



Géologie Générale

Pr. MORARECH Moad


Département de Géologie

Chapitre 5 : STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE

**Filière Sciences de la Vie et de la Terre (SVT , Semestre 1)
Module M3- 2020-2021**

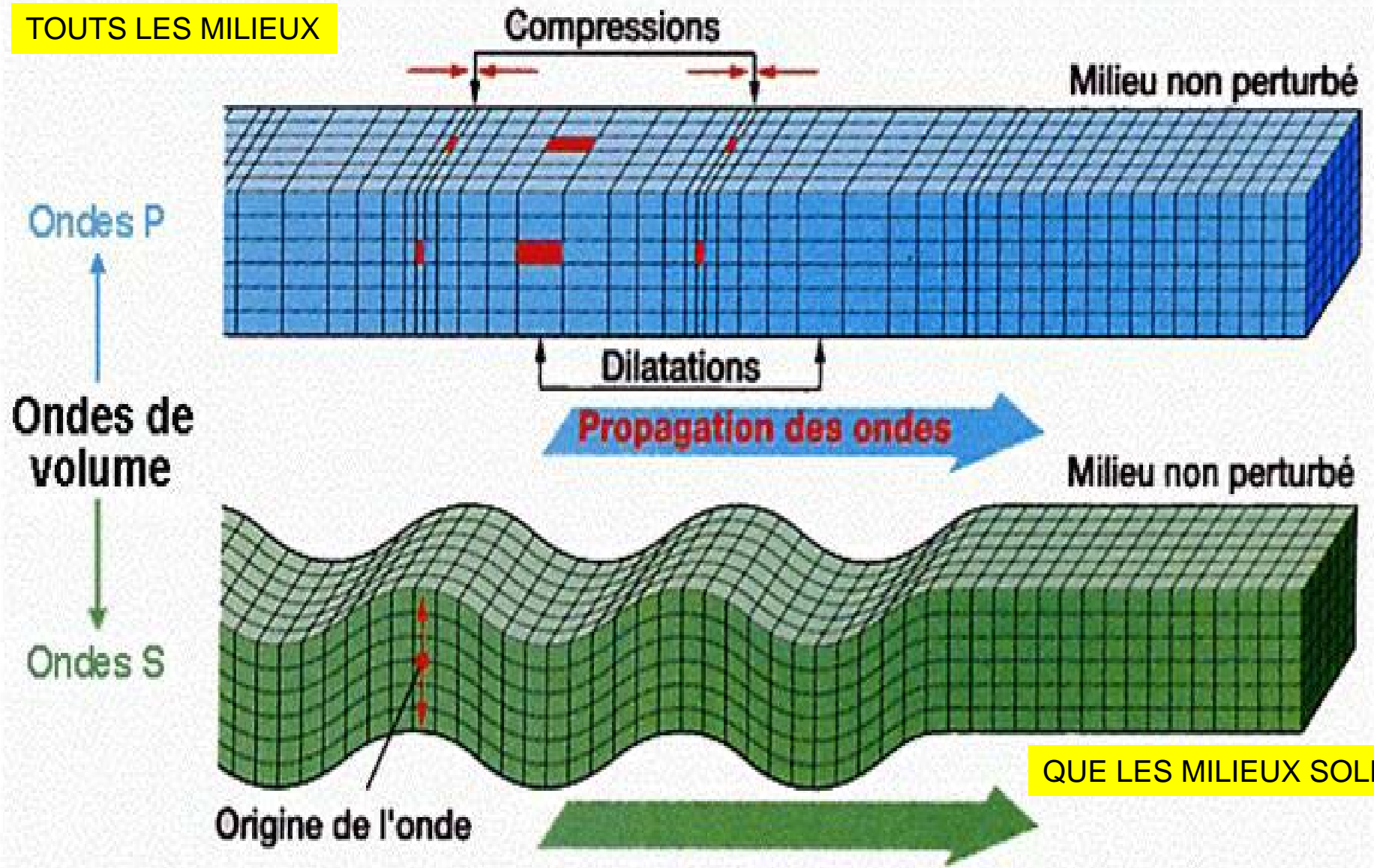
STRUCTURE DU GLOBE TERRESTRE

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 (ppts physiques de la str terre)
- 3 - La gravimétrie = étude des variations de g , si $g \nearrow$  corps massif
- 4 - La volcanologie = étude des volcans et des activités volcaniques (roches arrachés, nature du manteau)
- 5 - Le géomagnétisme = étude du champ magnétique terrestre (renseignements sur les corps riches en Fe)
- 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

TOUTS LES MILIEUX



QUE LES MILIEUX SOLIDES

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

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{d}}$$

μ = 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 ρ = 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 \longrightarrow théoriquement la densité d doit diminuer

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

\longrightarrow en fonction de la profondeur, les paramètres μ 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

VITESSE DES ONDES SISMIQUES

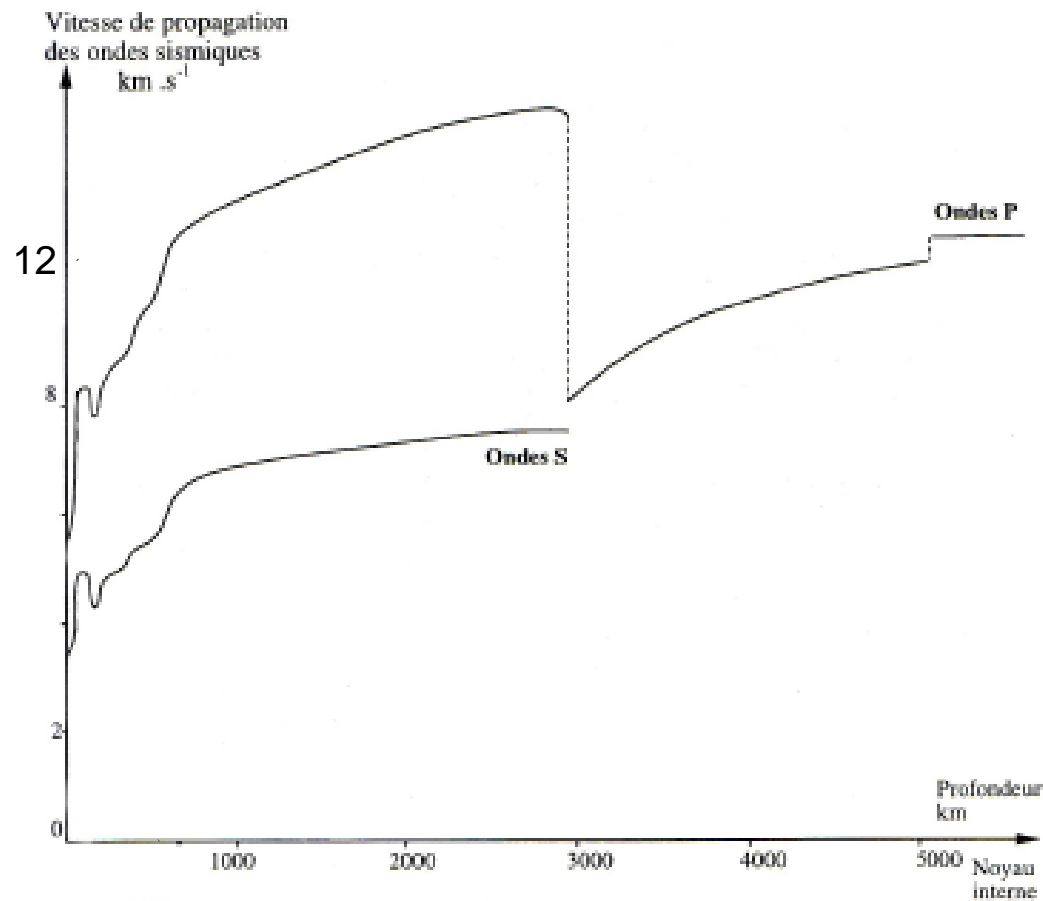
Les ondes sismiques quel que soit leur point d'émission se propagent dans toute la Terre.

Leur vitesse dépend du milieu qu'elles traversent. Une brusque variation de vitesse correspond donc à un changement des propriétés du milieu.

Ce changement peut être de nature physique (densité, liquide/solide) ou de nature chimique (changement de composition).

- **La vitesse des ondes sismiques augmente avec la densité et la rigidité du milieu :**
 - La vitesse ralentit si le milieu est moins dense ou un milieu dont la cohésion est moindre entre les atomes.
 - La vitesse des ondes diminue dans un milieu dense et liquide, les atomes sont moins cohésifs (mercure)
 - Les ondes parcourent plus rapidement un solide (atomes reliés entre eux) qu'un liquide (atomes plus indépendants les uns des autres)

2-La structure du globe peut être modélisée à partir de l'étude de la propagation des ondes sismiques.



Le modèle sismique ou **PREM** (**P**reliminary **R**eference **E**arth **M**odel) est le plus récent.

L'augmentation de la vitesse des ondes P et S avec l'augmentation de la profondeur montrent qu'elles ont traversé des milieux plus denses et / ou plus rigides.

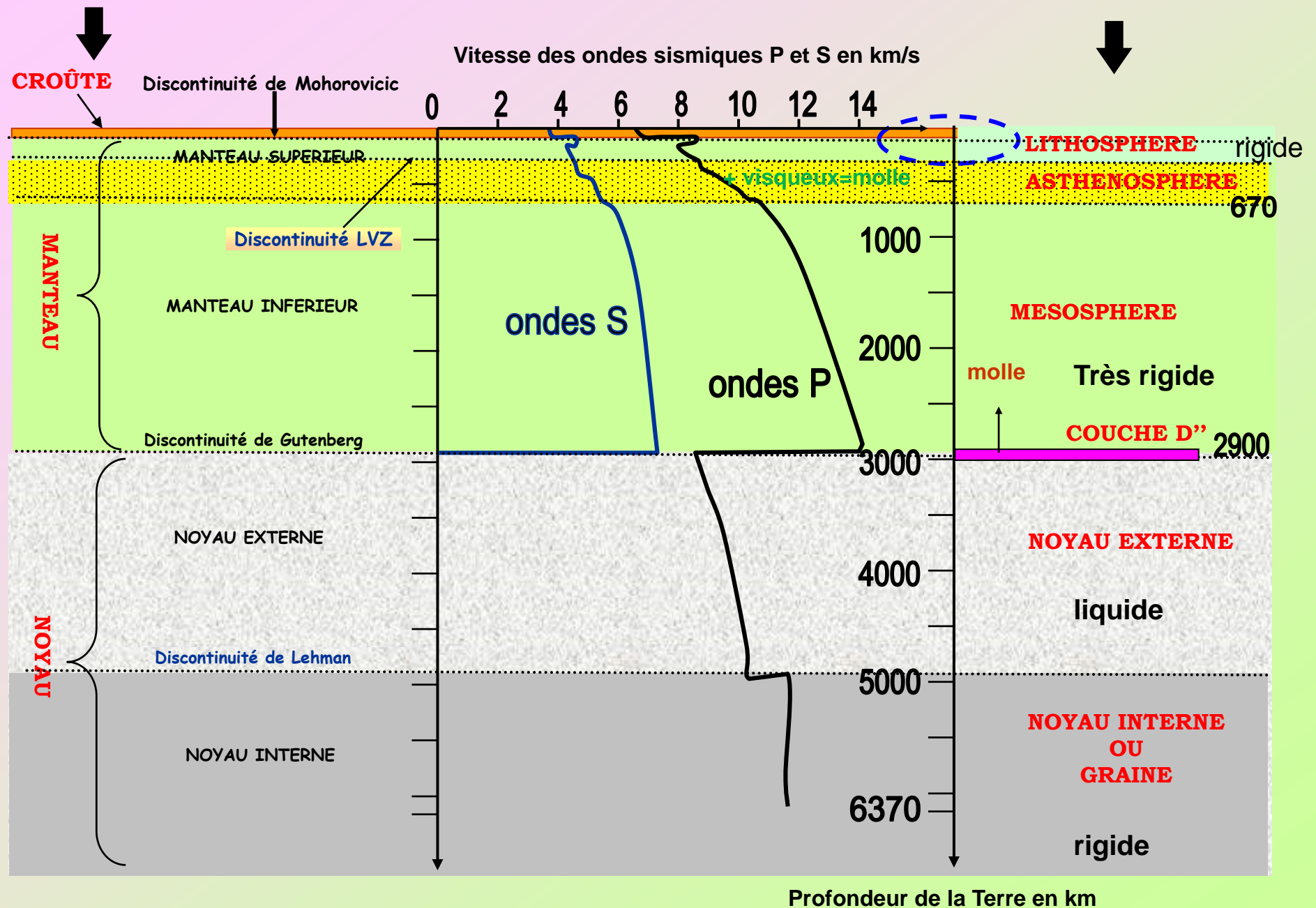
Les courbes obtenues ont toujours la même forme quelque soit le lieu du séisme et le lieu de l'enregistrement

- les variations de vitesse se produisent toujours à la même profondeur
- l'augmentation de densité des matériaux se fait donc de manière concentrique

I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE (suite) PREM

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



Les ondes P sont des ondes de compressions longitudinales. Les plus rapides peuvent atteindre une vitesse de 14km/s dans les milieux solides.

L'augmentation de vitesse s'explique par l'accroissement de densité des roches traversées.

Au contraire, la vitesse diminue quand les ondes atteignent un milieu liquide ou de densité plus faible.

-la vitesse des deux types d'ondes augmente de manière relativement constante jusqu'à une profondeur de 3000km, donc les roches traversées deviennent de plus en plus denses, du fait de la pression plus intense, qui a plus d'influence que l'augmentation de température.

-au passage du manteau inférieur au noyau externe, la vitesse des ondes P diminue de moitié, chutant à des valeurs voisines de 7km/s, et les ondes S sont brutalement stoppées.

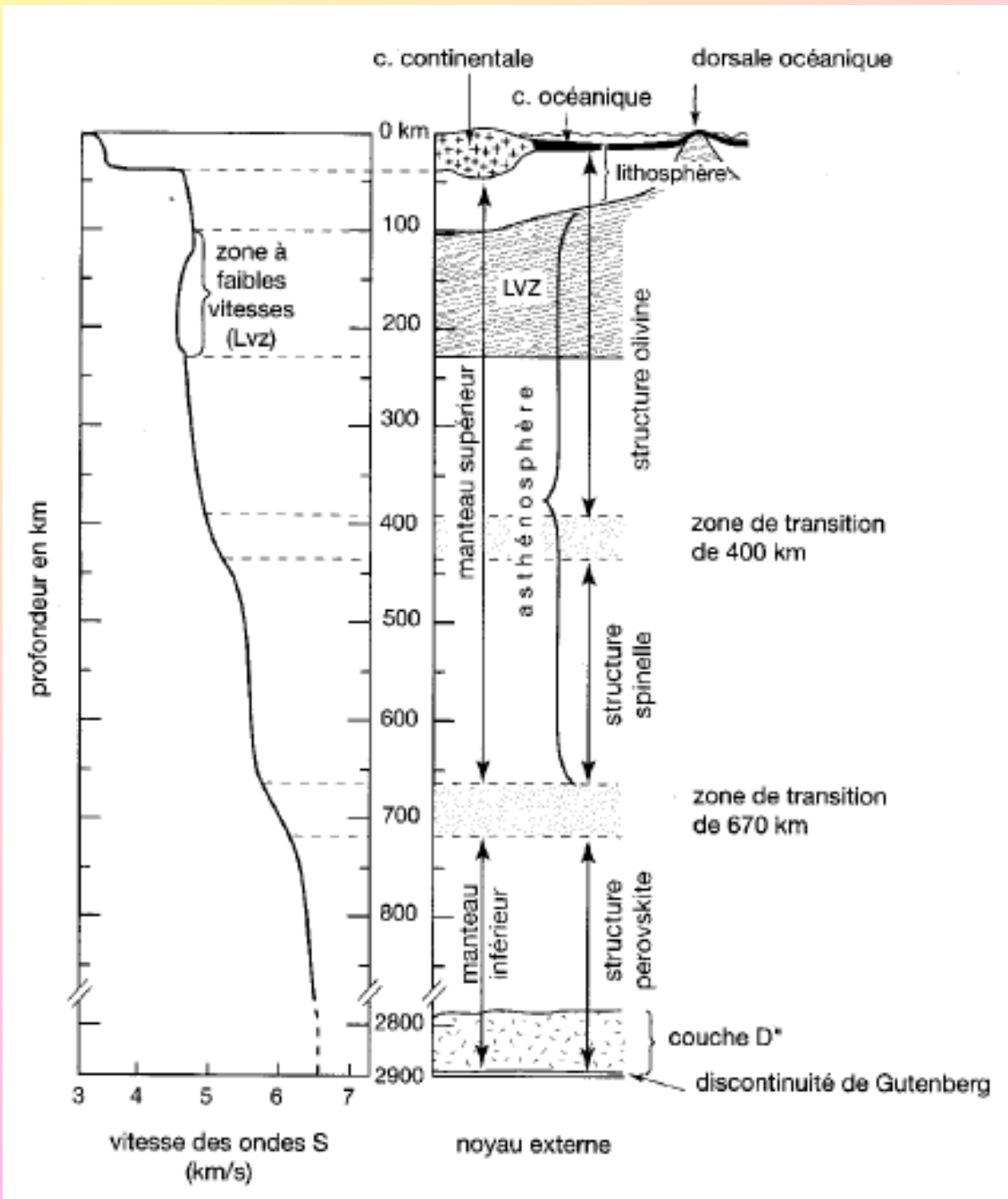
On remarque par ailleurs qu'à ce point la densité augmente brusquement. La cause de ces brusques changements dans le comportement des ondes est due à un changement des propriétés chimiques des milieux traversés :

bien que la densité soit plus élevée, le milieu traversé est plus fluide, ce qui contribue à ralentir les ondes.

-ensuite, lorsqu'on se rapproche du centre de la Terre, la vitesse des ondes P augmente légèrement, puis se stabilise à environ 12km/s dans le noyau interne: la pression étant toujours de plus en plus intense, le milieu traversé par les ondes devient de plus en plus solide, ce qui contribue à augmenter la vitesse de propagation des ondes.

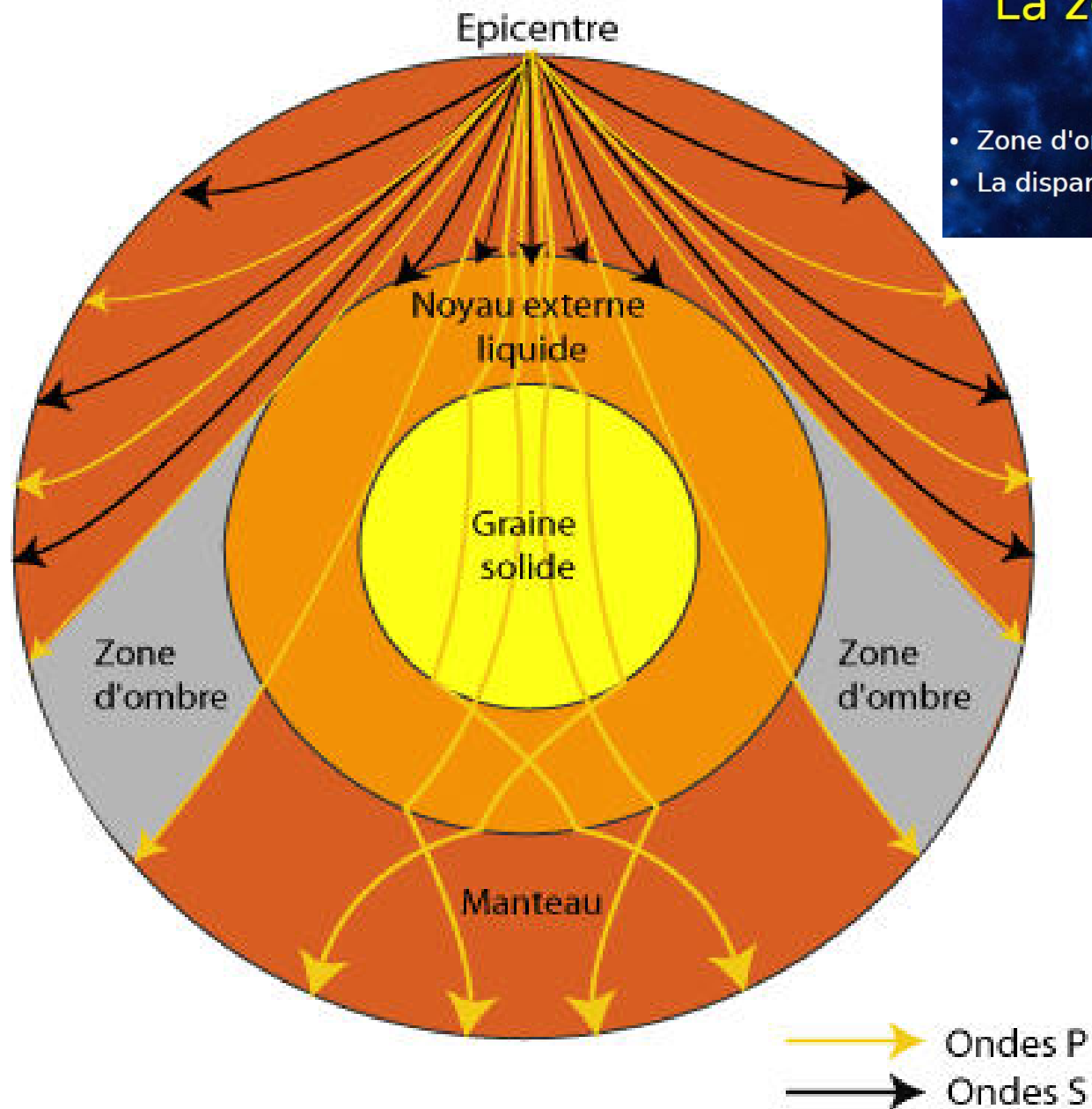
La vitesse de propagation des ondes S varie fortement avec la profondeur : Enveloppes concentriques

-Discontinuité de Mohorovici : 10 km sous les océans et 70 km sous les continents (Croute terrestre

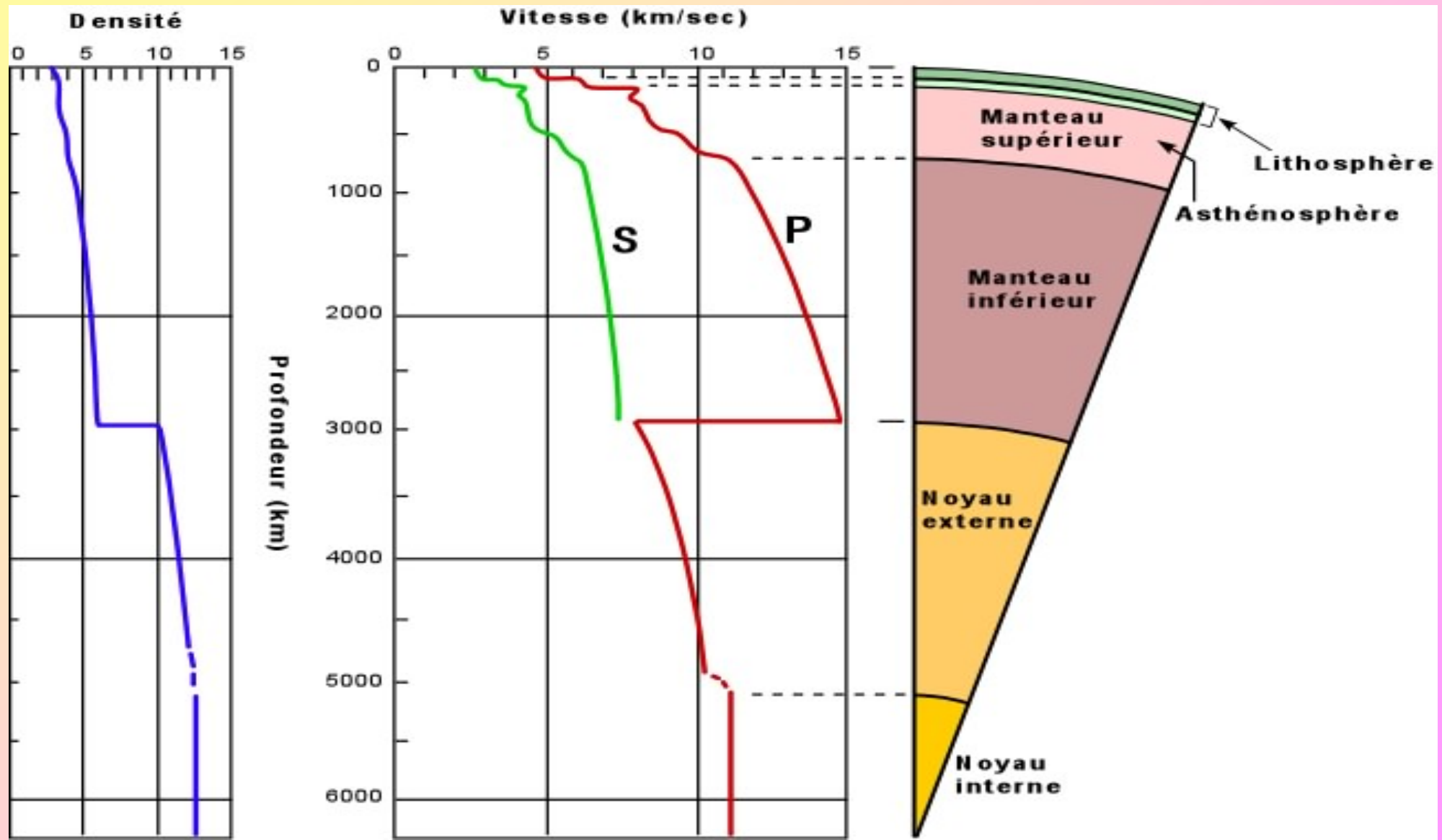


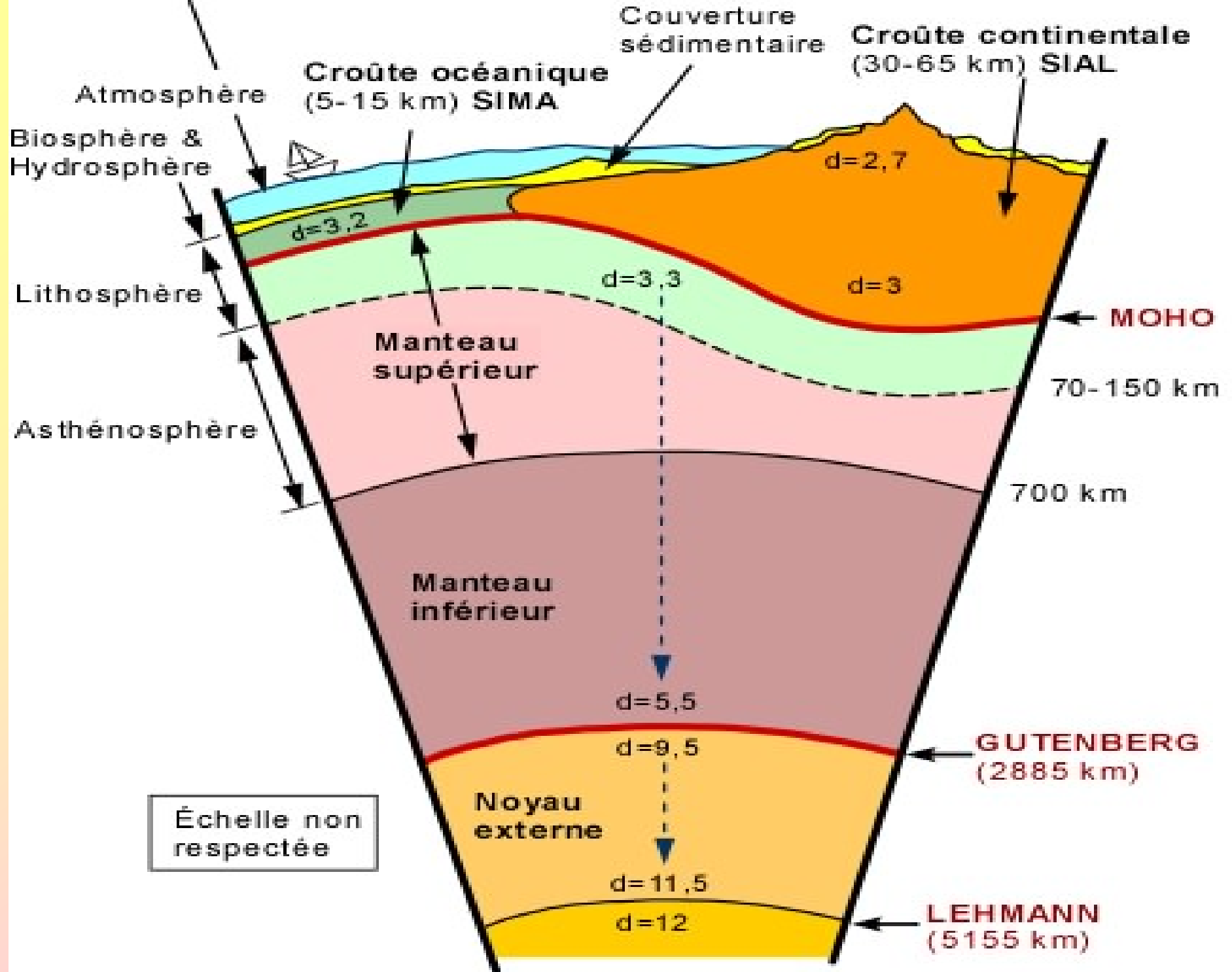
La zone d'ombre est due au noyau de la Terre

- Zone d'ombre indique la présence d'un noyau
- La disparition des ondes S indique qu'il est liquide



Interpréter la vitesse des ondes sismiques : PREM (1981)





0 Ma

60 Ma

Dorsale

Surface océanique

Fond océanique

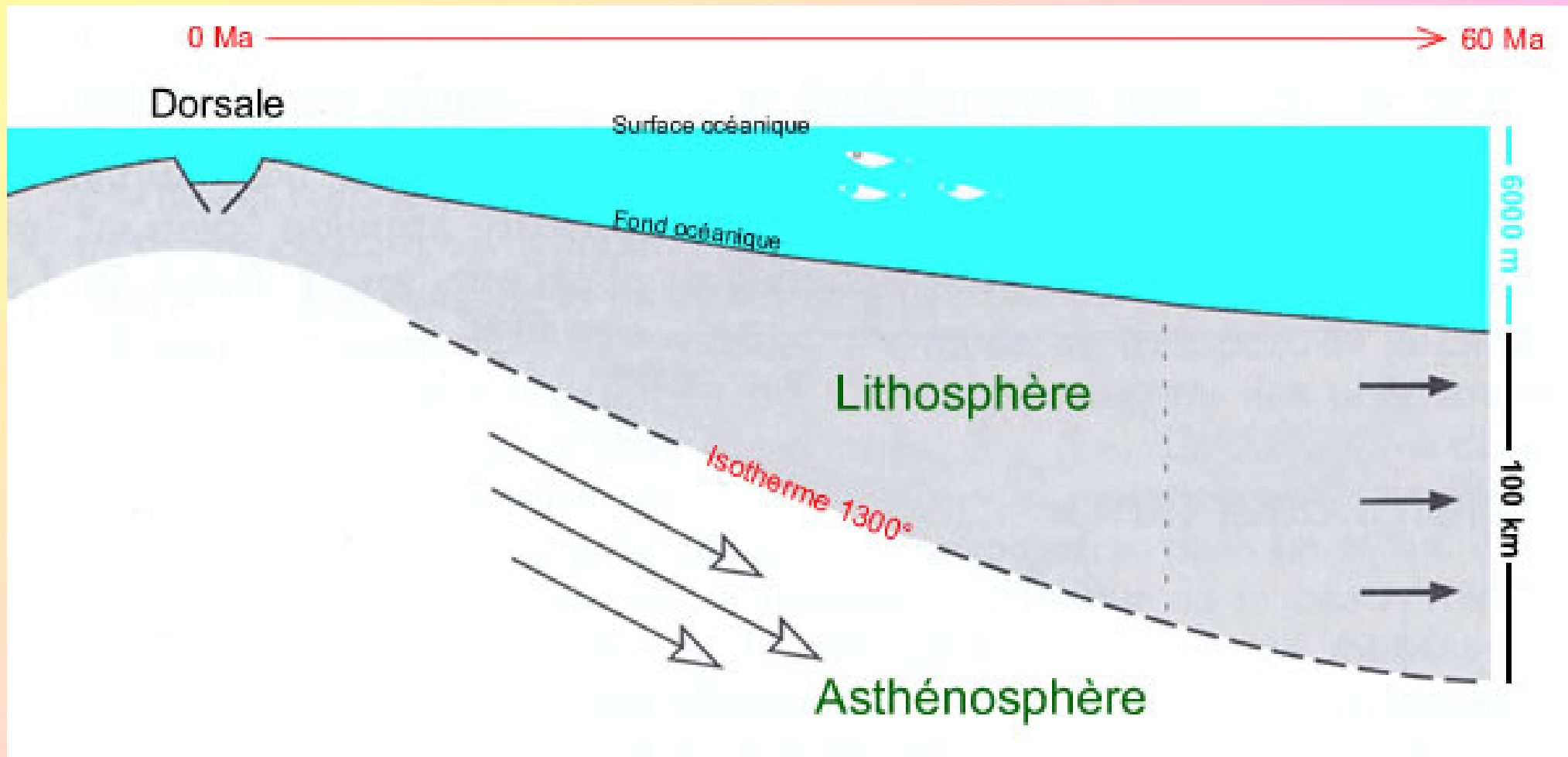
Lithosphère

Isotherme 1300°

Asthénosphère

6000 m

100 km



Bilan :

- La vitesse des ondes dépend au premier ordre de la profondeur (comparaison des hodochrones ondes de volumes, ondes de surface).
- Plus on s'éloigne de la source, plus les ondes P,S enregistrées ont pénétrées profondément dans la Terre
- => En étudiant la V_p , V_s en fonction de la distance à la source on peut trouver comment varie en moyenne V_p , V_s en fonction de Z => C'est le modèle PREM.
- **Noyau** : découvert grâce à la zone d'ombre..
Disparition ondes S => liquide.
- **Graine** : Les ondes converties sur la graine montre l'existence de celle-ci

	C. cont.	C. océan.	Manteau
SiO ₂	60%	49%	44%
Al ₂ O ₃	15%	16%	2%
MgO	3%	7%	37%

SiO₂ : SILICE
Al₂O₃ : ALUMINE

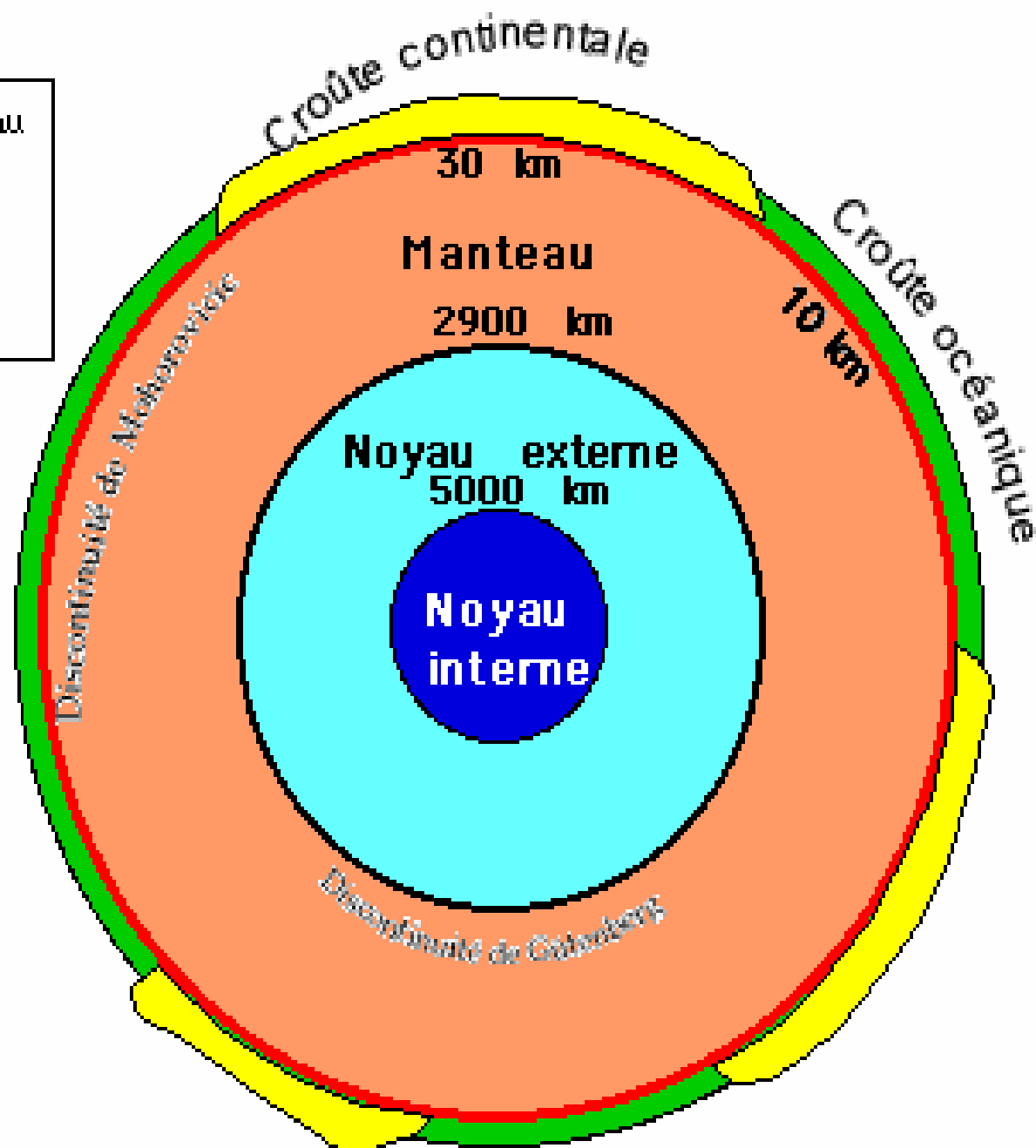
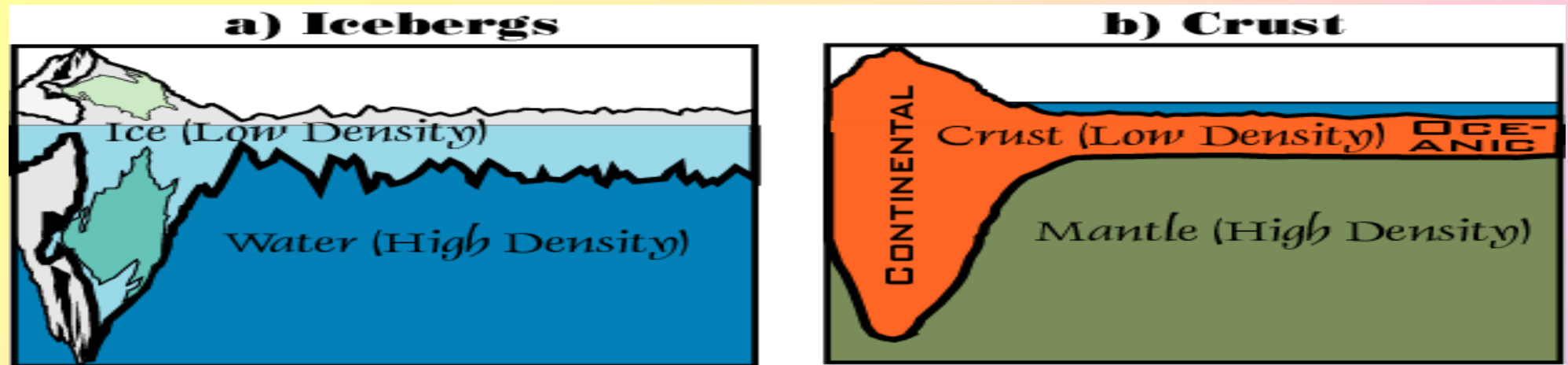


fig.1-1

Coupe interne du globe terrestre

Phénomène d'équilibre isostatique



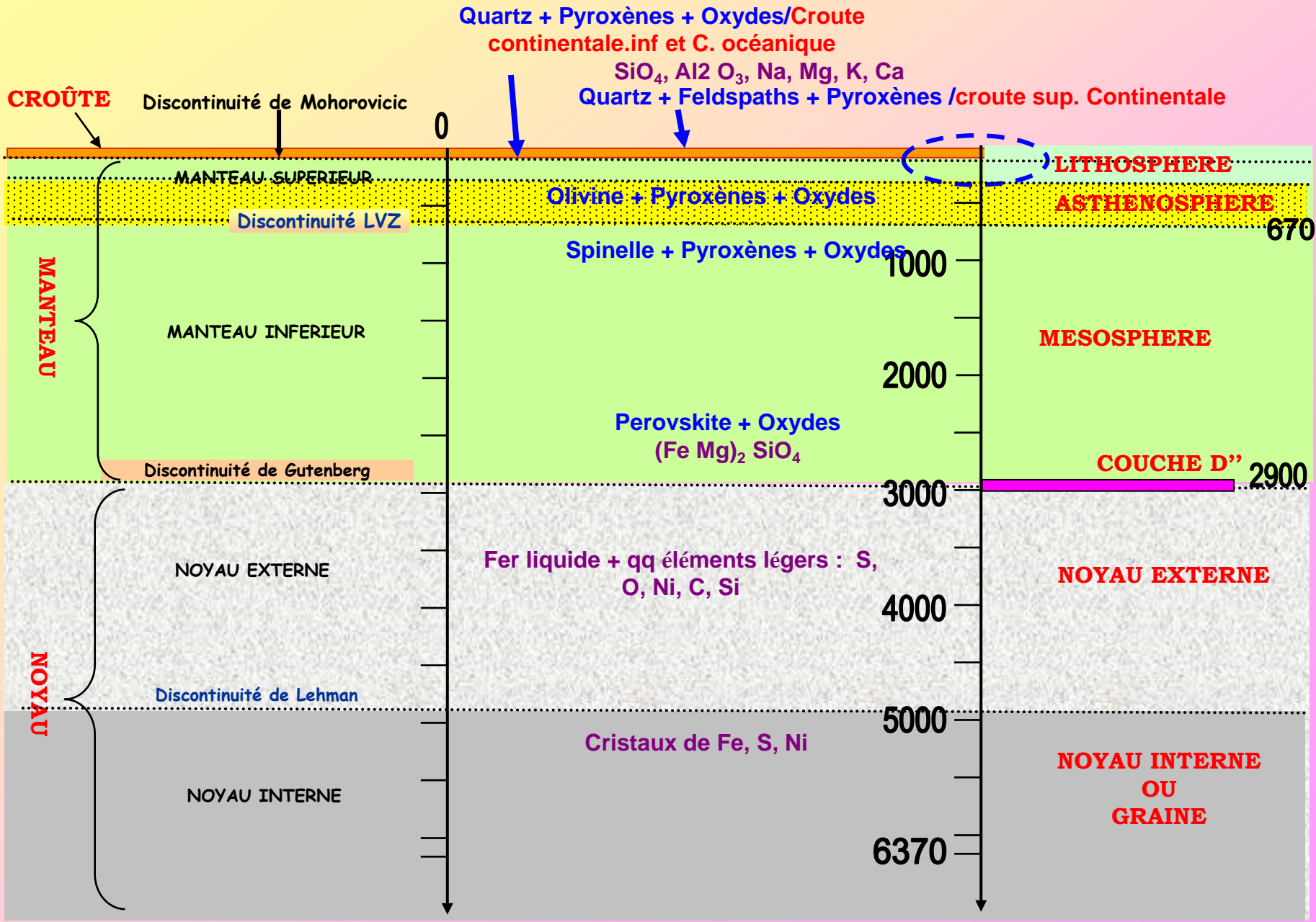
L'isostasie est un phénomène de rééquilibrage de l'altitude de la croûte continentale par rapport à la surface de la Terre. Elle est due à la différence de densité entre les roches de la croûte continentale (légères), par rapport aux roches du manteau (plus denses).

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 chimie et des minéraux à l'intérieur de la Terre



Profondeur de la Terre en km



QUARTZ SiO_2

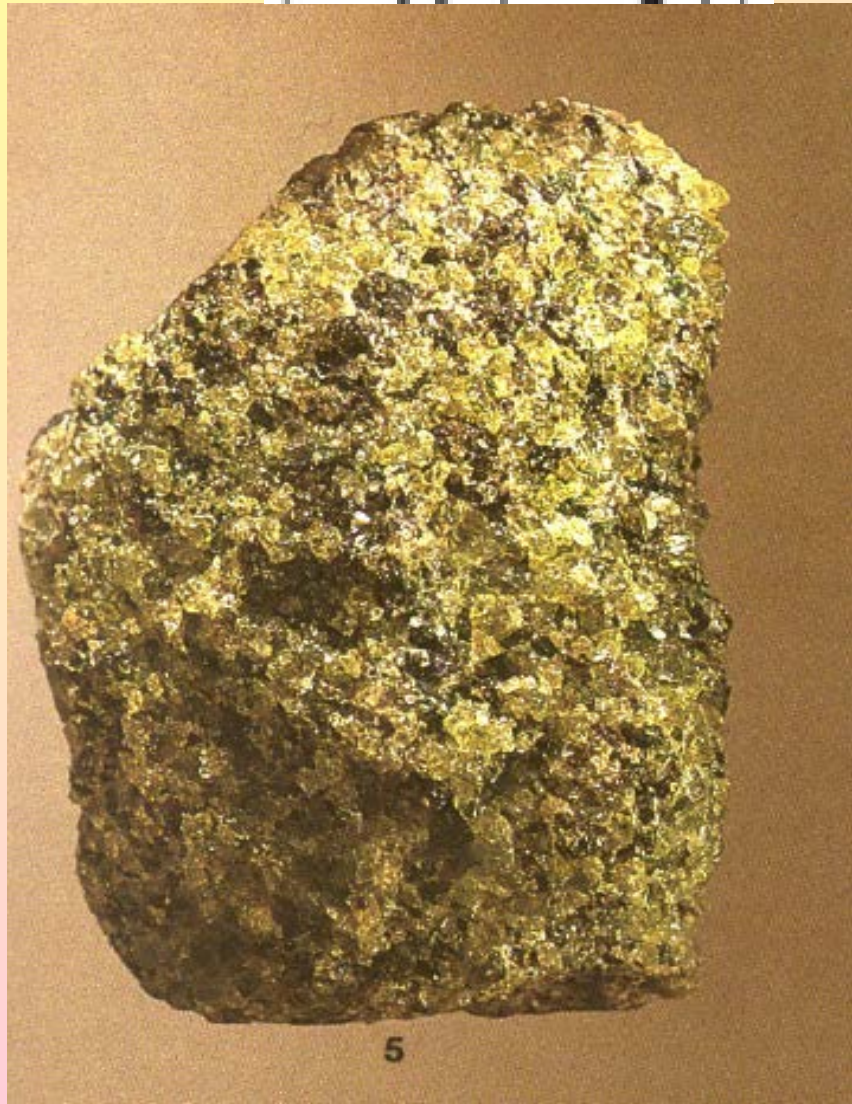
chimie : $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$



PYROXENES

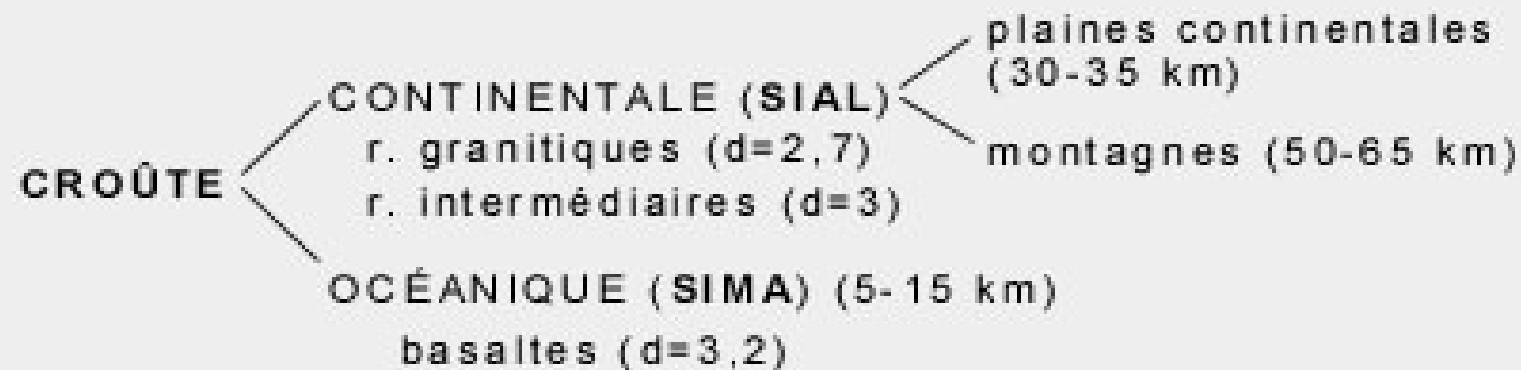


Feldspaths Si_3O_8 (K,Al)

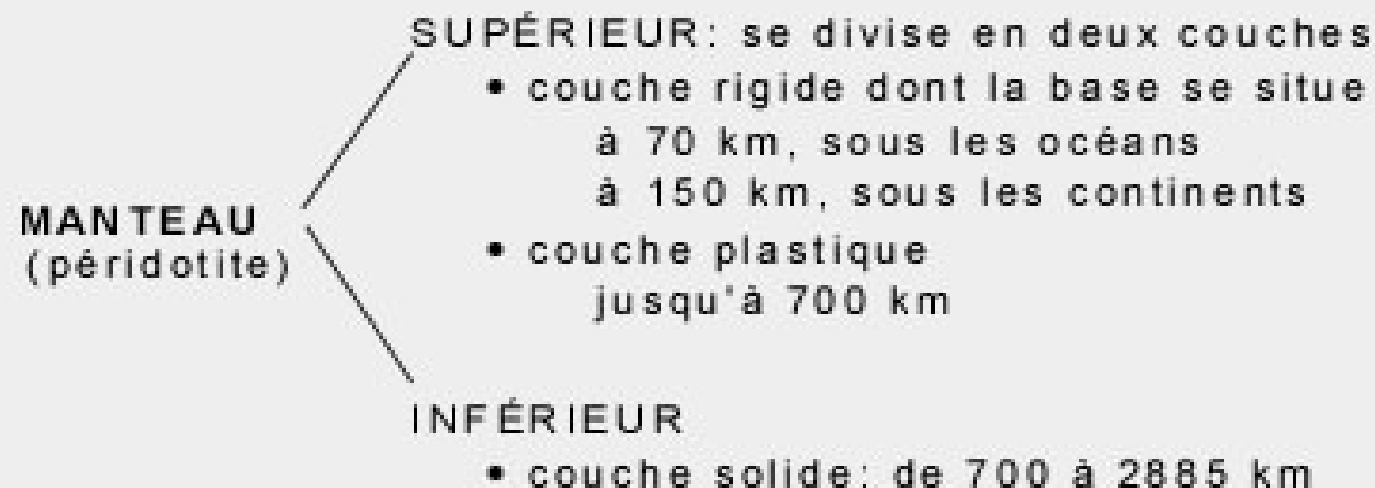


olivine **Olivine** $\text{SiO}_4 (\text{Fe,Mg})_2$

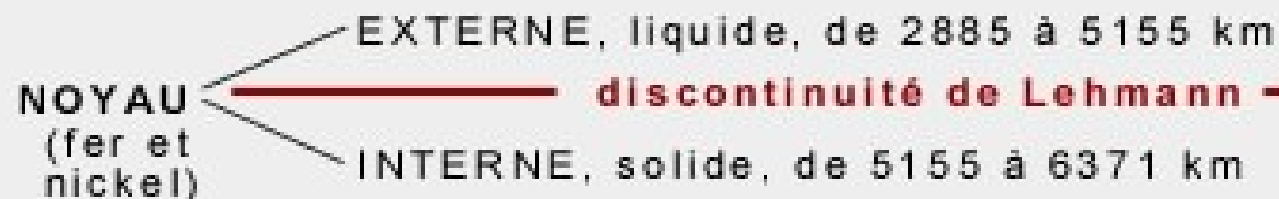
En résumé ...



— discontinuité de Mohorovicic (MOHO) —

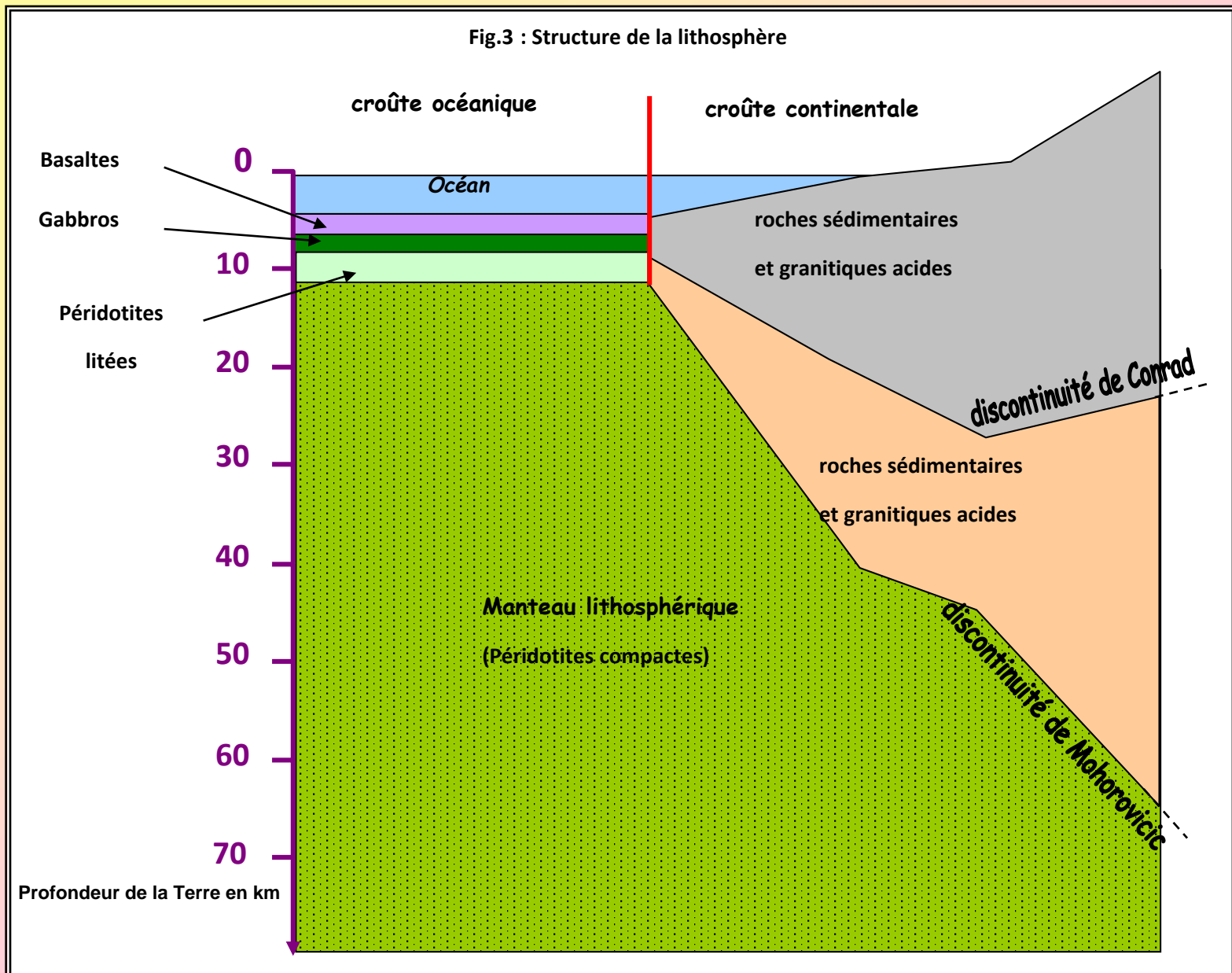


— discontinuité de Gutenberg —



— discontinuité de Lehmann —

Fig.3 : Structure de la lithosphère

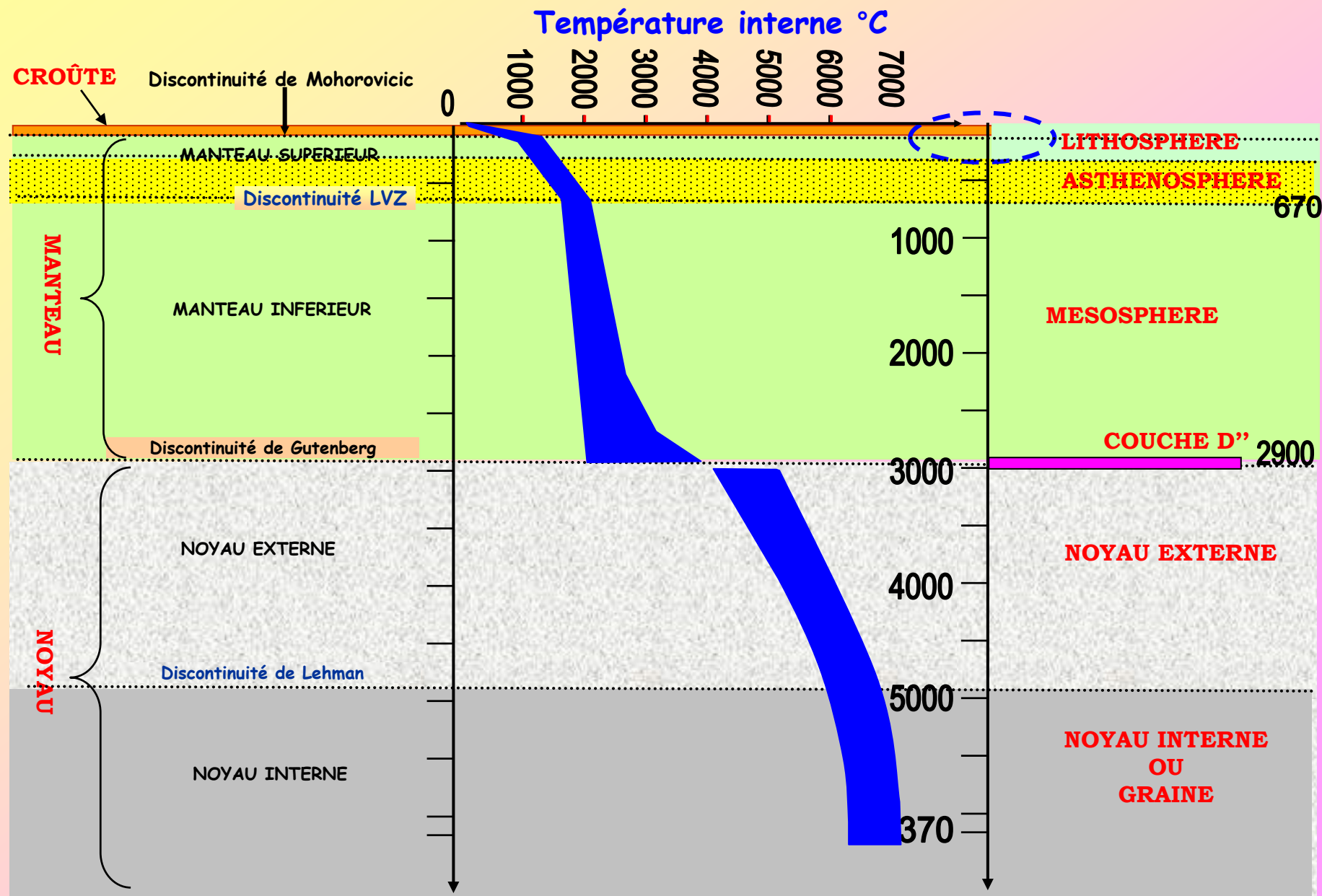


I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

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

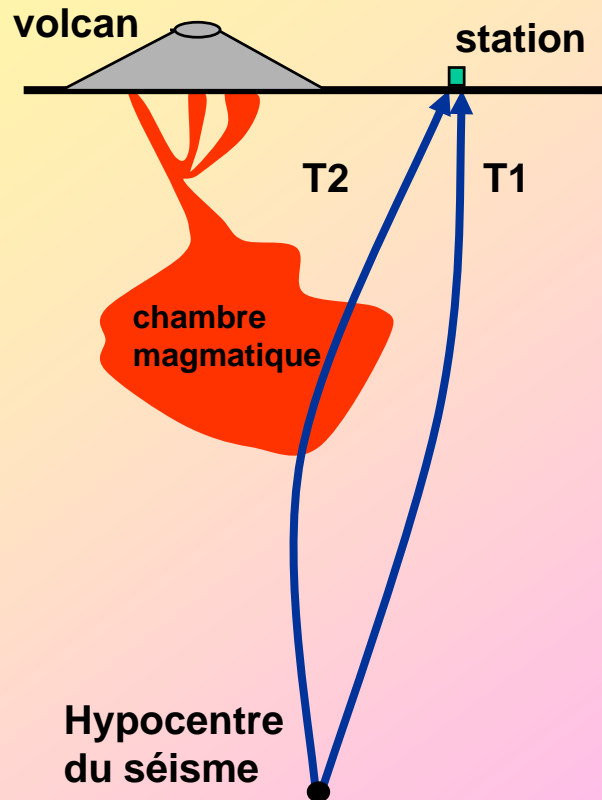
III - MODELE DYNAMIQUE DE LA TERRE

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

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

1 – La tomographie sismique

1.1. - Principe

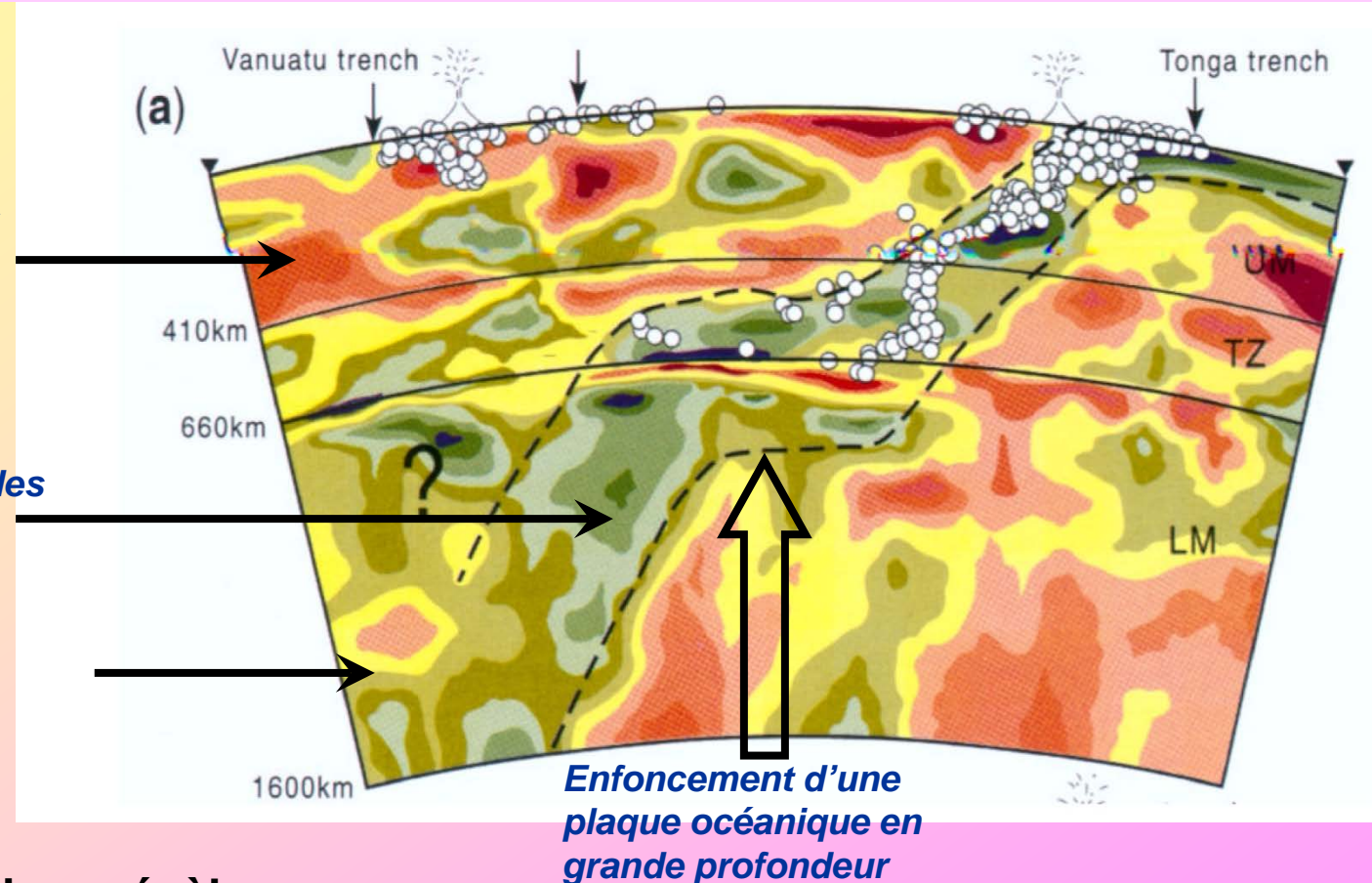
1.2. - Résultats

PROFIL TOMOGRAPHIQUE

Trajet lent des ondes sismiques dans un manteau chaud

Trajet rapide des ondes sismiques dans un manteau froid

Vitesse moyenne

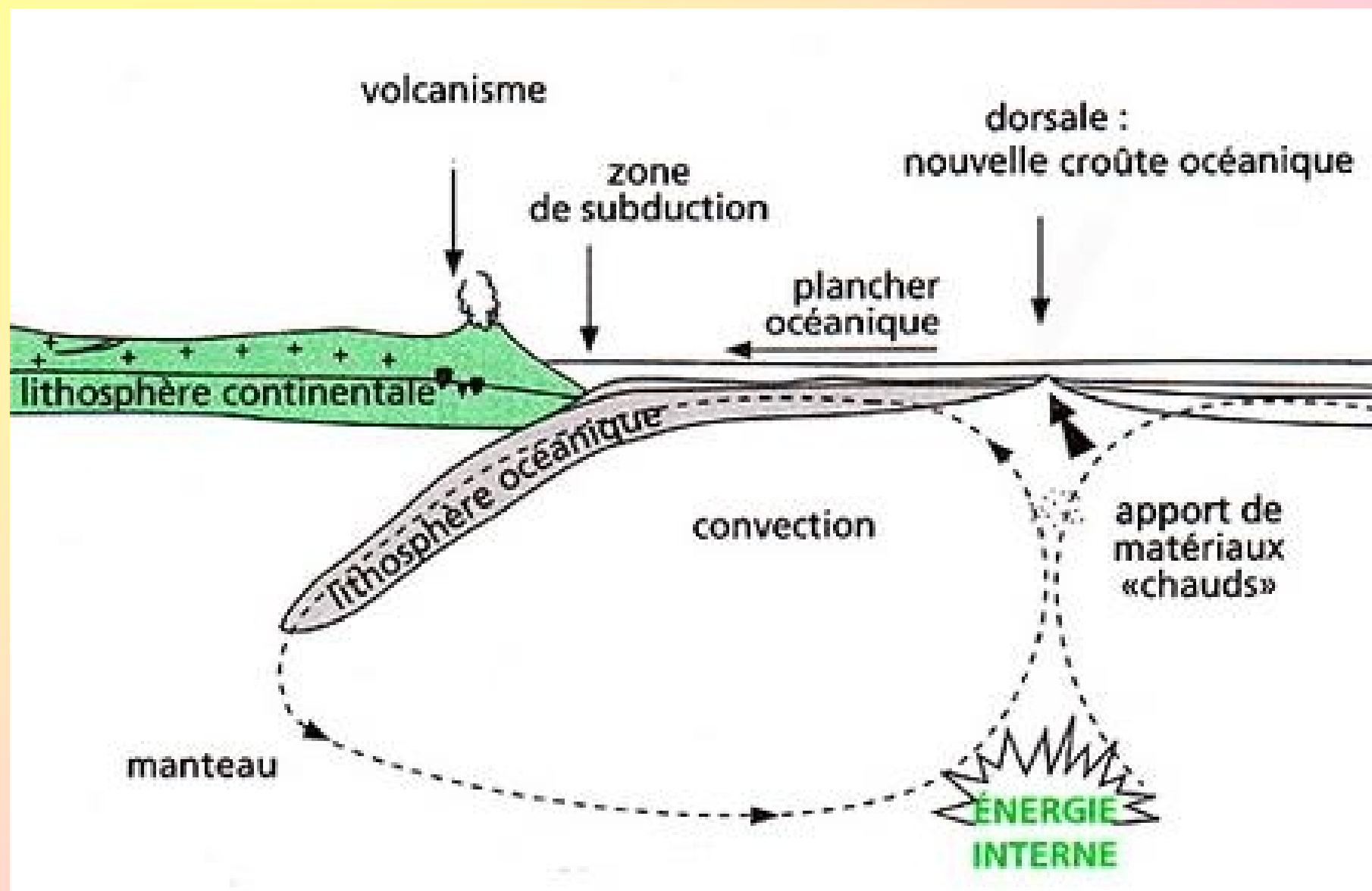


la tomographie sismique révèle que:

- 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

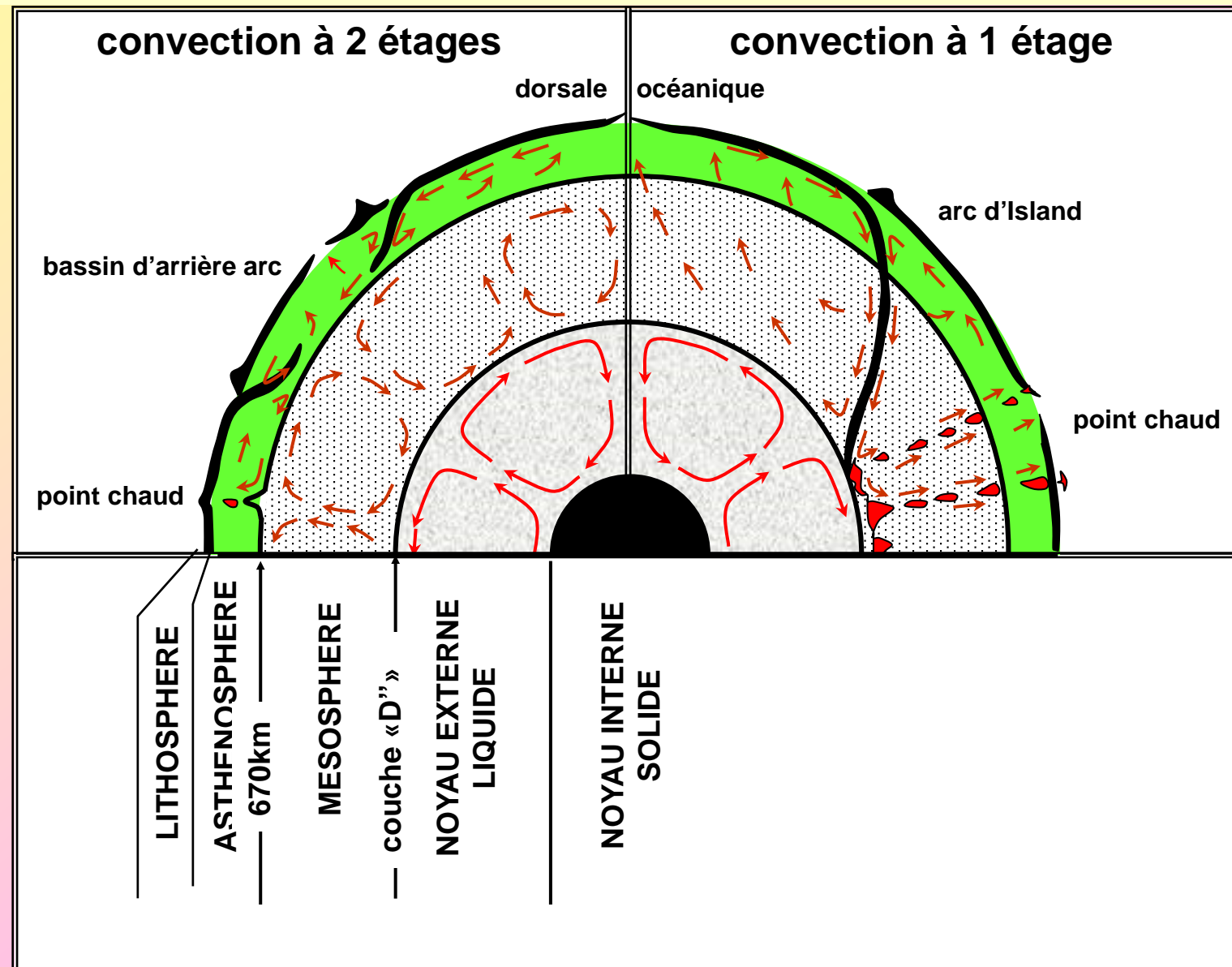
1 – La tomographie sismique

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.



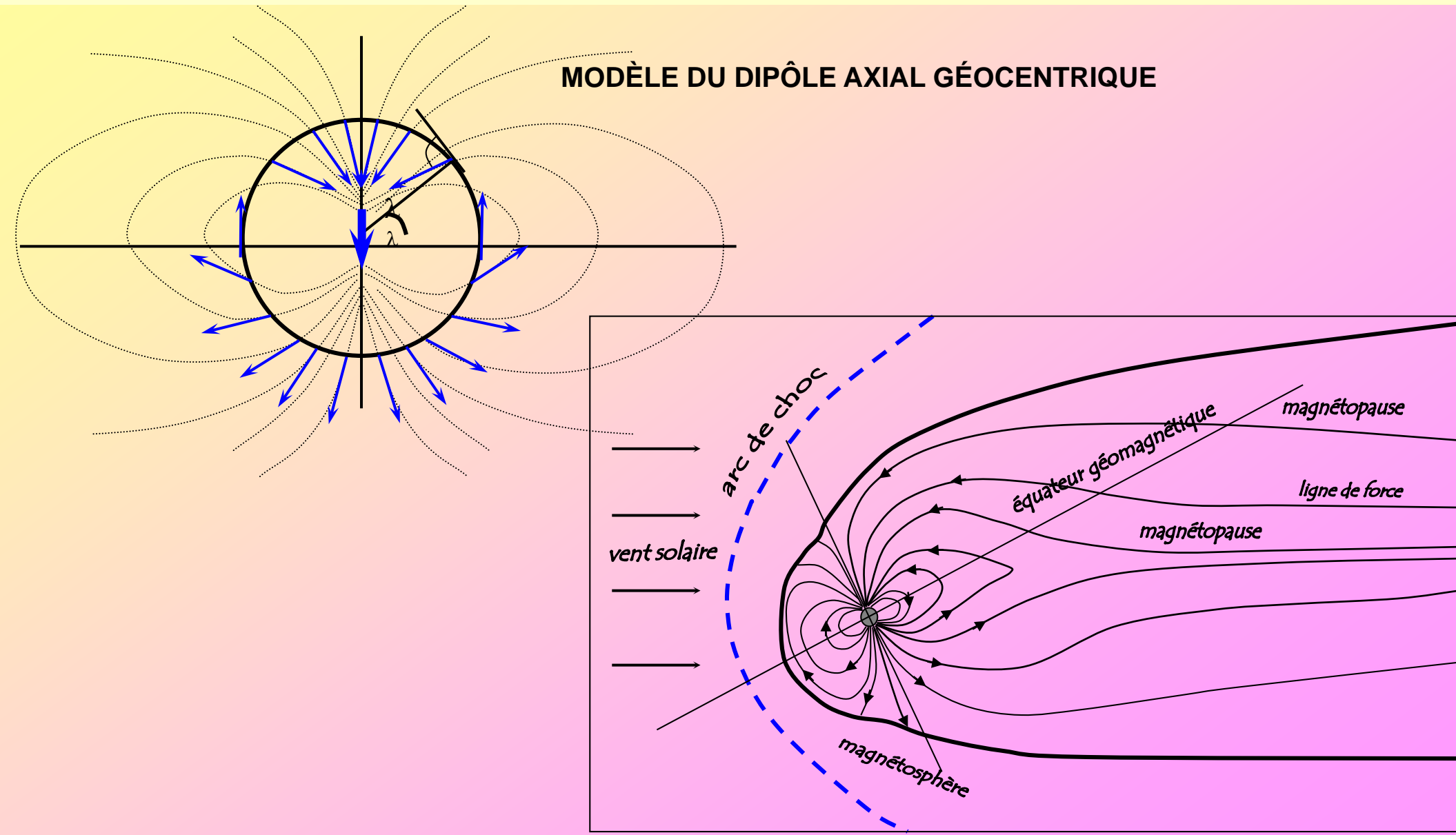
III - MODELE DYNAMIQUE DE LA TERRE

1 – La tomographie sismique

2 – La convection

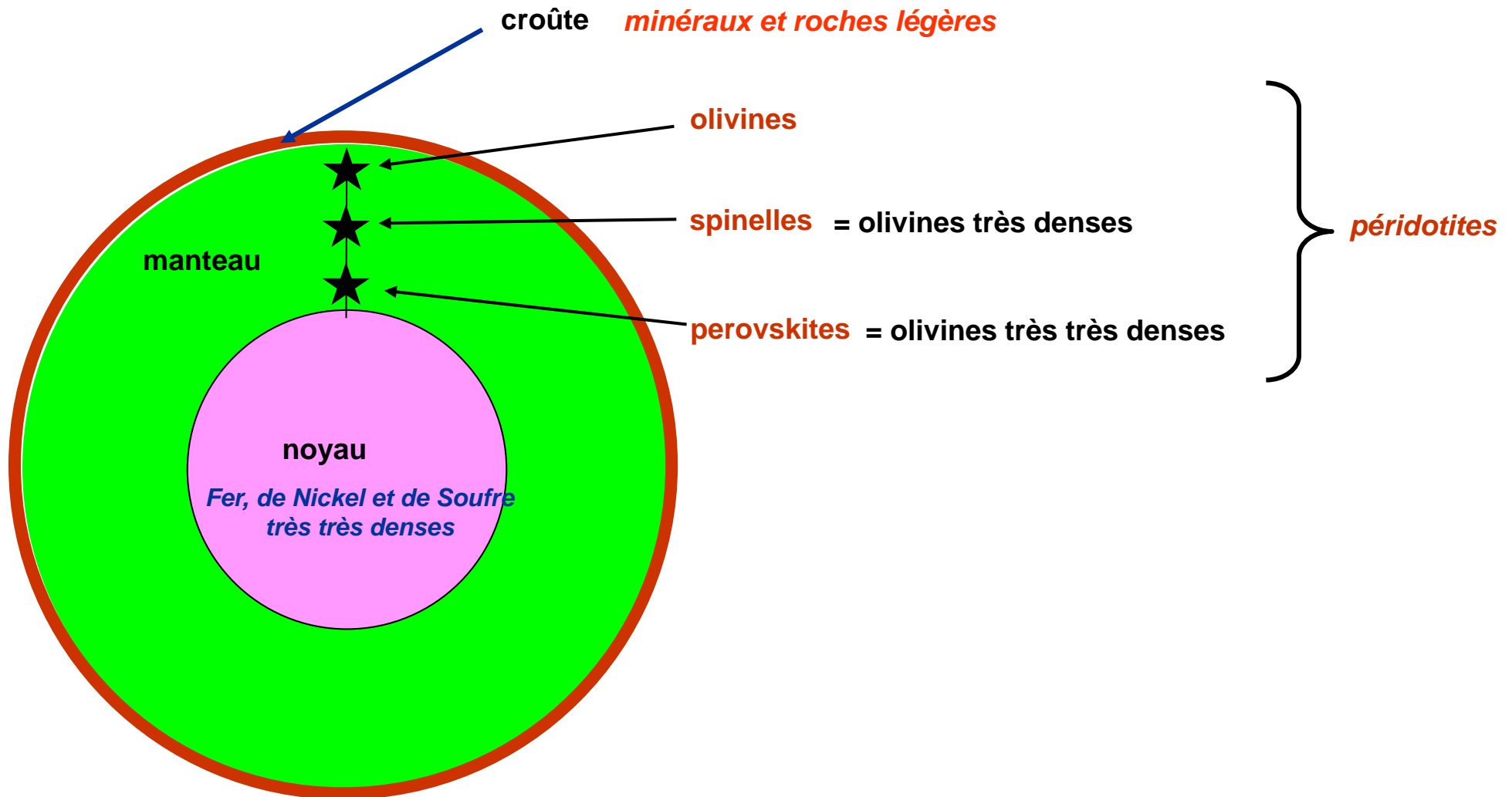
2.1. – La convection du manteau

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



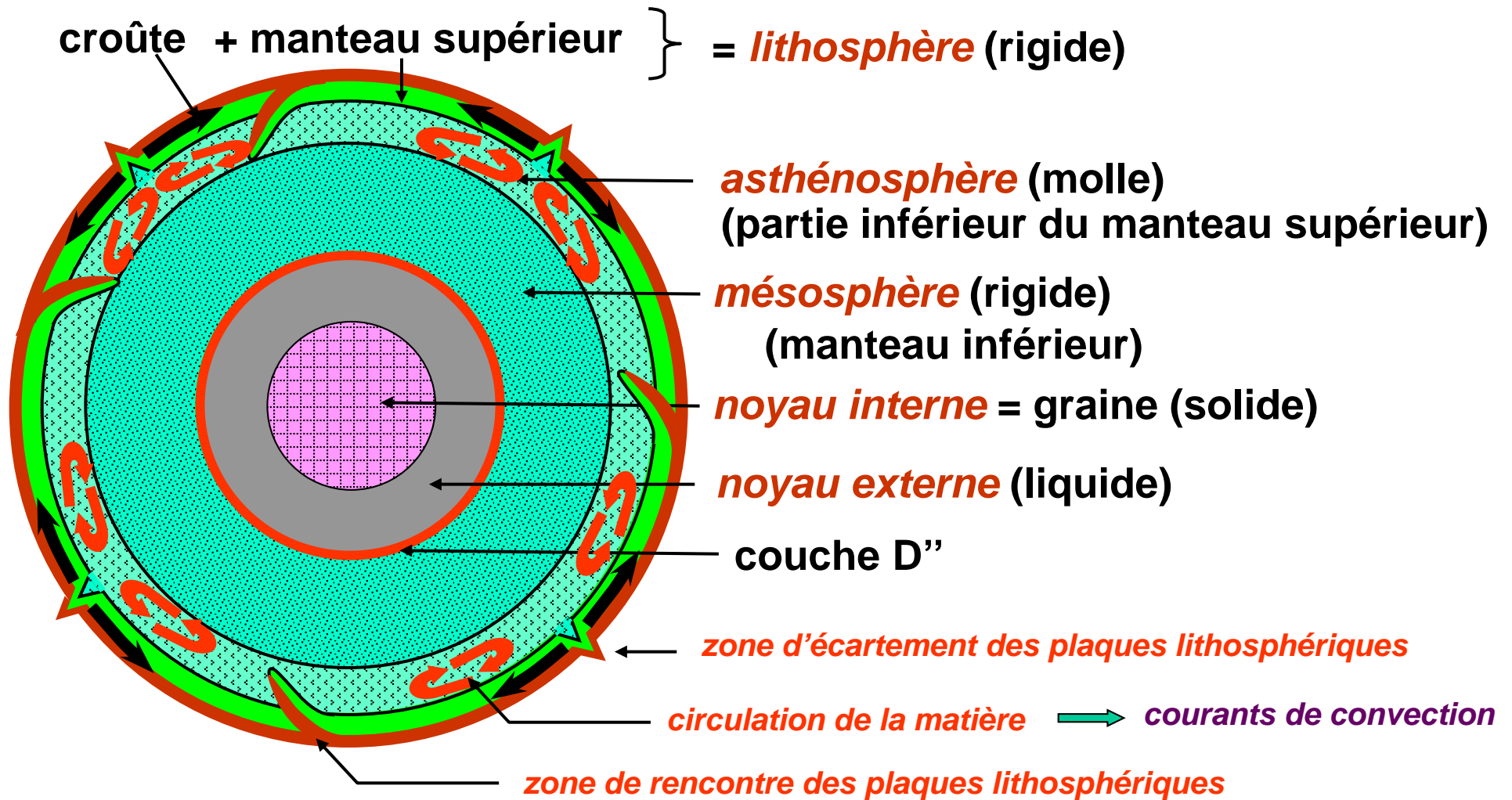
ANNEXE II

RECAPITULATIF DE LA STRUCTURE INTERNE DU GLOBE TERRESTRE



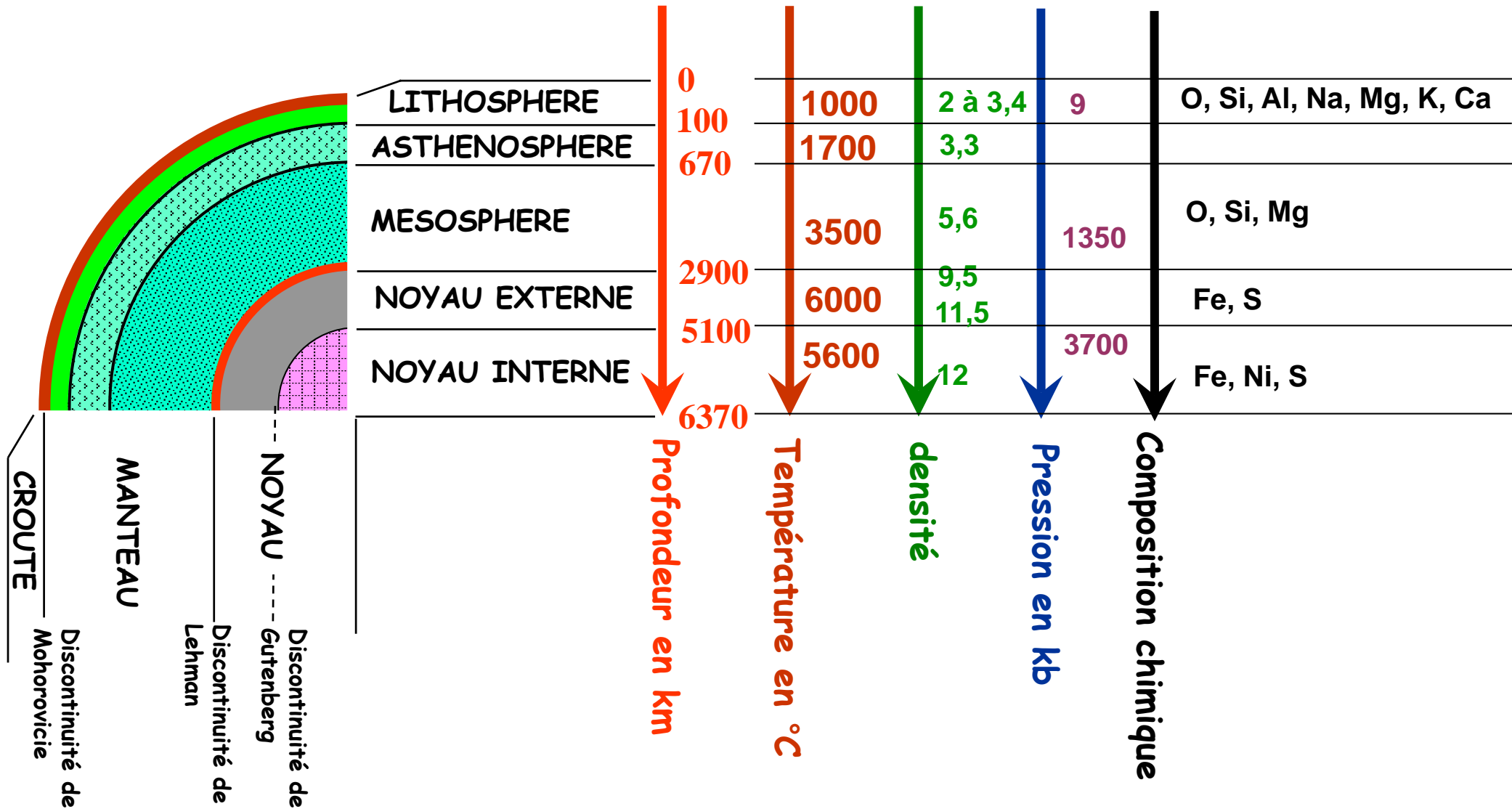
ANNEXE II

RECAPITULATIF DE LA STRUCTURE INTERNE DU GLOBE TERRESTRE (suite)



ANNEXE II

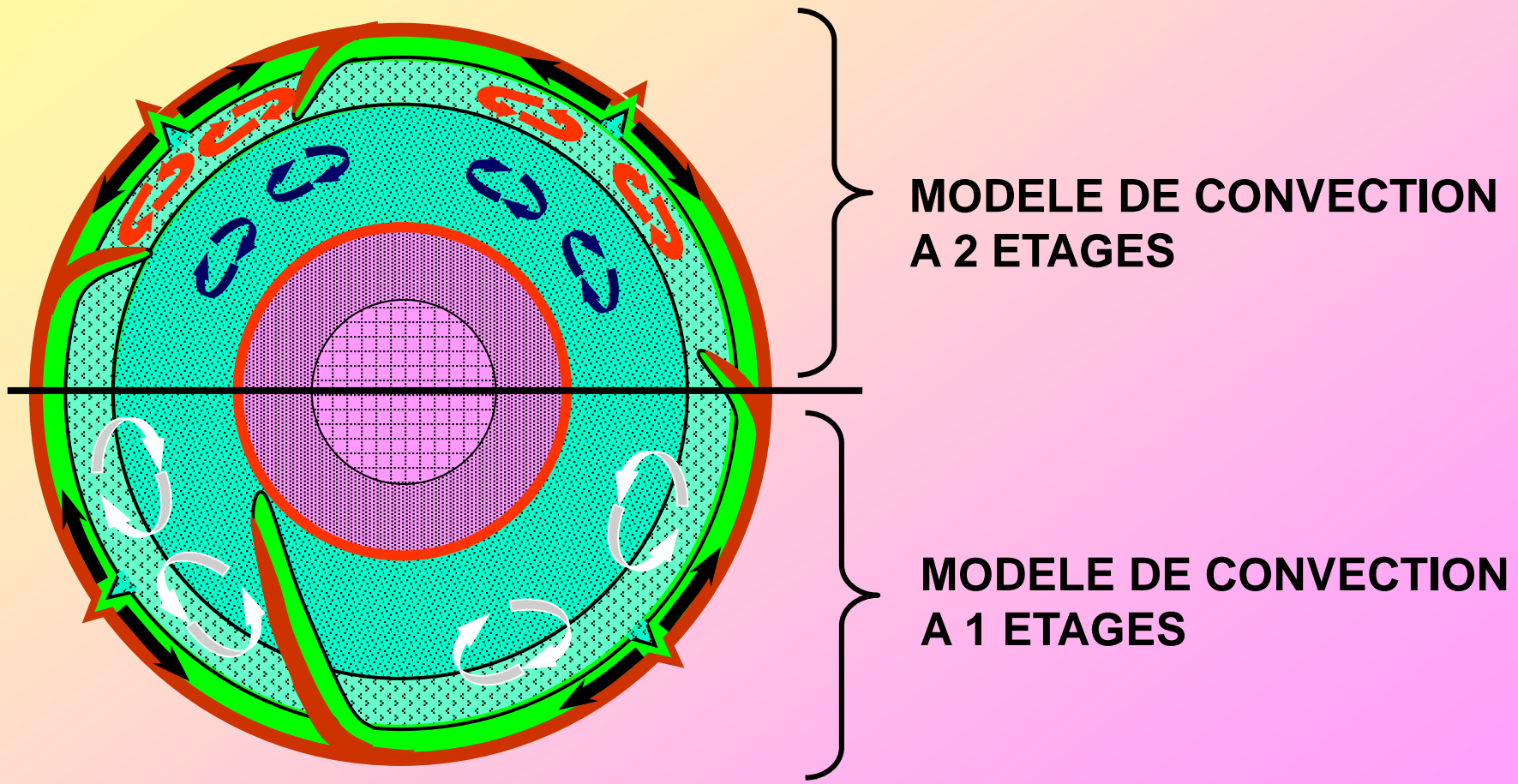
RECAPITULATIF DE LA STRUCTURE INTERNE DU GLOBE TERRESTRE (suite)



ANNEXE II

RECAPITULATIF DE LA STRUCTURE INTERNE DU GLOBE TERRESTRE (suite)

DEUX MODELES DE CONVECTION AU NIVEAU DU MANTEAU SONT POSSIBLES
(extrait de Philpots, 1990)



MERCI POUR VOTRE ATTENTION