

**CE DOCUMENT EST DESTINÉ AUX ETUDIANTS DE LA  
FACULTÉ DES SCIENCES DE RABAT  
(MAROC)**

**LE CONTENU DE CE DOCUMENT EST COMMENTÉ DANS LE  
DETAIL PENDANT LES SEANCES DE COURS**

**POUR TOUT AUTRE USAGE IL CONVIENT DE CITER LA SOURCE**

# Chapitre V

## STRUCTURE DU GLOBE TERRESTRE

### METHODES UTILISEES POUR DETERMINER LA STRUCTURE PREOFONDE DE LA TERRE

- 1 - L'étude des forages mais elle est insuffisante car le forage le plus profond ne dépasse pas 12 km, alors que le rayon de la Terre = 6370 km
- 2 - La sismologie = étude des séismes naturels et artificiels
- 3 - La gravimétrie = étude des variations de g, accélération de la pesanteur
- 4 - La volcanologie = étude des volcans et des activités volcaniques
- 5 - Le géomagnétisme = étude du champ magnétique terrestre
- 6 - La géothermie = étude des répartitions des températures à l'intérieur de la Terre, et des phénomènes physiques et géologiques qui leur sont liés
- 7 - La géochimie = étude de la composition et des propriétés chimiques des roches
- 8 - La minéralogie = étude de la composition et des propriétés minéralogiques des roches
- 9 - L'étude des minéraux et des roches au laboratoire en créant les conditions thermodynamiques régnant à l'intérieur de la Terre (= étude des géomatériaux)
- 10 - L'étude des météorites et des astéroïdes (qui se sont formés en même temps que la Terre)

Ne pouvant pas traiter, dans le détail, de l'apport de chacune de ces disciplines nous nous limiterons ici à évoquer brièvement le principe de ces méthodes en donnant leurs principaux résultats

# I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

séisme naturel (fracture des roches) ou forte explosion (nucléaire par exemple) → émission d'ondes sismiques parmi lesquelles :

- les ondes P traversent tous les milieux
- les ondes S traversent les milieux solides et ne passent pas dans les liquides

$$V_p = \sqrt{\frac{4\mu/3 + k}{d}} \quad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{d}}$$

$\mu$  = coefficient de rigidité, lequel mesure la résistance des roches au changement de forme  
(pour les fluide  $\mu = 0$ , d'où  $V_s = 0$ ; d'où S non transmises)

$k$  = coefficient d'incompressibilité, lequel mesure la résistance des roches au changement de volume

$d$  = densité des roches (ou  $\rho$  = masse volumique)

L'augmentation brutale de  $V_p$  et  $V_s$  à certaines profondeurs veut dire que :

- Les ondes P et S sont passées d'un milieu à un autre de caractéristiques physiques très différentes (de plus en plus rigides et incompressibles)
- Les ondes P et S ont traversé des limites = *surfaces de discontinuité* à l'intérieur de la Terre

Puisque  $V_p$  et  $V_s$  augmentent avec la profondeur → théoriquement la densité  $d$  doit diminuer

Or en réalité, comme la pression augmente avec la profondeur, la densité  $d$  augmente également avec la profondeur

→ en fonction de la profondeur, les paramètres  $\mu$  et  $k$  doivent augmenter plus vite que la densité  $d$

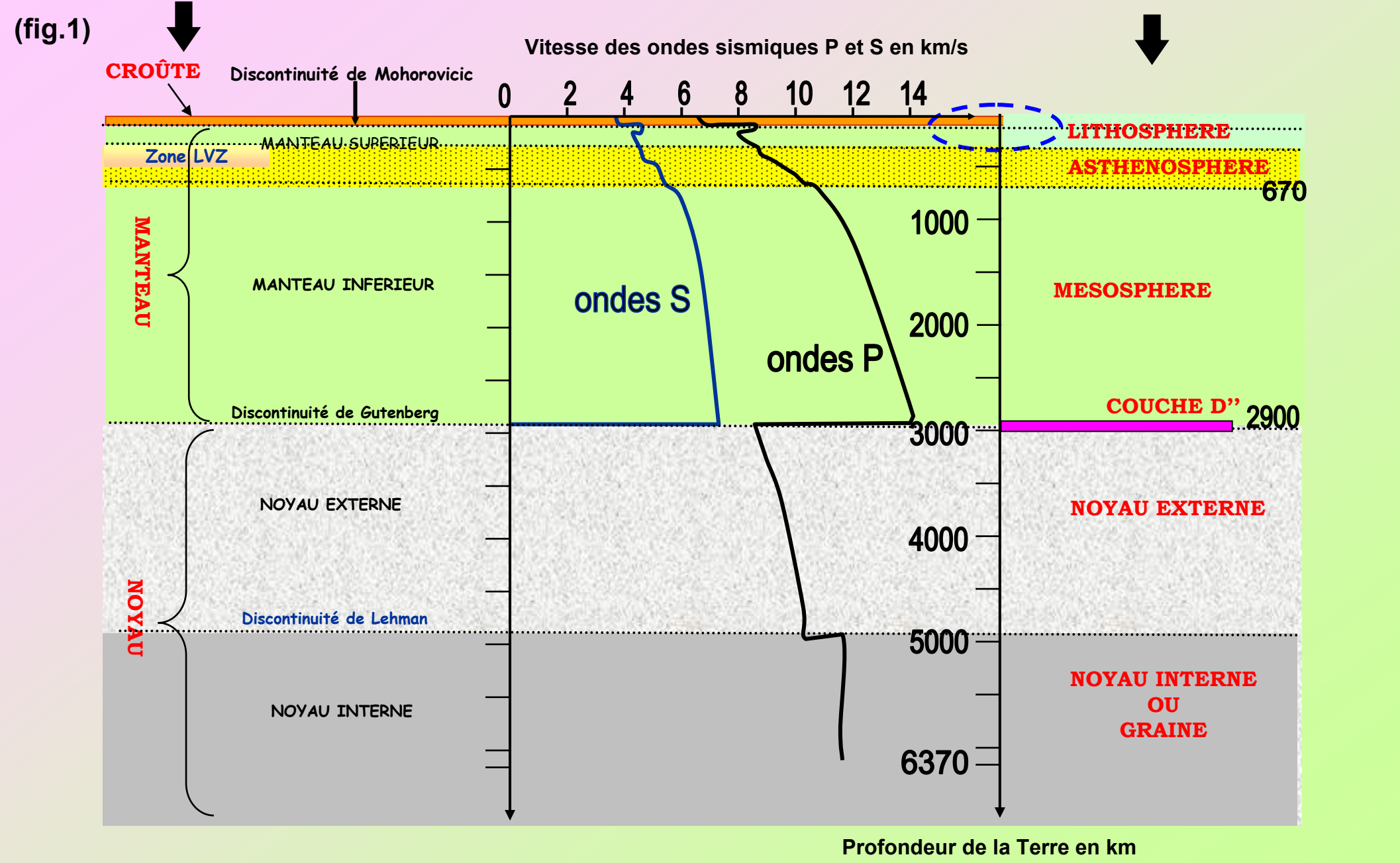
Conclusion :

En fonction de la profondeur les roches du globe terrestre sont de plus en plus rigides, incompressibles et denses

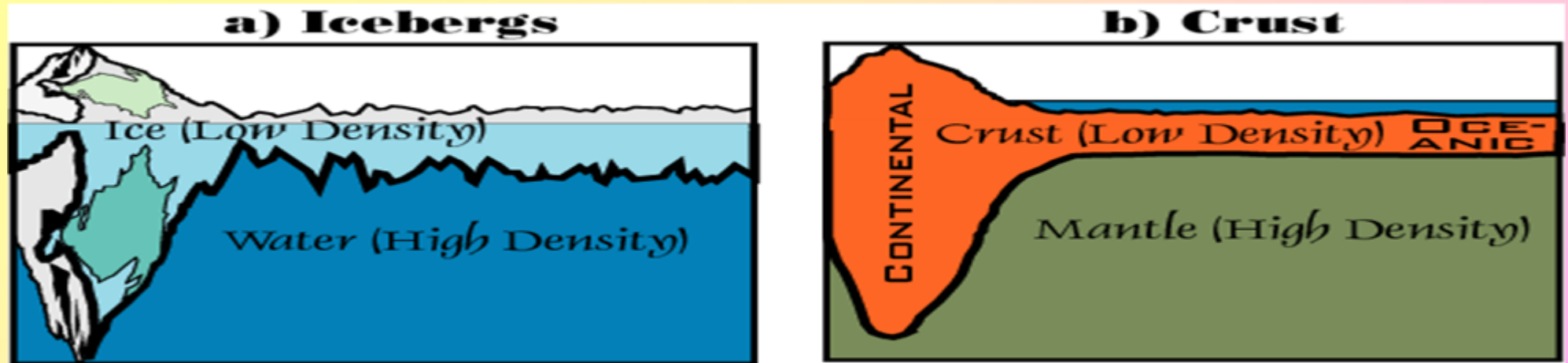
# I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE (suite)

1 - Sur la base des discontinuités majeures des vitesses des ondes sismiques : croûte, manteau et noyau

2 - Sur la base du comportement physique des couches (rigides ou molles) : lithosphère, asthénosphère, mésosphère, noyau interne et noyau externe

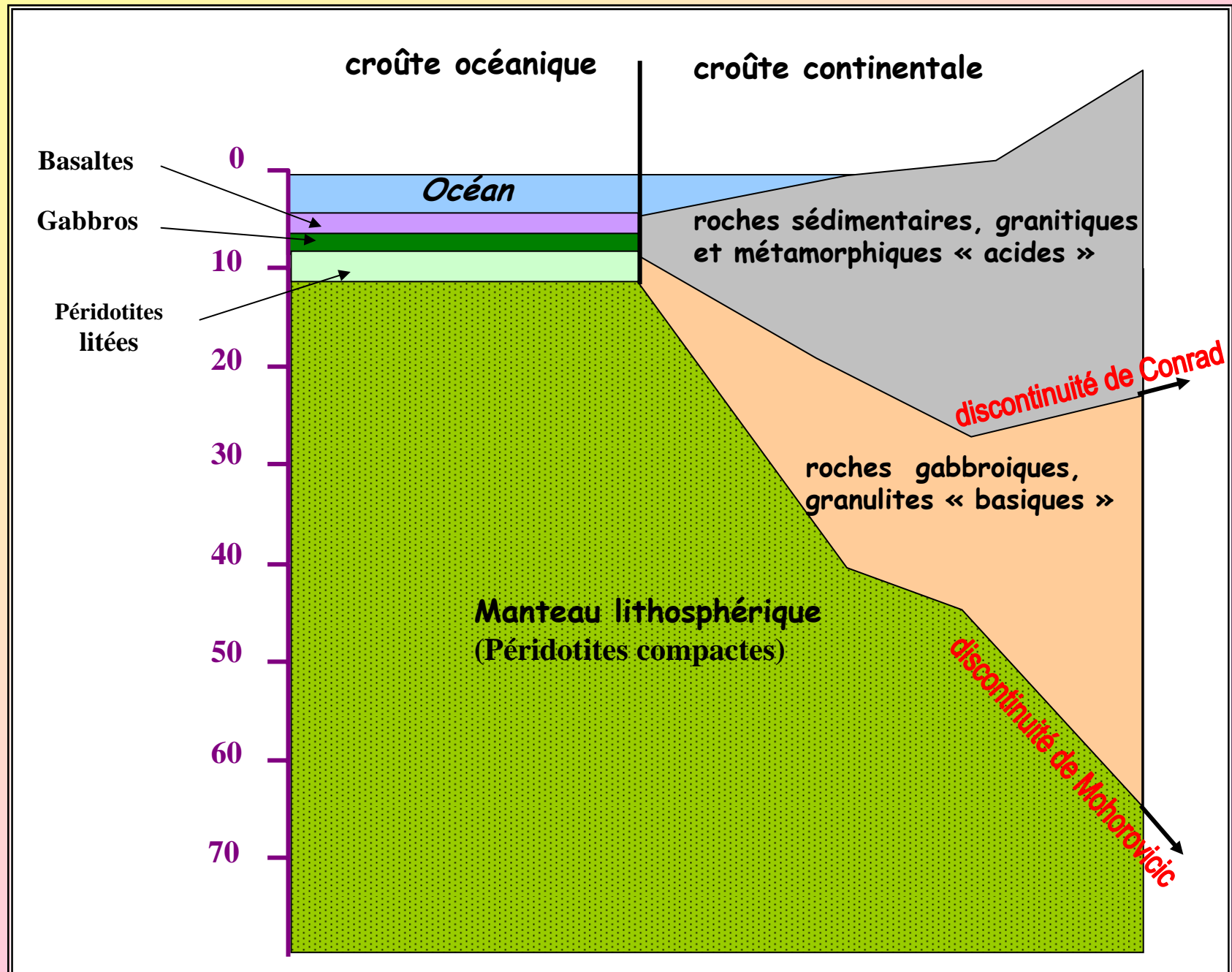


## Phénomène d'équilibre isostatique



L'isostasie est un phénomène de rééquilibrage de l'altitude de la croûte continentale par rapport à la surface de la Terre. Elle est due à la différence de densité entre les roches de la croûte continentale (légères), par rapport aux roches du manteau (plus denses).

Fig.3 : Structure de la lithosphère



# I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

# II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

## 1. - Méthodes d'étude

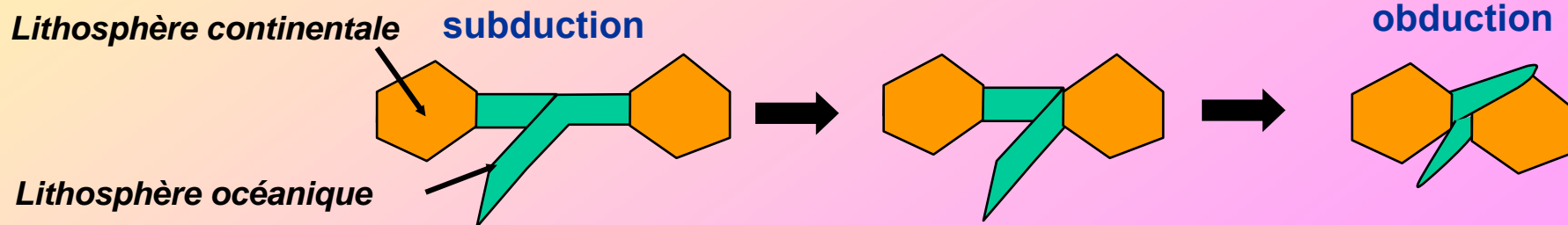
### 1.1. - Méthodes directes

#### 1.1.1 - études de surface

certaines roches autrefois profondes maintenant visibles à la surface à la suite de leur soulèvement et de l'érosion des terrains qui les cachaient.

→ roches de la croûte formées de silicates  
un silicate = combinaison de silice et d'oxydes métalliques  
Exemples : Pyroxène  $\text{Si}_2\text{O}_6 (\text{Fe},\text{Mg})_2$  Olivine  $\text{SiO}_4 (\text{Fe},\text{Mg})_2$  Feldspath  $\text{Si}_3\text{O}_8 (\text{K},\text{Al})$

→ roches du manteau supérieur = péridotites qui affleurent actuellement grâce à la rencontre de deux continents (= obduction)



une péridotite = roche constituée d'olivines

l'olivine forme une série continue entre son pôle ferreux et son pôle magnésien

# I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

# II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

## 1. - Méthodes d'étude

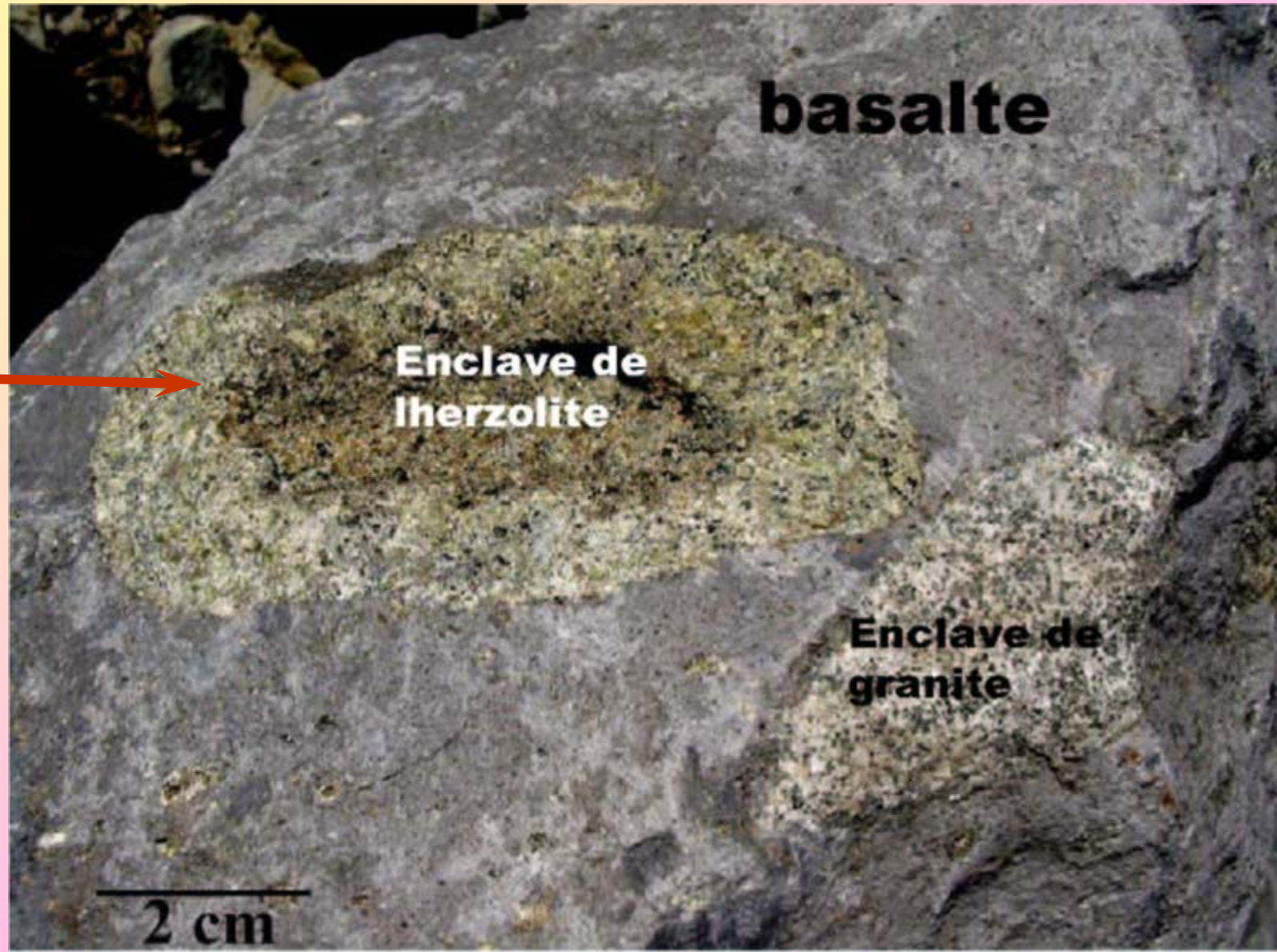
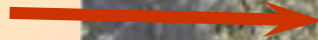
### 1.1. - Méthodes directes

1.1.1. - études de surface

1.1.2. - étude des basaltes

1.1.3. - étude des enclaves des basaltes

roche du manteau  
(60% olivines, 40%  
pyroxènes)



Enclave de  
lherzolite

Enclave de  
granite

basalte

2 cm



# I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

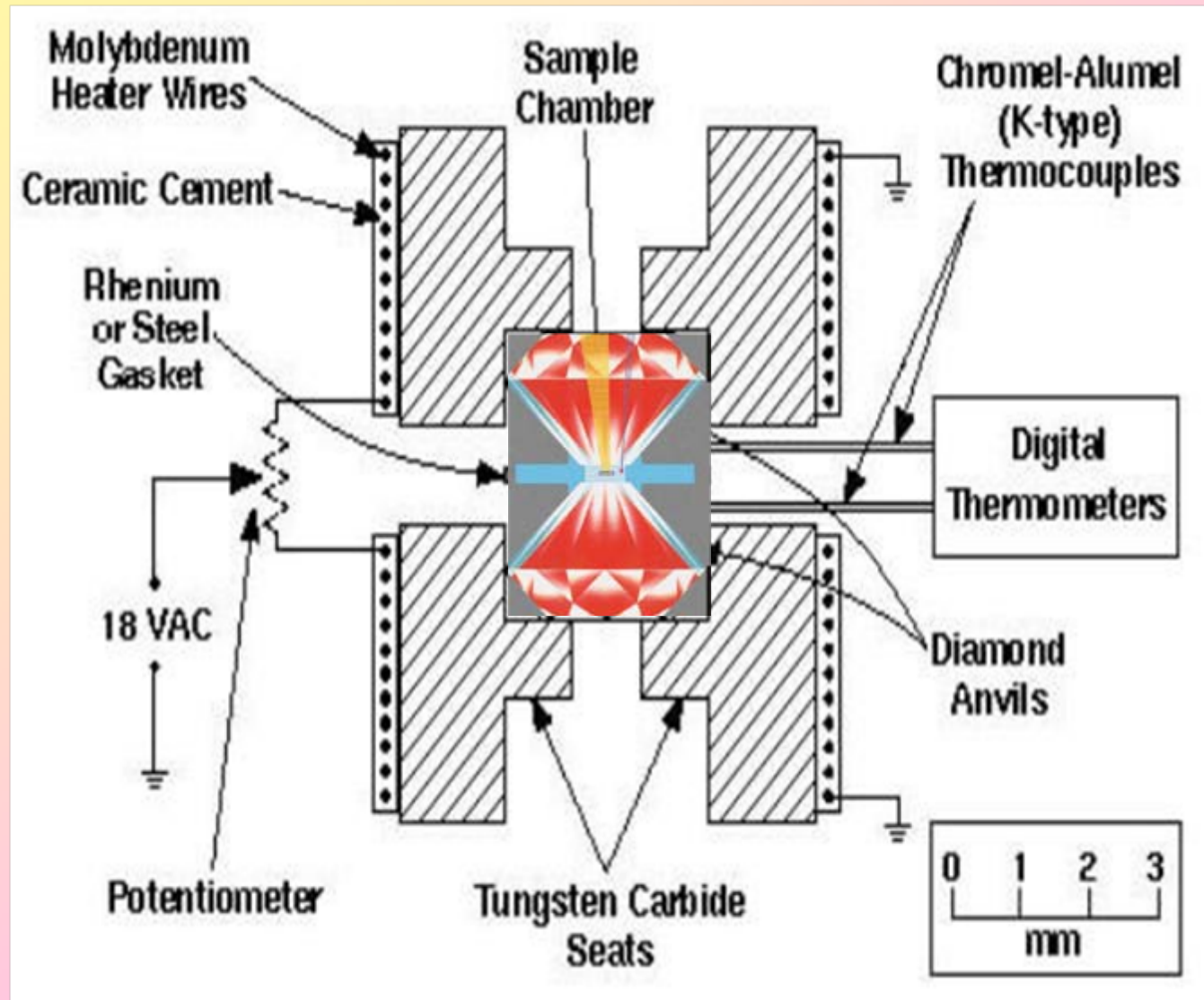
# II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

## 1. - Méthodes d'étude

### 1.1. - Méthodes directes

### 1.2. - Méthodes indirectes

#### 1.2.1. - enclumes de diamants



# I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

## II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

### 1. - Méthodes d'étude

#### 1.1. - Méthodes directes

#### 1.2. - Méthodes indirectes

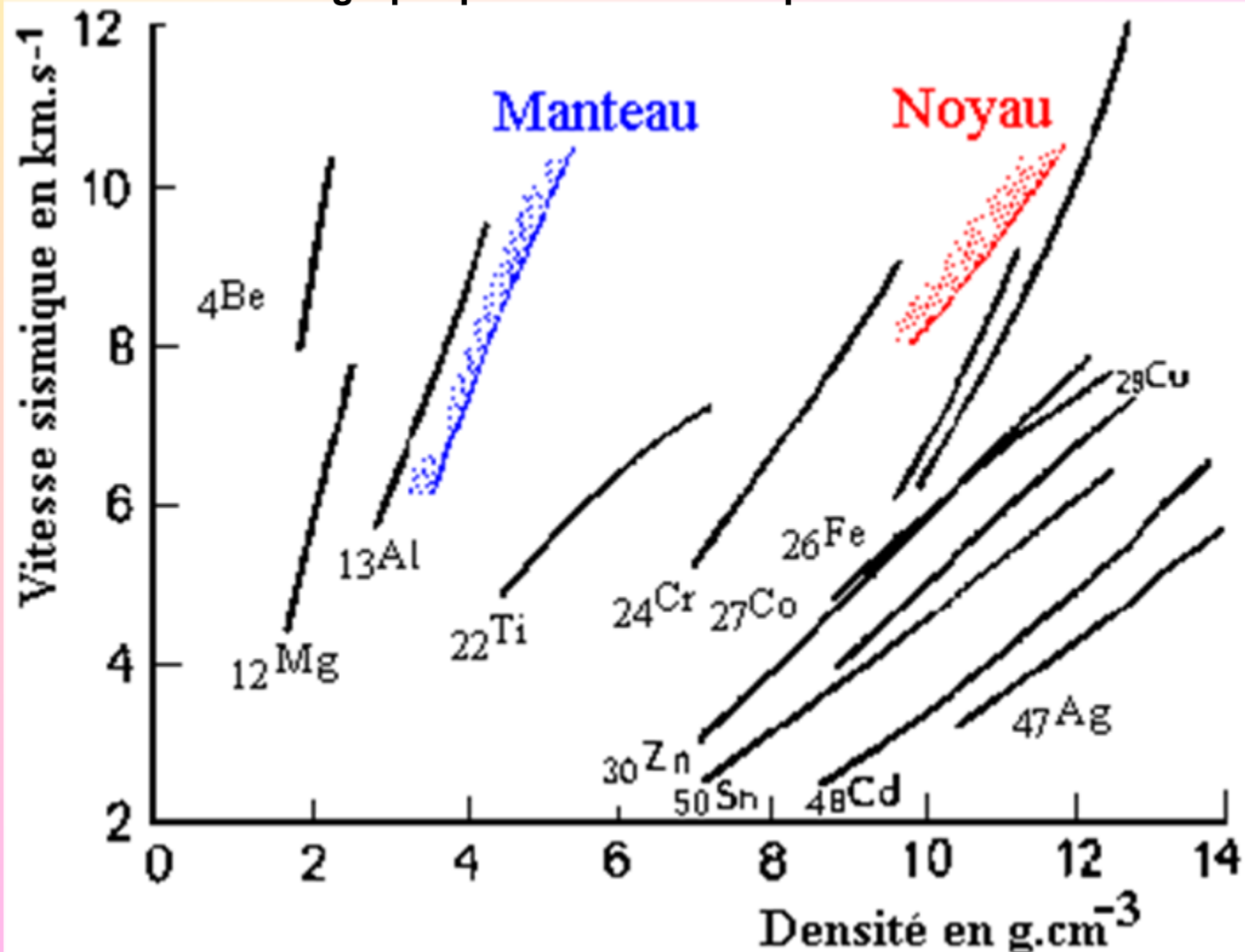
##### 1.2.1. - enclumes de diamants

##### 1.2.2. - sismologie expérimentale

L'étude au Laboratoire des transmissions des ondes sismiques dans différents matériaux a permis de construire des graphiques comme celui présenté ici

le manteau est riche en silicates ce qui a pu être vérifié sur des fragments du manteau supérieur, remontés à la surface à la suite de collisions entre des plaques.

La courbe représentant les caractéristiques du noyau se situe à proximité des résultats du fer et du nickel.



# I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

# II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

## 1. - Méthodes d'étude

### 1.1. - Méthodes directes

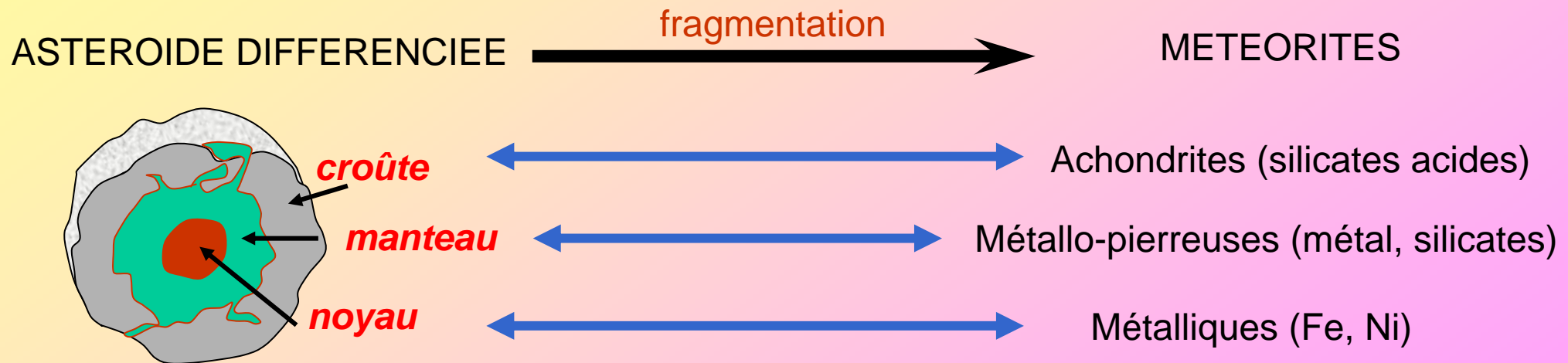
### 1.2. - Méthodes indirectes

1.2.1. - enclumes de diamants

1.2.2. - sismologie expérimentale

1.2.3. - étude des météorites

L'étude des météorites différenciées ainsi que la sismologie expérimentale ont permis de donner une idée sur la composition chimique de la Terre



A noter qu'au début de la formation du système solaire les planètes telluriques et les astéroïdes ont subi le même processus de différenciation

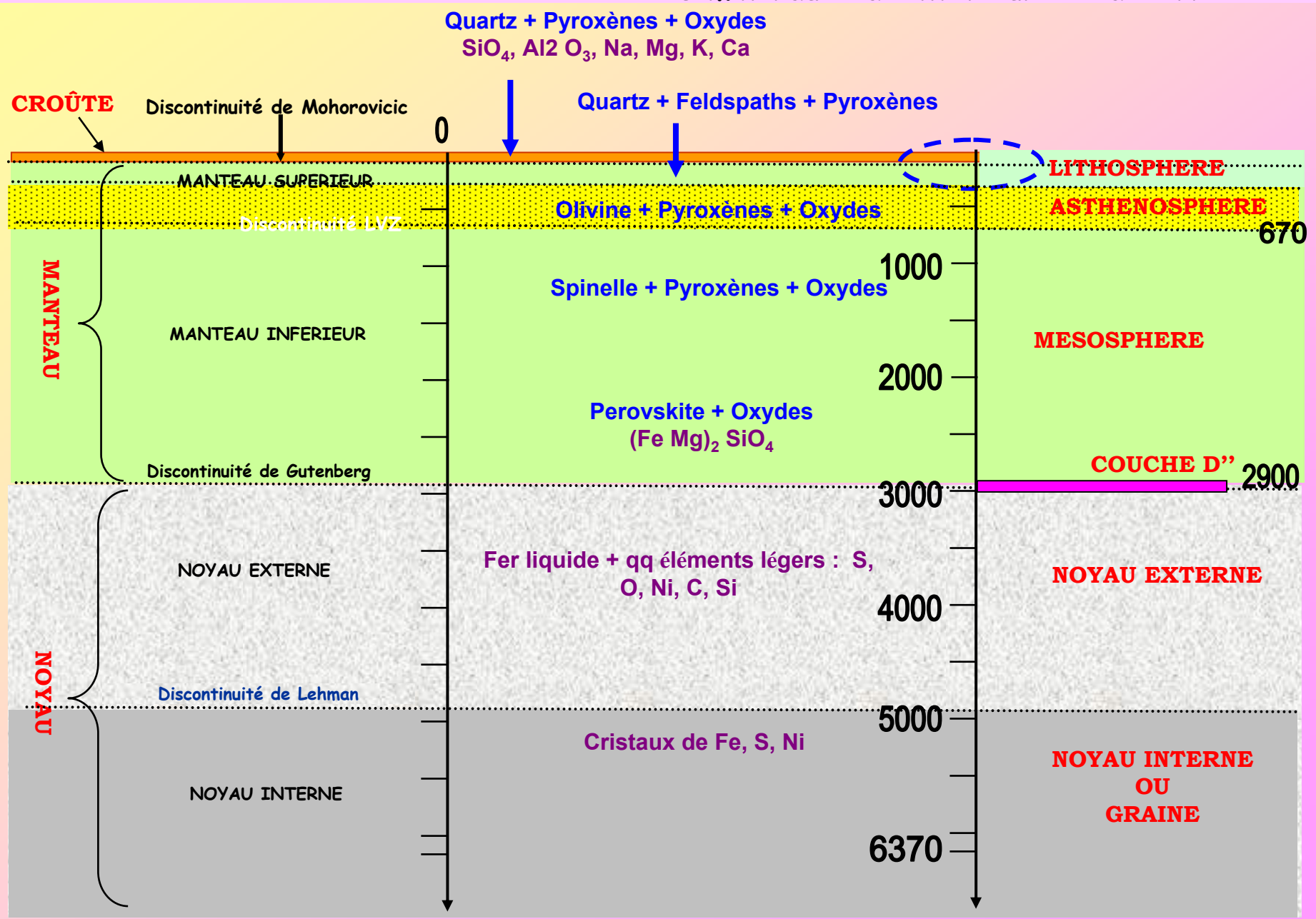
# I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

# II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

## 1. - Méthodes d'étude

## 2. - Résultats

Fig.10 : Répartition des éléments chimiques et des minéraux à l'intérieur de la Terre



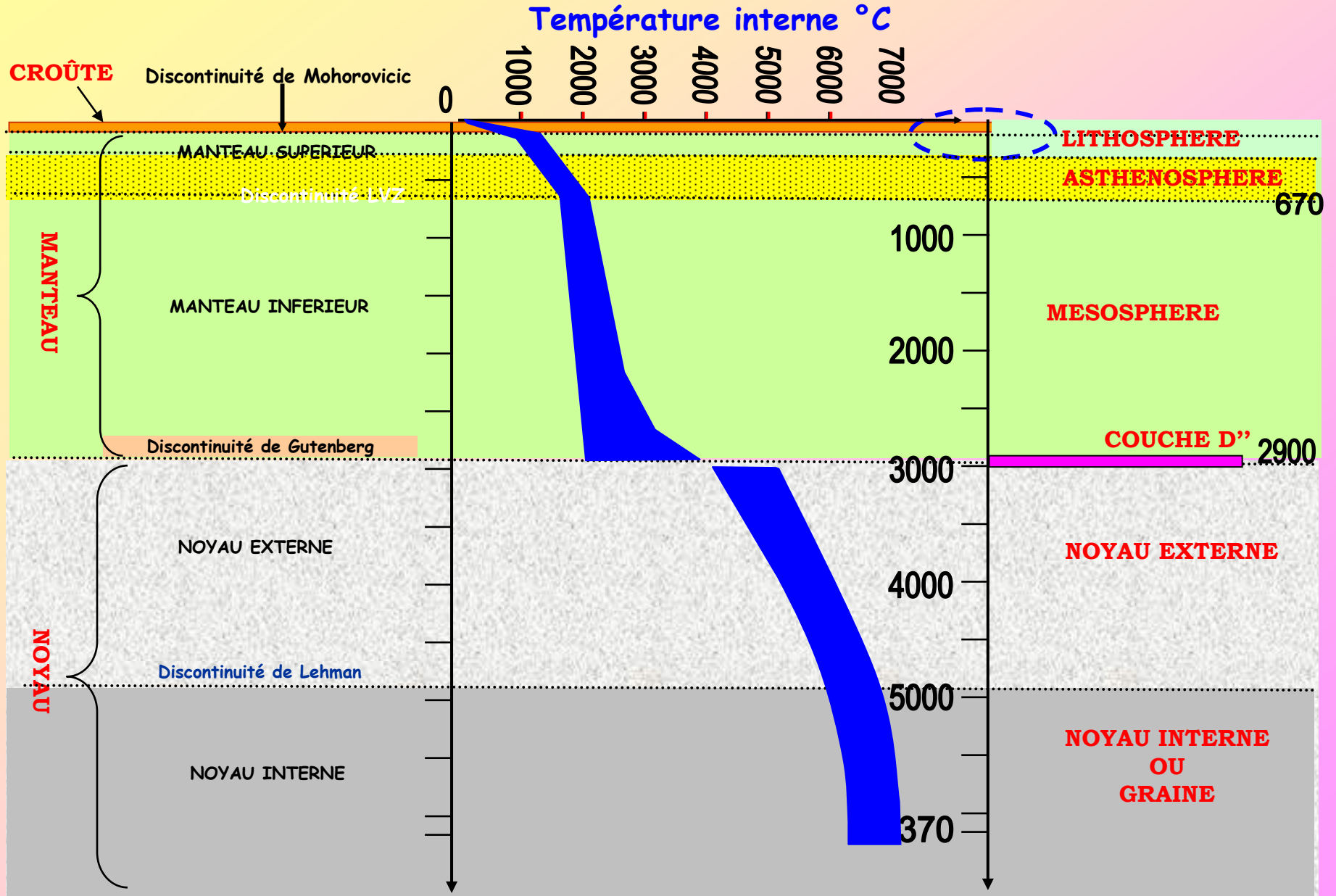
Profondeur de la Terre en km

# I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

# II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

# III - MODELE THERMIQUE DE LA TERRE

Fig.11 : Répartition de la chaleur à l'intérieur de la Terre



Profondeur de la Terre en km

# I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

# II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

# III - MODELE THERMIQUE DE LA TERRE

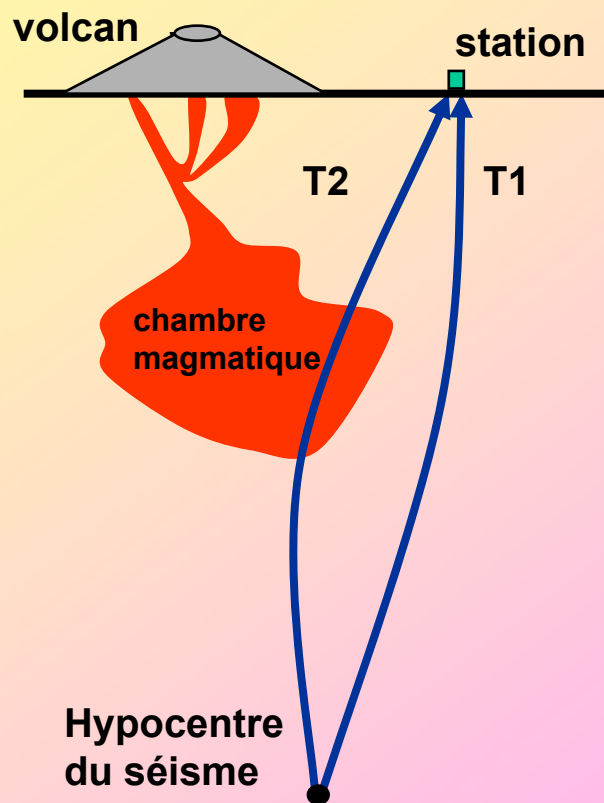
# III - MODELE DYNAMIQUE DE LA TERRE

## 1 – La tomographie sismique

### 1.1. - Principe

C'est un procédé comparable à l'exploration du corps humain par un scanner. Il est basé sur la récupération des **résidus des temps** d'arrivée des ondes sismiques qui seront transformés en images tridimensionnelles

$$\text{résidu de temps } \Delta t = \Delta t_{\text{théorique}} - \Delta t_{\text{observée}}$$



mesure des écarts de vitesse de propagation des ondes par rapport à une structure moyenne du globe terrestre

$$\Delta T_1 = \Delta T_1 \text{ théorique} - \Delta T_1 \text{ observée} = 0$$

$$\Delta T_2 = \Delta T_2 \text{ théorique} - \Delta T_2 \text{ observée} \neq 0$$

$$\text{si } \Delta T_2 < 0 \rightarrow \Delta T_2 \text{ théorique} < \Delta T_2 \text{ observée}$$



temps de parcours dans le milieu réel plus lent que celui prédit par le modèle de la Terre

# III - MODELE DYNAMIQUE DE LA TERRE

## 1 – La tomographie sismique

### 1.1. - Principe

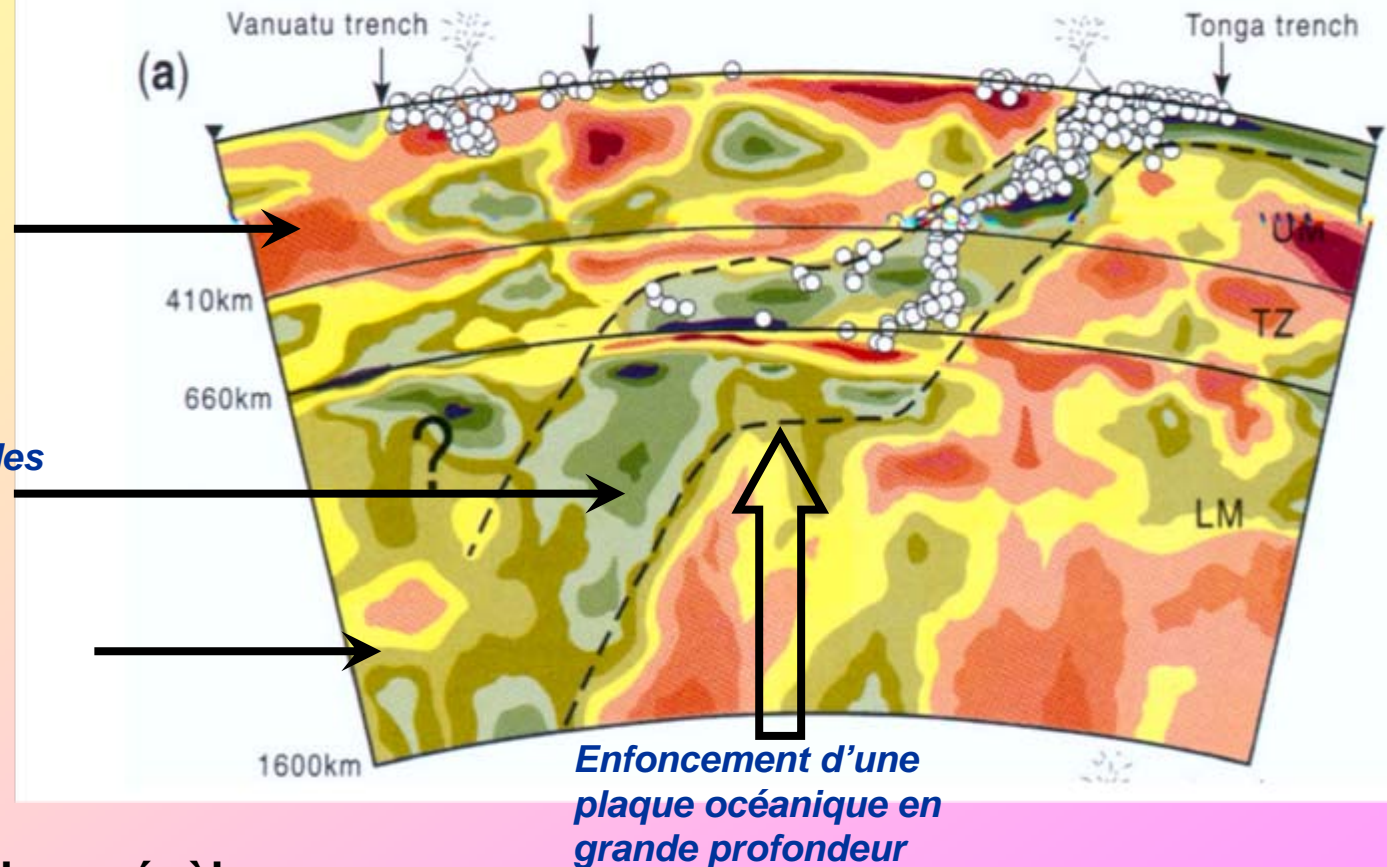
### 1.2. - Résultats

#### PROFIL TOMOGRAPHIQUE

Trajet lent des ondes sismiques dans un manteau chaud

Trajet rapide des ondes sismiques dans un manteau froid

Vitesse moyenne



la tomographie sismique révèle que:

- le manteau n'est pas homogène et qu'il est, par endroit, anormalement chaud
- le manteau est animé par des courants de convection



deux modèles de convection ont été proposés :

# III - MODELE DYNAMIQUE DE LA TERRE

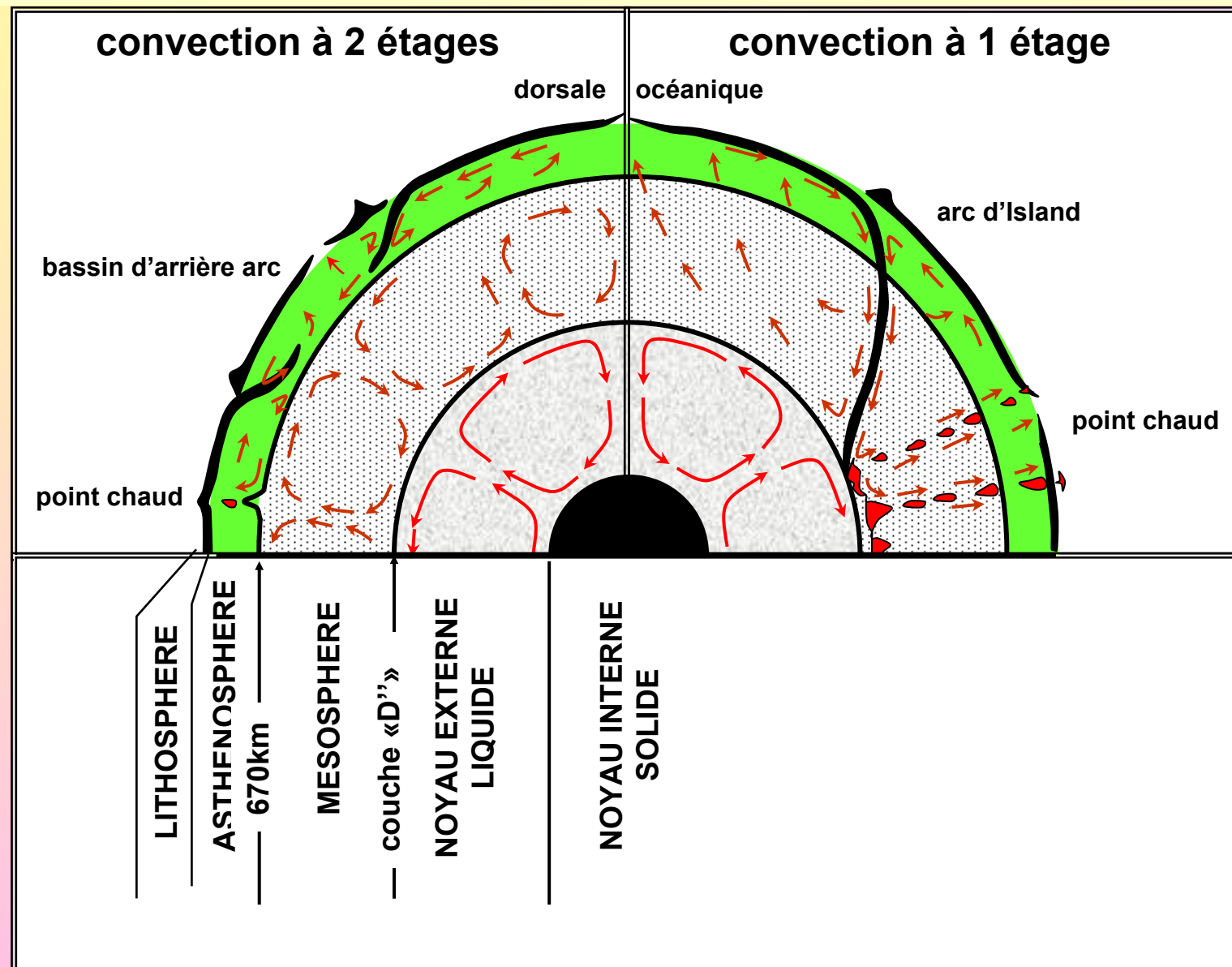
## 1 – La tomographie sismique

## 2 – La convection

### 2.1. – La convection du manteau

Fig. : Deux modèles possibles de la circulation de la matière au niveau du manteau (Philpots, 1990)

NB: La tomographie ne propose qu'un cliché instantané des structures actuelles, et ne résout donc pas le problème de l'évolution sur des échelles de temps géologiques.





# III - MODELE DYNAMIQUE DE LA TERRE

## 1 – La tomographie sismique

## 2 – La convection

### 2.1. – La convection du manteau

### 2.1. – La convection du noyau externe : le champs magnétique terrestre (voir TD)

