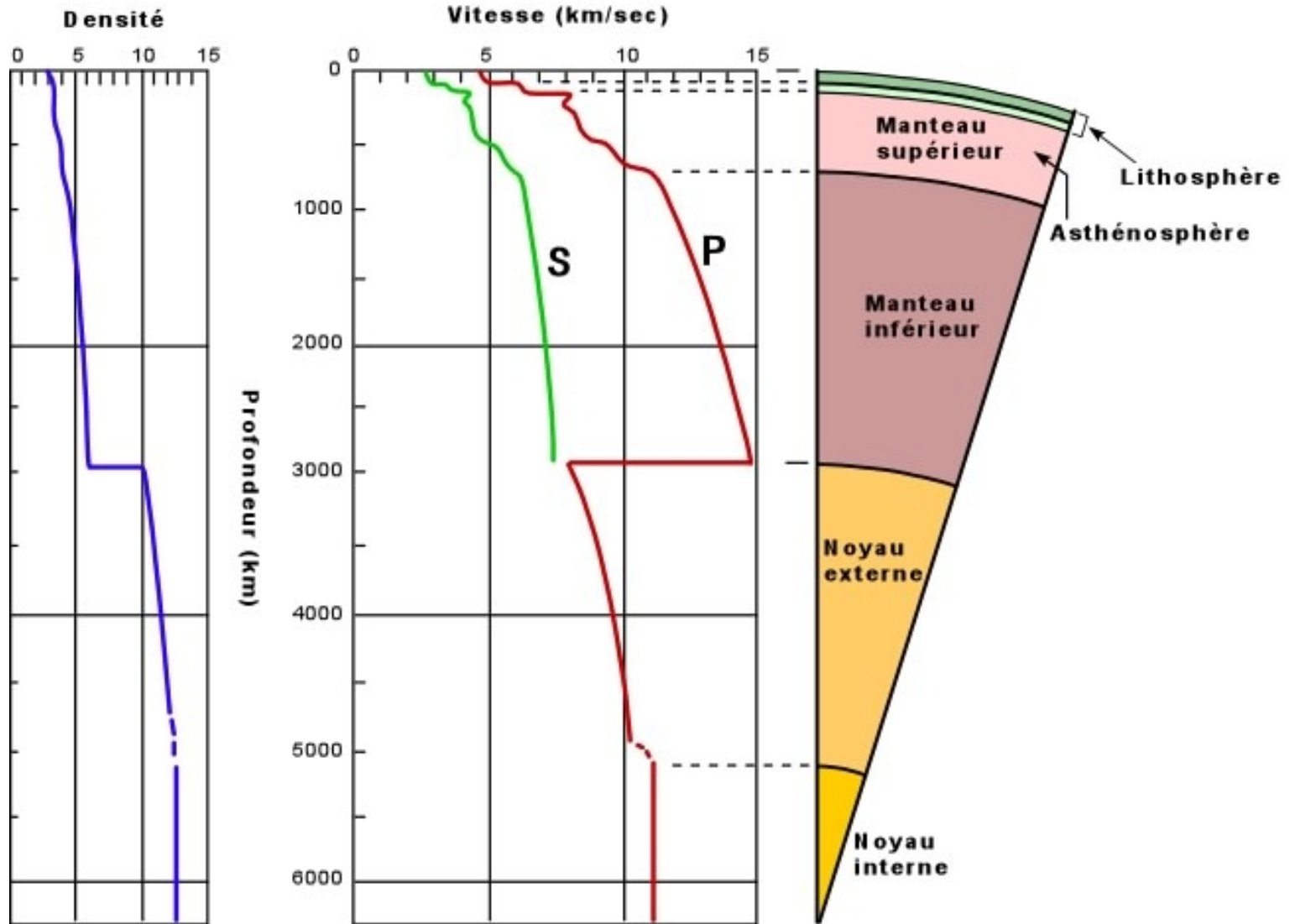
Les “zones d’ombre” de la Terre : détection du noyau terrestre

Ondes P

Ondes S



Zone d’ombre :
pas d’ondes sismiques



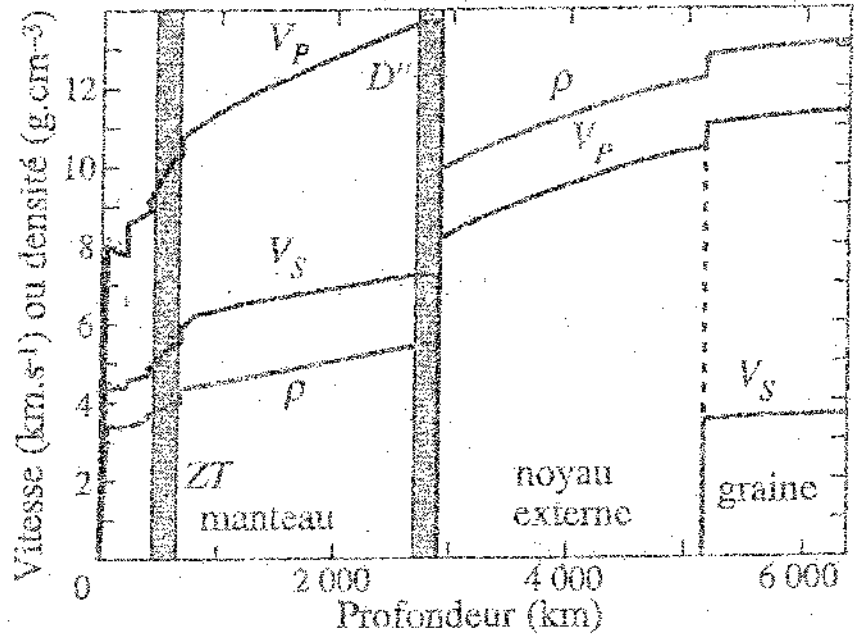


Table 3.A Comparison of Earth's internal divisions according to Model A (Bullen, 1942) and PREM (Dziewonowski and Anderson, 1981)

Model A		PREM	
Region (km)	Layer	Depth range (km)	Comments
A (0-33)	crust:		lithosphere 0-80 km
	upper	0-15	
	lower	15-24	
B (33-410)	upper mantle:		
	uppermost mantle	24-80	
	low-velocity layer	80-200	asthenosphere
	transition zone	200-400	
C (410-5100)	upper mantle:		
	transition zones	400-670	
		670-770	
D (1900-2890)	lower mantle:		
	layer D ^I	770-2740	
	layer D ^{II}	2740-2890	
E (2890-5150)	outer core	2890-5150	
F (4980-5120)	transition layer		
G (5120-6370)	inner core	5150-6370	

MOHO

(400)

MANTEAU SUP

(670)

MANTEAU INF

2890

NOYAU LIQUIDE

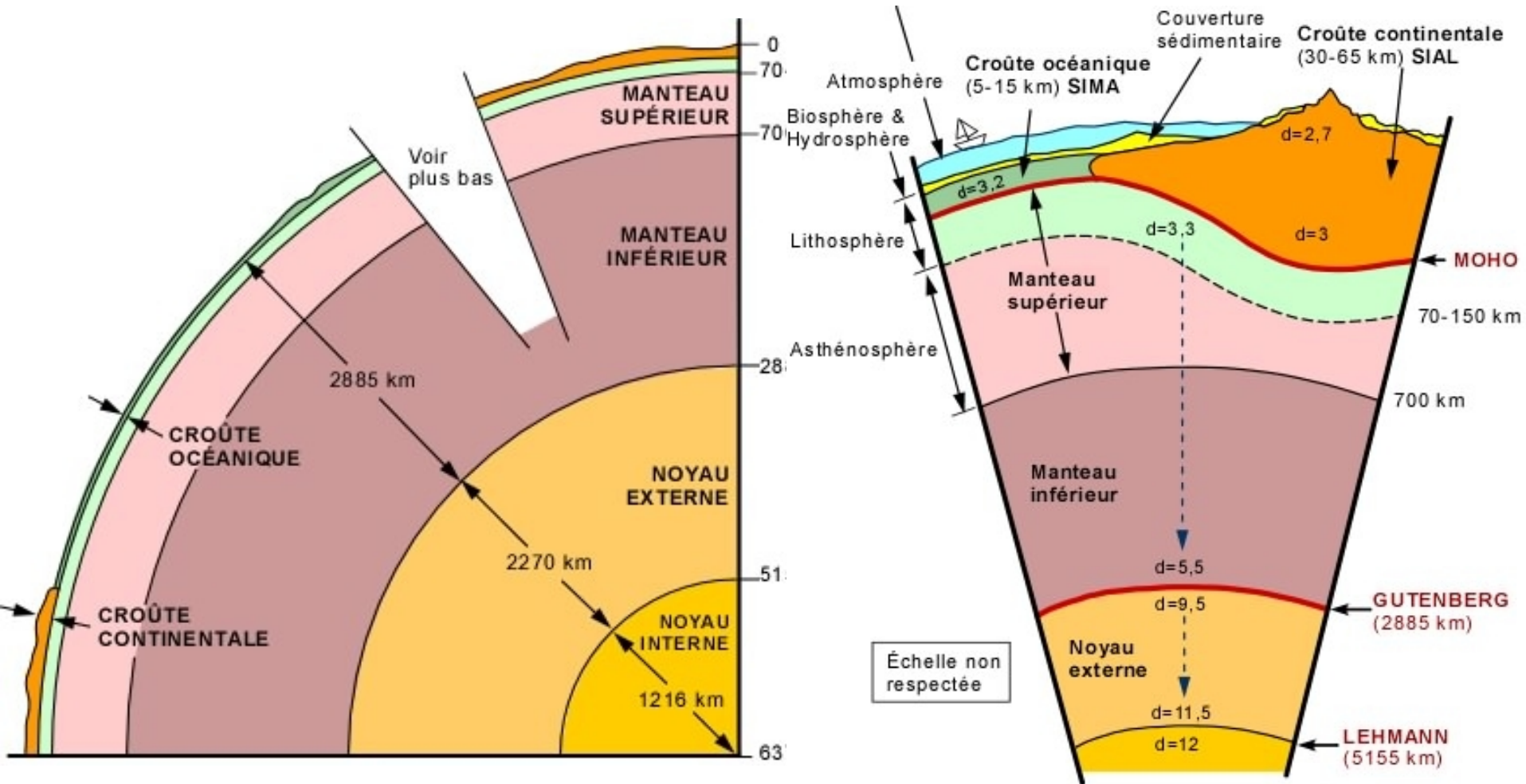
5150

GRAINE

6370

(6370) 2

Structure radiale de la terre



Tomographie sismique

Tomographie sismique

Variations latérales de vitesse

(beaucoup plus faibles que les variations radiales)



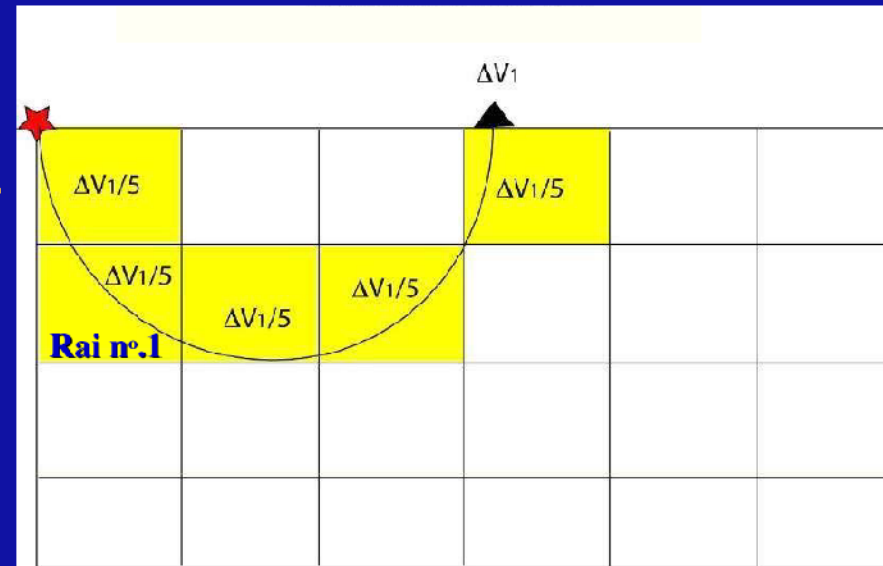
Le temps de trajet varie de Δt par rapport à la moyenne.
La vitesse varie de ΔV par rapport à la moyenne.

$\Delta V > 0$ pour $\Delta T < 0$ (zones froides)

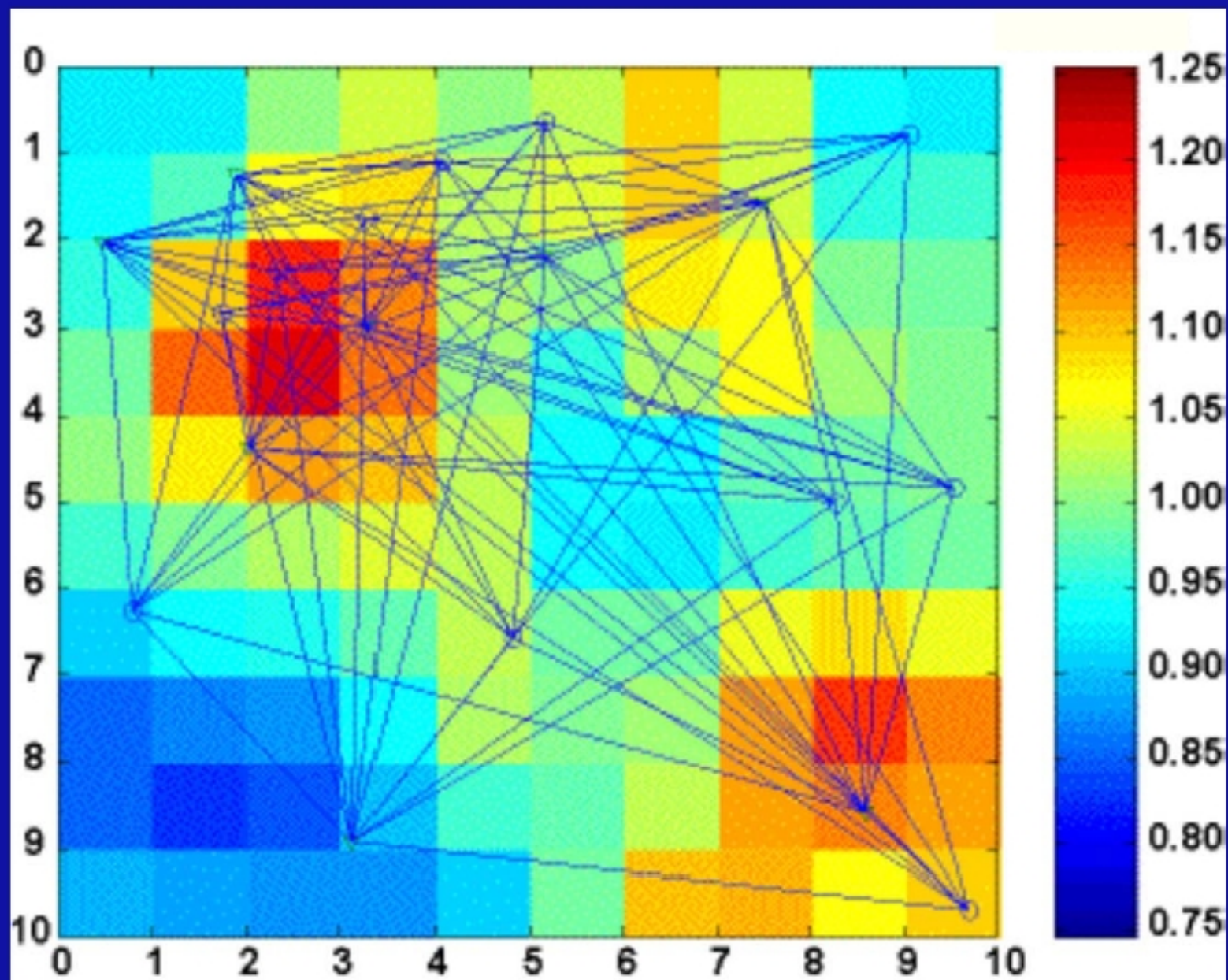
$\Delta V < 0$ pour $\Delta T > 0$ (zones chaudes)

Principe : on découpe la Terre en blocs.

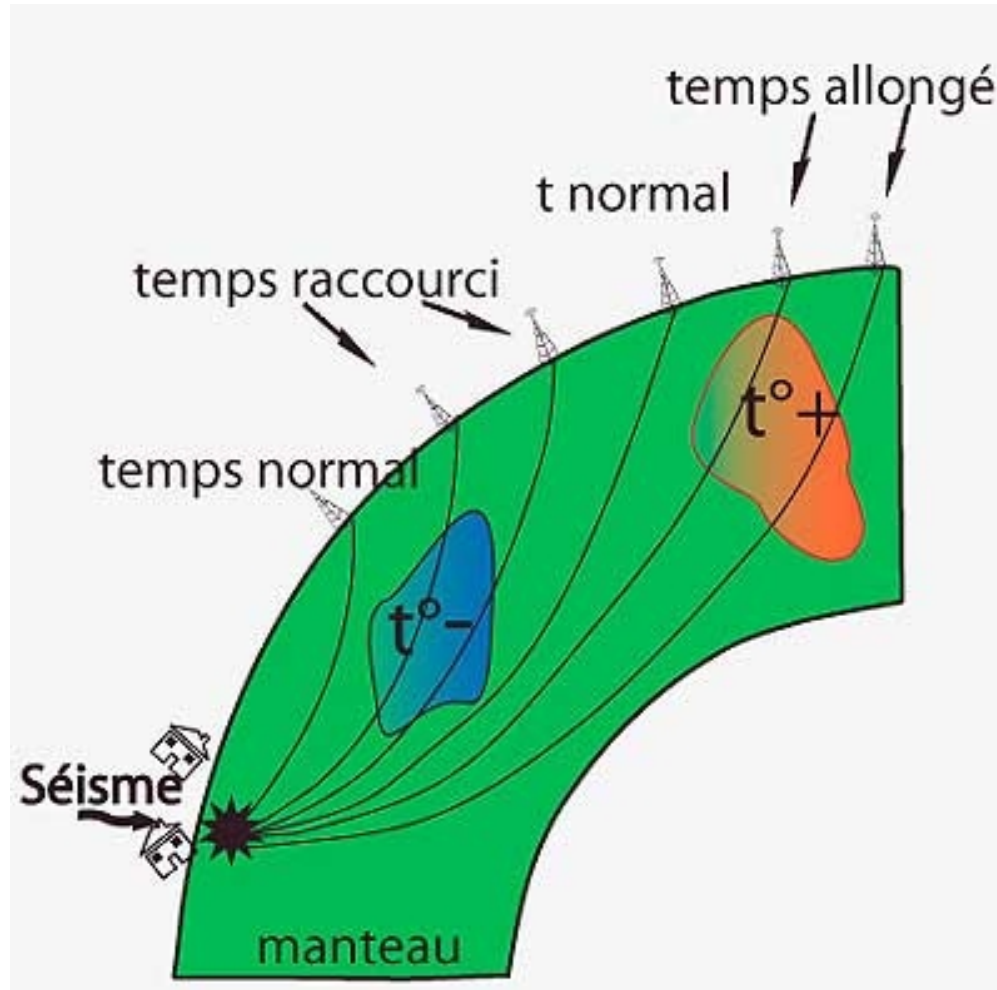
Pour le rai n°.1, l'anomalie de vitesse est distribuée sur 5 blocs (exemple)



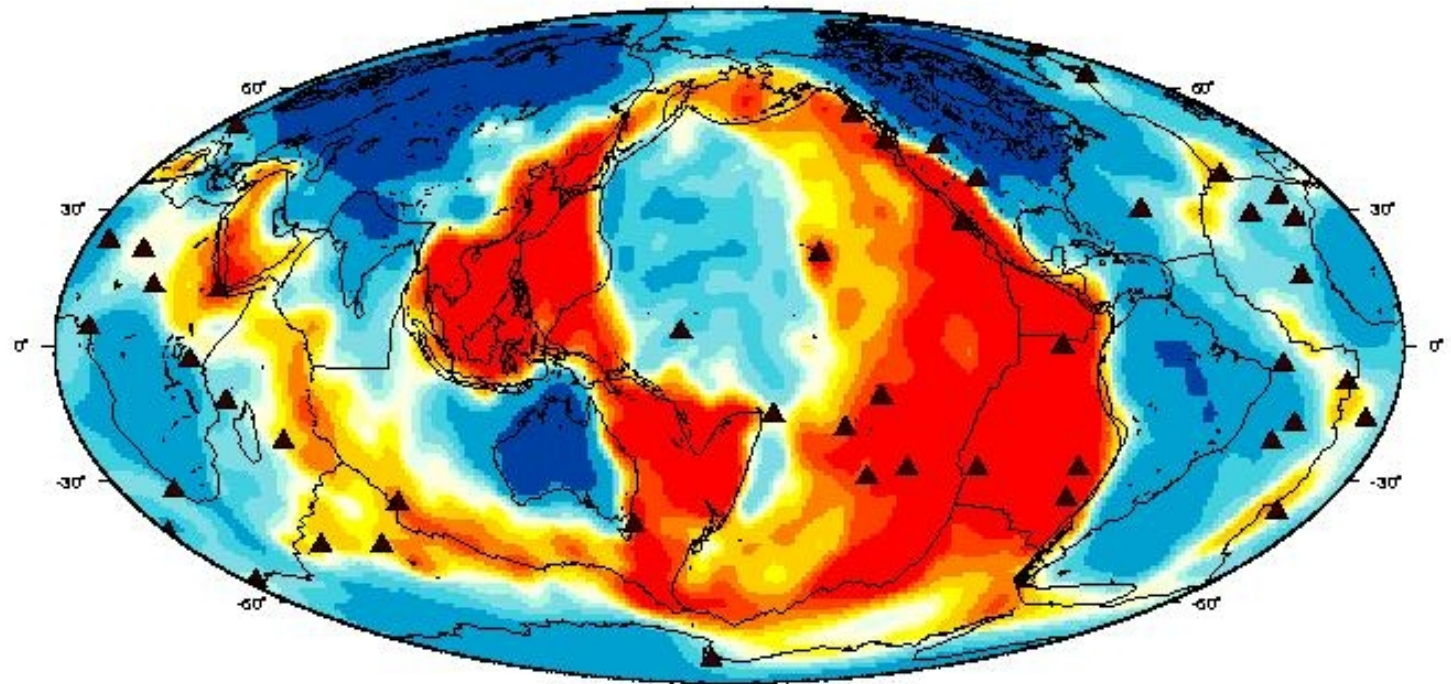
Recouvrements (à 2-D)



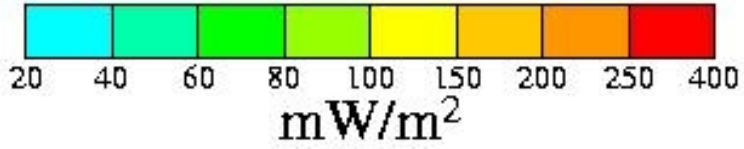
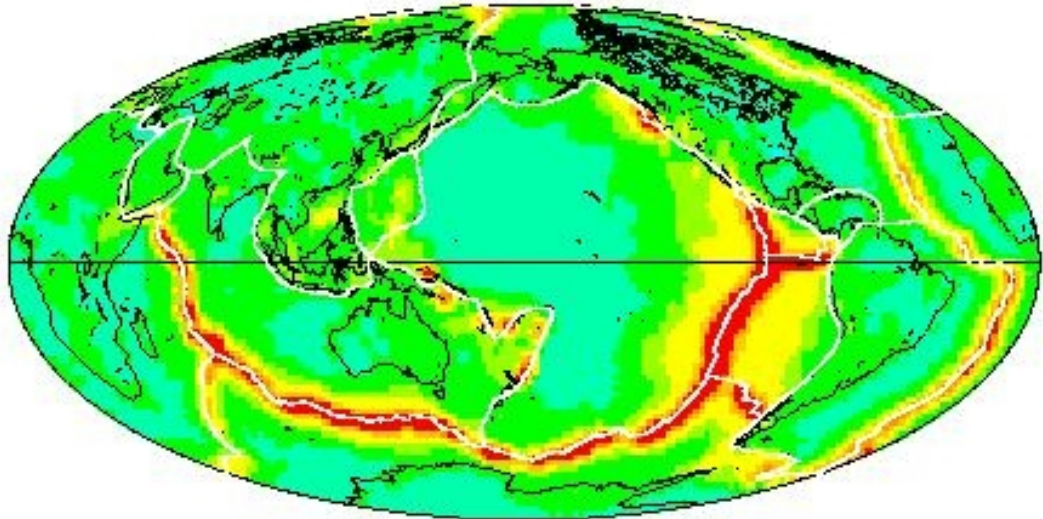
Principe de la Tomographie

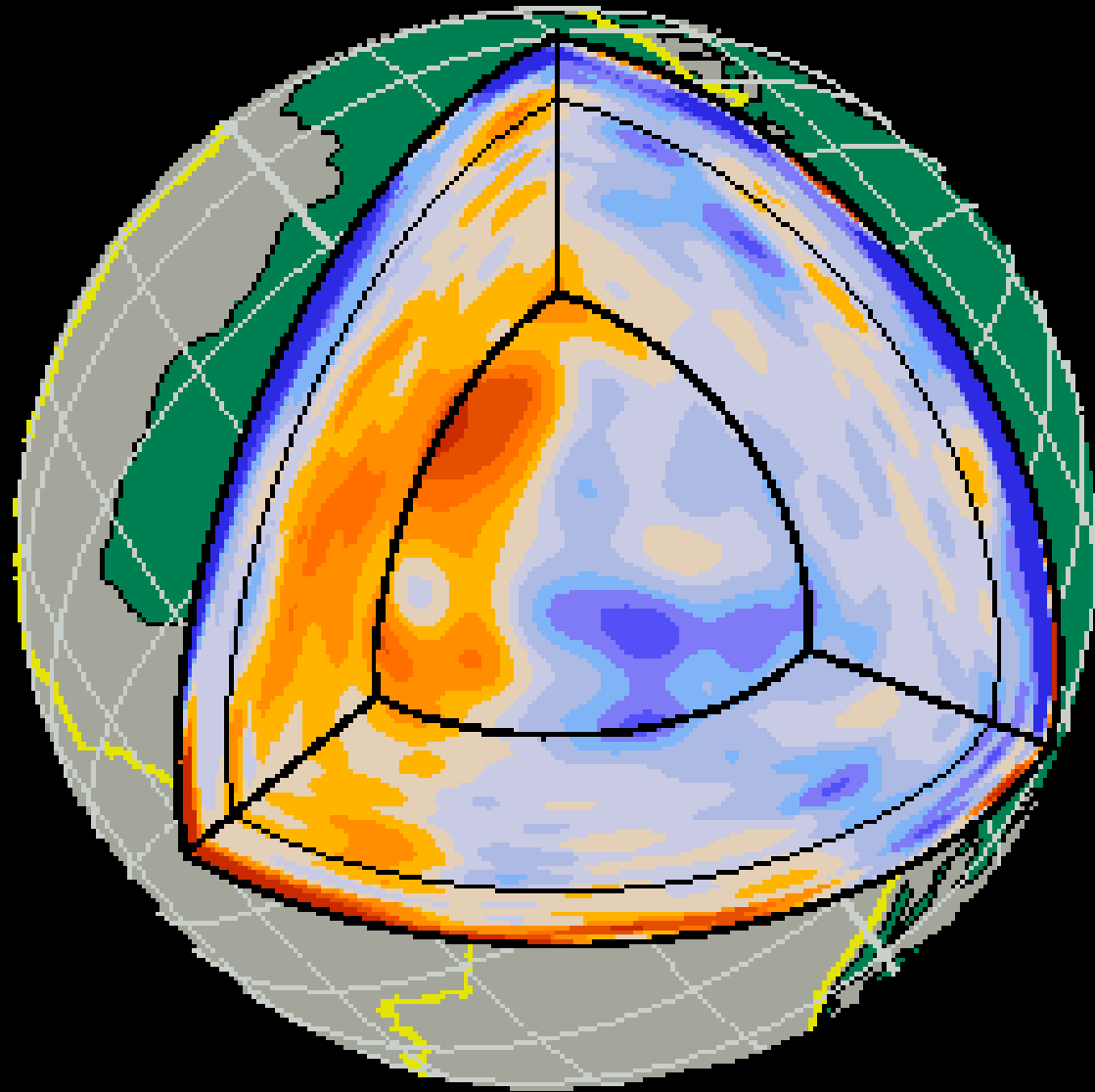


Anomalies de Vitesses d'ondes S - Profondeur=100 km



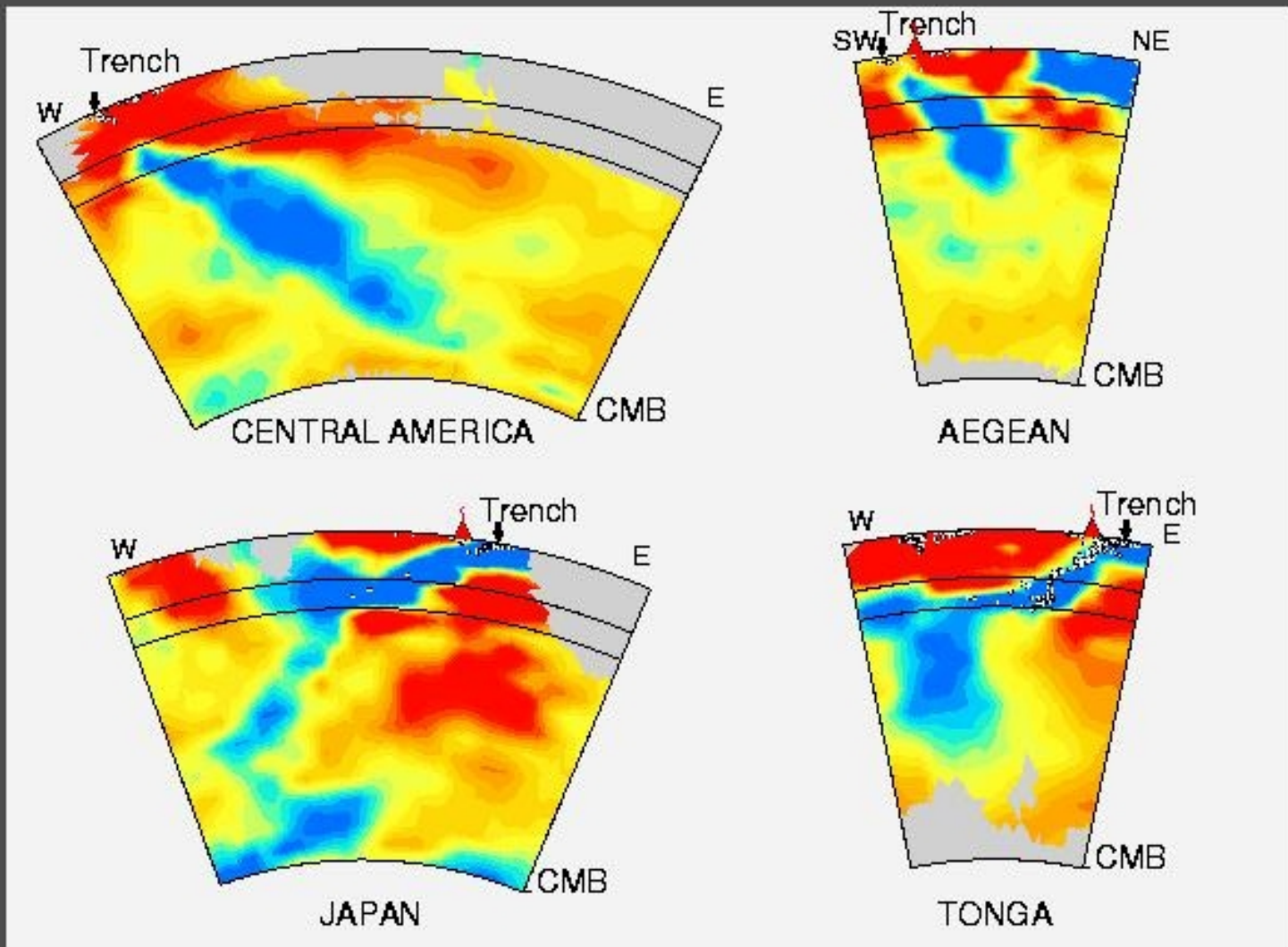
Flux de chaleur





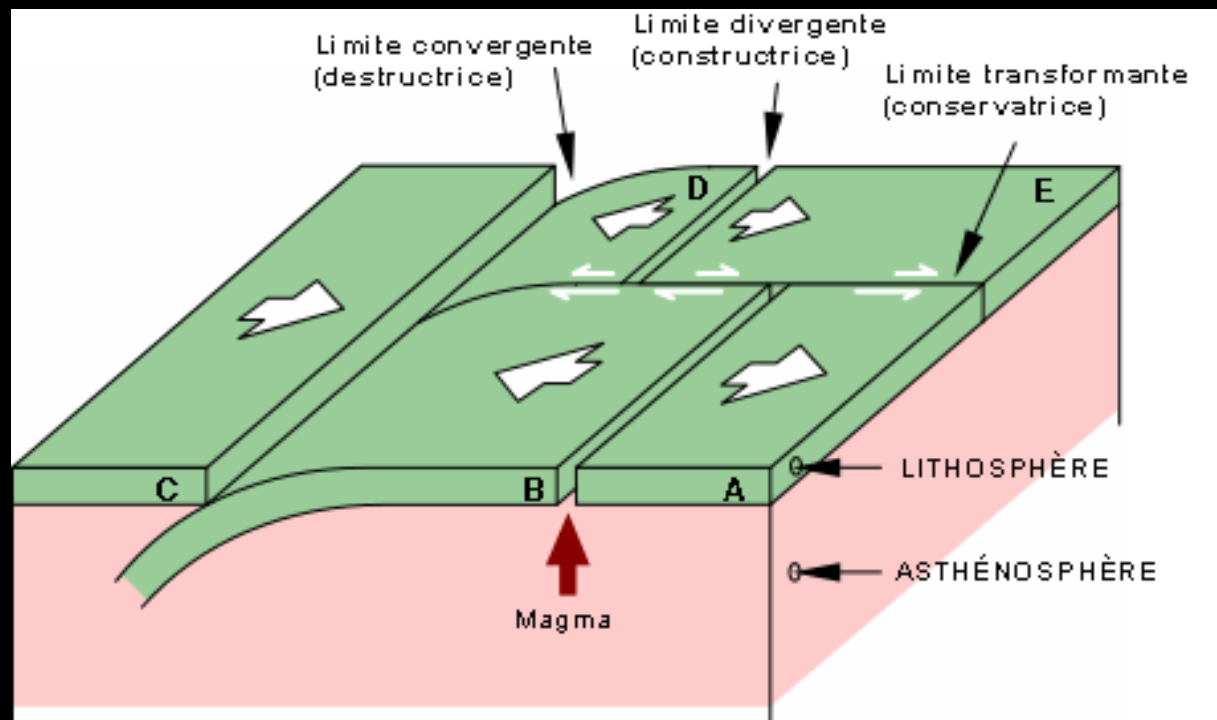
Trench: Fosse

CMB: Frontiere Manteau - Noyau



Van der Hilst et al., 1997

CONCEPT de LITHOSPHERE



Lithosphère Mécanique: À partir de la flexion des plaques

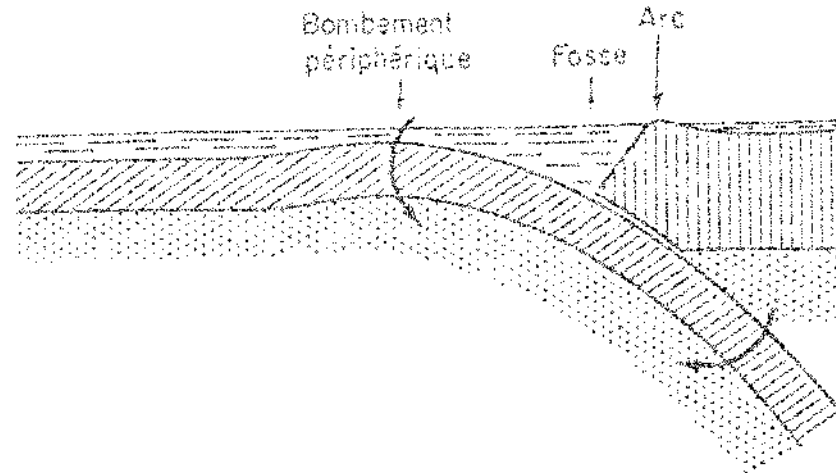


FIG. — Schéma du pliage d'une plaque de lithosphère dans une zone de subduction.

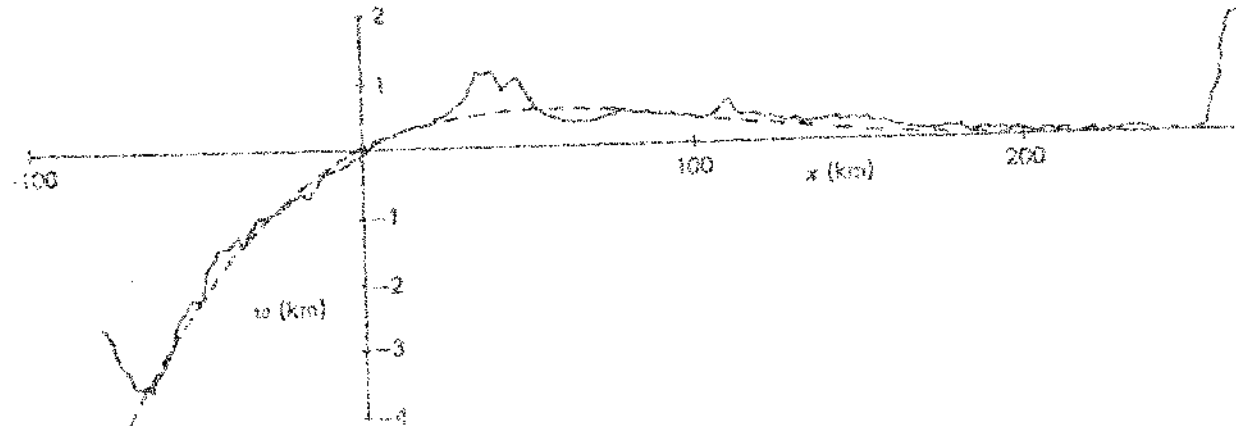


Figure Comparison of a bathymetric profile across the Mariana Trench (solid line) with the universal lithospheric deflection profile given by Equation (3-159) (dashed line); $x_0 = 55$ km and $w_0 = 0.5$ km.

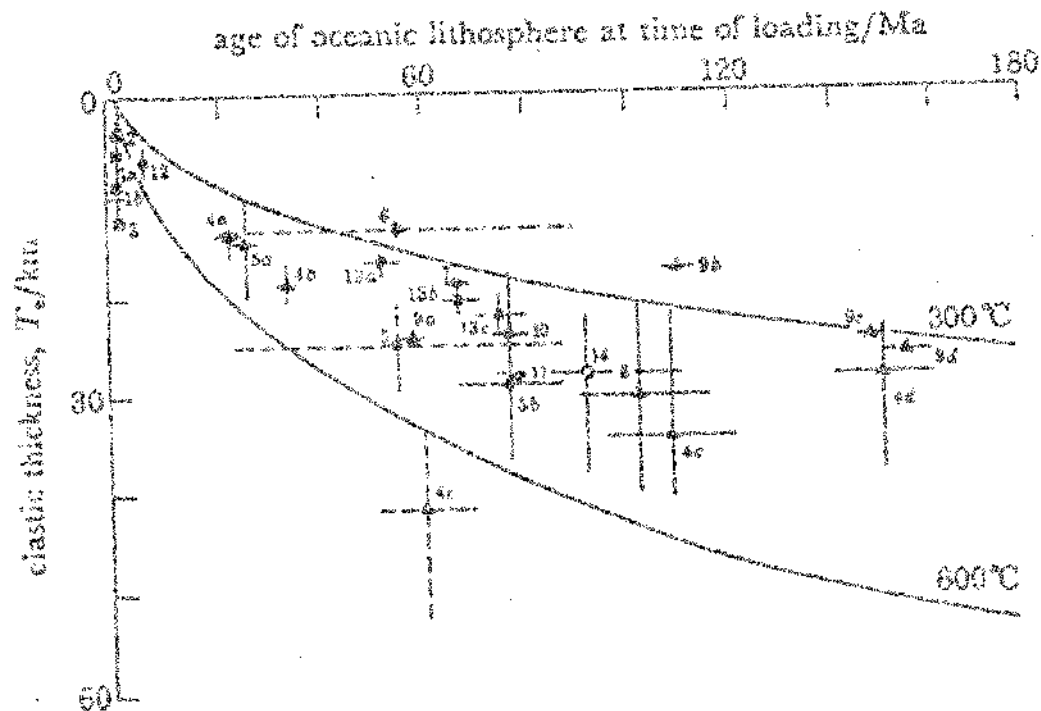


FIGURE 10. Plot of elastic thickness, T_e , against age of the oceanic lithosphere at the time of loading. The sources of the data are summarized in table 1. The broken lines indicate estimates that either represent broad regions rather than an individual geological feature (5, 6) or are considered unreliable (4c). The solid lines are the 300 and 600 °C oceanic isotherms based on a cooling plate model.

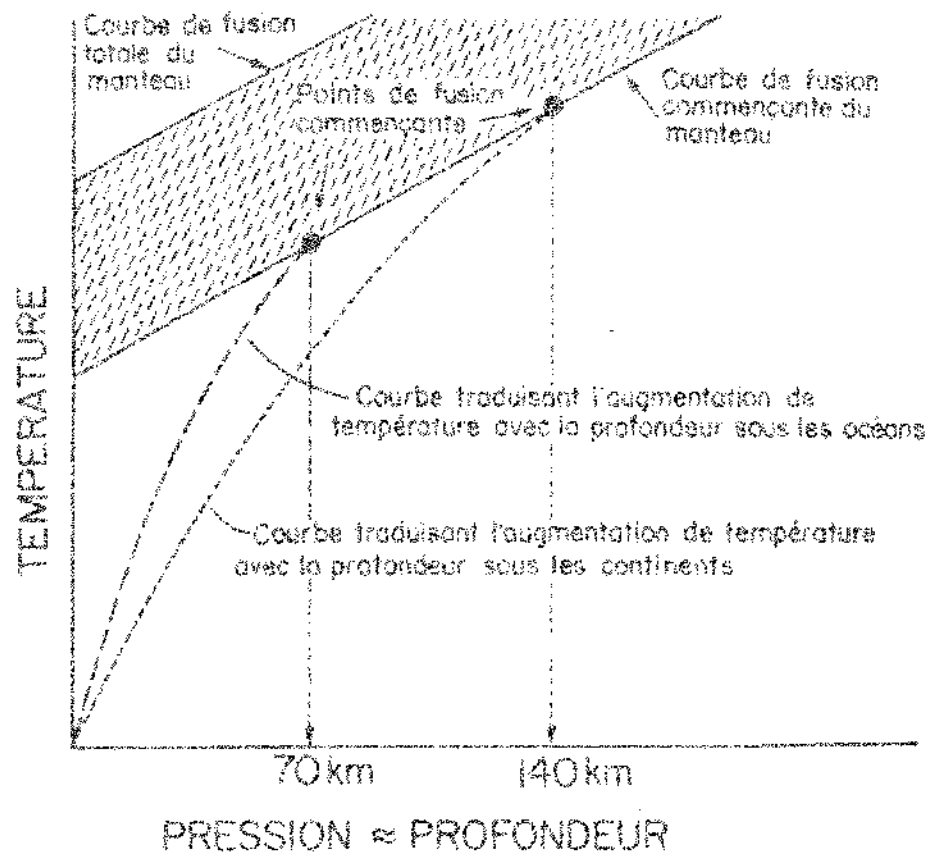
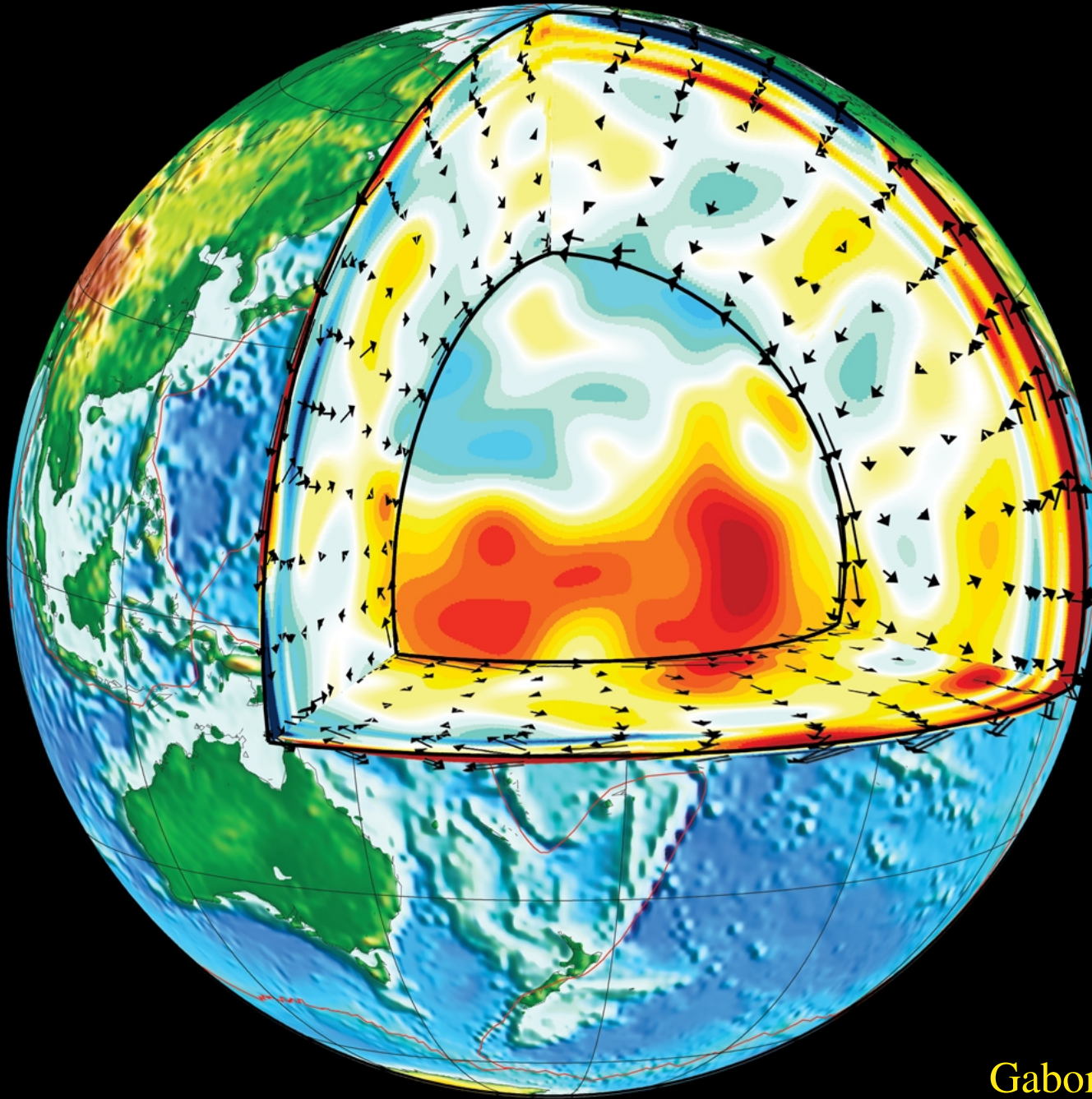


Fig. 113 — Dans le graphique température-pression (c'est-à-dire profondeur) sont représentés d'une part les courbes traduisant l'augmentation de température sous les continents et sous les océans. Les courbes sont appelées *géothermes* d'autre part les droites de fusion commençante et de fusion totale des péridotites. Les points d'intersection entre ces deux types de courbe permettent de *prévoir* la profondeur où a lieu la fusion commençante du manteau.

(Allège)

Concept de lithosphère

- Lithosphère mécanique
- Lithosphère sismique
- Lithosphère thermique
- Lithosphère magnétique

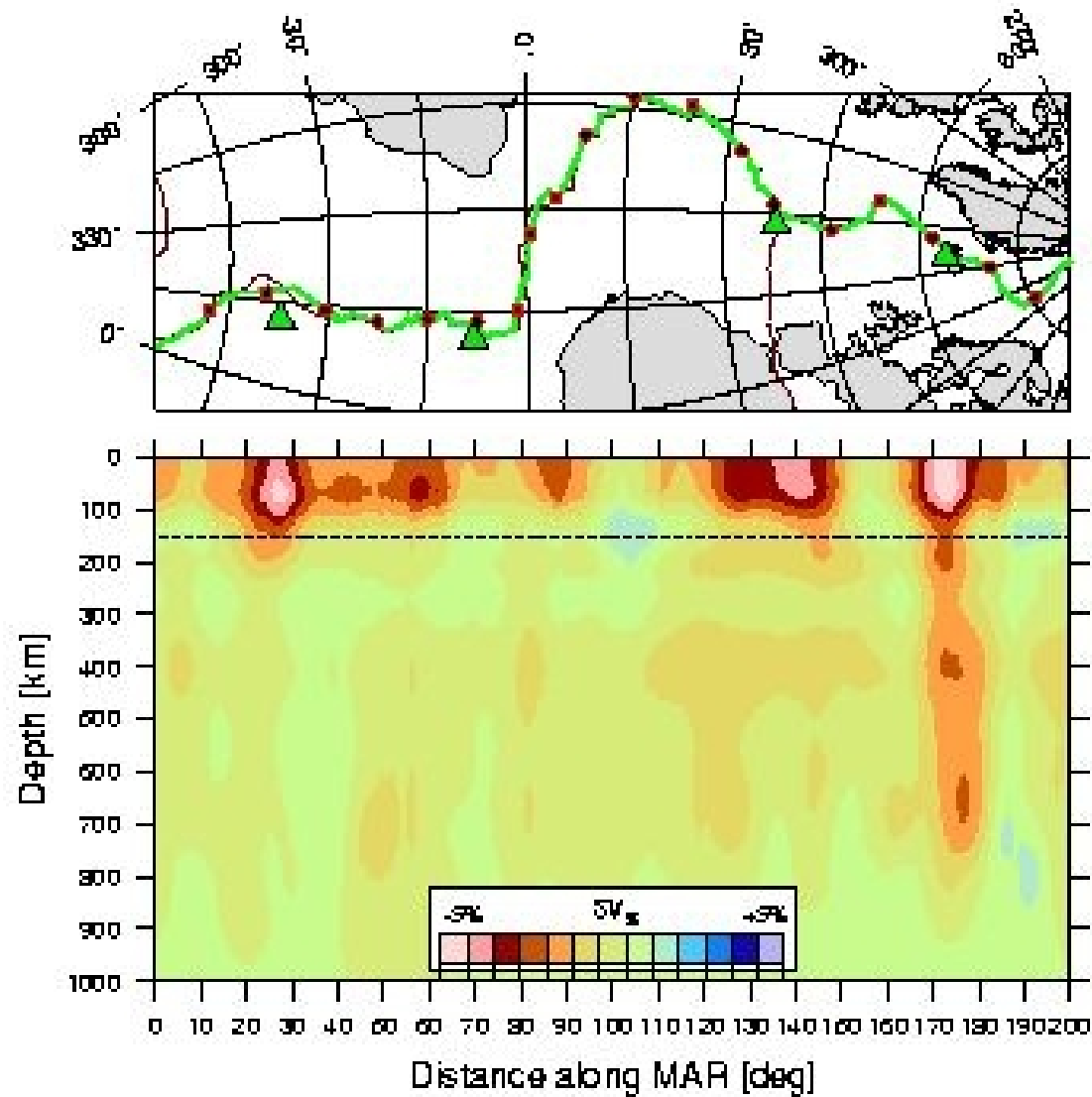


Gaboret et al., 2003

Conclusions

- Terre: planète active en perpétuelle évolution
- Nouveaux défis:
 - ✓ Instrumentaux:
stations fond de mer, stations sur la Planète Mars
 - ✓ Lien tectonique des plaques - convection mantellique
 - ✓ Lithosphère, racines continentales, plaques plongeantes, panches mantelliques-points chauds

PANACHES MANTELLIQUES



Montagner and Ritsema, 2001

ONDES SISMIQUES

ONDES DE
COMPRESSION (P)

Et de
CISAILLEMENT (S)

Ondes P
longitudinales

Ondes S
transversales

Ondes P se
propagent plus vite

Ondes S d'un
séisme en général
plus fortes

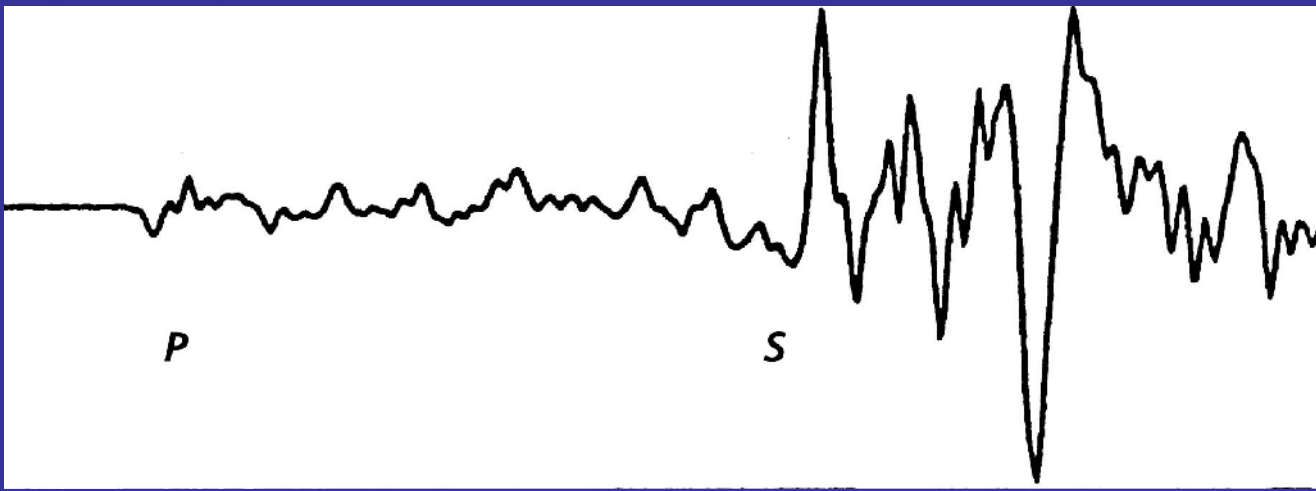
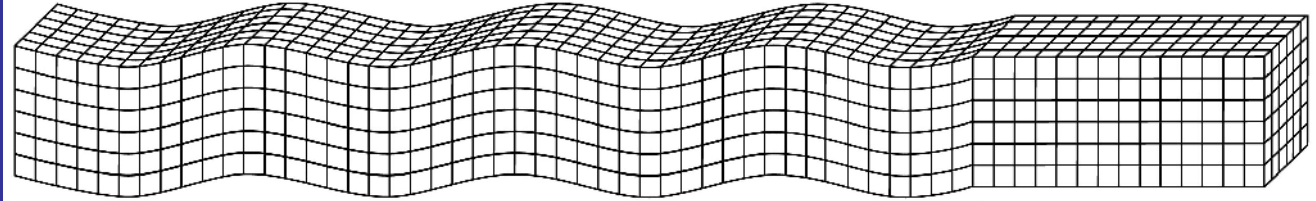


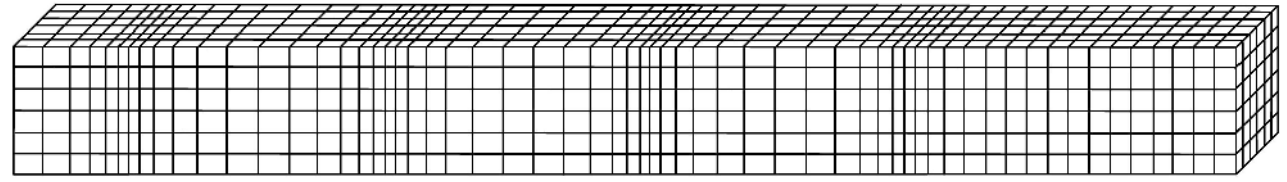
Figure 2.4-3: Displacements for P and S waves.

S waves: ground motion is perpendicular to wave direction



Direction of wave propagation

Onset of waves



P waves: ground motion is parallel to wave direction