

STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE (Deuxième partie)

Discontinuités, enveloppes de la Terre et ses dénominations

1. Introduction

Rappel du cours n°3 : La structure interne de la Terre désigne la répartition en enveloppes successives de l'intérieur de la Terre. Ces enveloppes, de plusieurs kilomètres d'épaisseur, ainsi que leurs limites ou surfaces de discontinuités, portent des noms spécifiques.

On a cité 3 dénominations : croûte, manteau, noyau.

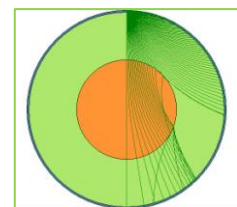
Des interprétations géophysiques et géologiques vont préciser, affiner cette première subdivision. D'autres noms vont être ajoutés : croûte continentale et croûte océanique, discontinuité de Mohorovicic ou Moho, LVZ, lithosphère, manteau supérieur, asthénosphère, limite 670 km, manteau profond, discontinuité de Gutenberg, noyau liquide, discontinuité de Lehman, noyau solide. (Termes à connaître et à retenir).

Signification du mot structure : très courant en géologie.



Structure

En géologie, c'est la façon dont sont disposées géométriquement des couches les unes par rapport aux autres. Exemple : A gauche, les couches présentent une structure horizontale. A droite, il s'agit de couches, ou enveloppes, concentriques (se referment autour d'un



2. Données sismologiques - Les ondes sismiques

Grâce à la sismologie et au comportement des ondes sismiques P et S, *notamment par leurs vitesses de propagation qui diffèrent en fonction des milieux traversés*, on peut retrouver les profondeurs des limites et discontinuités et faire des interprétations sur la nature physico-chimique des enveloppes.

Les ondes P ont la caractéristique de se propager dans les milieux solides et liquides.

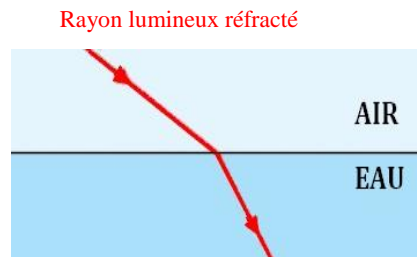
Les ondes S ne se propagent que dans les milieux solides.

- Comparaison : rayons lumineux / ondes sismiques

Les ondes sismiques sont des vibrations dont le comportement est comparable à celui des rayons lumineux. Ces derniers modifient obligatoirement leur vitesse et leur trajectoire en

passant d'un milieu à un autre, par exemple air/eau. C'est le phénomène de réflexion / réfraction.

Dans le cas de la réflexion (miroir), le rayon se réfléchit selon le même angle. La figure est symétrique. Dans le cas de la réfraction, le rayon traverse la lame de verre en formant un angle plus petit à la sortie. Les rayons sont déviés, réfractés ou réfléchis à chaque changement du milieu. On dit que les indices de réfraction, représentés par la lettre « n » de ces 2 milieux, sont différents.



Définition Indice de réfraction :

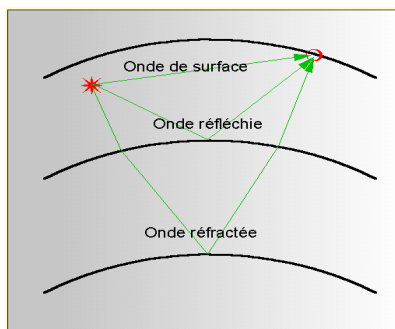
Il s'exprime par un nombre qui caractérise la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu concerné. Ex :

$n_{\text{air}} = 1,0003$ et $n_{\text{eau}} = 1,3329$ et

$n_{\text{quartz}} = 1,55$

Indice de réfraction est calculé par le rapport entre la célérité (ou vitesse) de la lumière « c » dans le vide (où $n=1$) et celle « v » dans le milieu traversé : $n = c / v$, ou $1/v$.

- Cas des ondes sismiques



Un séisme (point rouge) émet des ondes de surface et des ondes qui pénètrent en profondeur avant de ressortir à la surface.

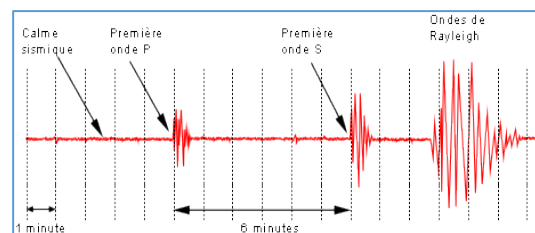
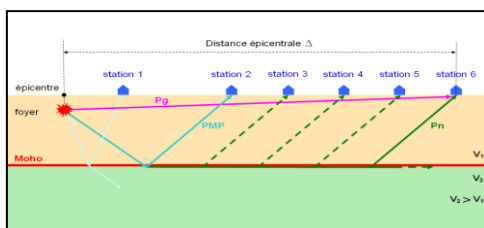
Les ondes de surfaces sont les « ondes L ».

Les ondes P et S sont les ondes de volume qui pénètrent en profondeur, soumises aux lois de la réflexion / réfraction (dites de Snell/Descartes). Ce sont elles qui apportent des indications sur la structure de la Terre.

3. Sismologie et structure interne de la Terre : ondes P et S

Le cheminement des ondes P et S depuis la surface « 0 » jusqu'à « 6371 kilomètres=rayon de la Terre » permet d'étudier l'intérieur du globe. Pour cela, le dispositif est le suivant : différentes stations sismiques sont réparties à la surface du globe. Dans chaque station il existe au moins 3 sismomètres disposés de façon telle que les ondes qui leur parviennent sont enregistrées dans les 3 directions de l'espace.

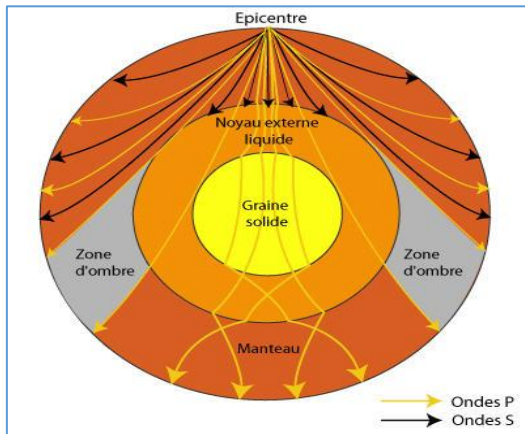
Disposition des stations à surface du globe



Lorsqu'un séisme a lieu, on constate que les ondes qui parviennent de n'importe quel foyer sismique donnent toujours les mêmes sismogrammes.

- La ressemblance à l'échelle du globe de tous les diagrammes, amène à déduire que **l'intérieur de la Terre possède une structure sphérique.**
- La propagation et le trajet des ondes sismiques, montrent que les vitesses des ondes P et S subissent des modifications brutales (réflexion-réfraction) lorsqu'elles s'enfoncent à l'intérieur de la Terre. **On en déduit que l'intérieur de la Terre n'est pas homogène.**
- Certaines profondeurs sont traversées par les zones P. On conclut à l'existence de matériaux solides et /ou **liquides**. D'autres milieux ne sont traversés que par les ondes S, l'interprétation amène à dire que d'autres enveloppes traversées sont **solides**.

A retenir :



La sismologie met en évidence des surfaces de discontinuités et des limites montrant ainsi que la structure interne de la Terre n'est pas homogène.

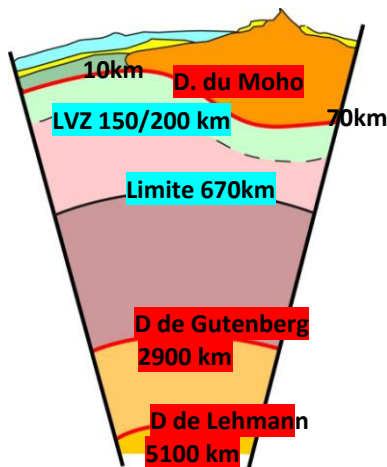
Cette hétérogénéité (contraire d'homogénéité) donne au globe une structure en enveloppes concentriques où alternent des états solides et liquides. Leur densité, leur nature pétrographique et chimique, leur température, sont également différentes d'une enveloppe à une autre.

4. Discontinuités, limites et enveloppes de la Terre

Récapitulation : définition *discontinuité* et *limite*: Au sein de la Terre, une **discontinuité** est une surface imaginaire obtenue par des calculs et suite à des interprétations. Elle est repérée par des modifications brutales de la vitesse de propagation des ondes sismiques. Elle sépare des enveloppes de nature différentes. Si la surface n'est pas nette, on parle de **limites**.

De la surface jusqu'au centre de la Terre qui correspond à son rayon, on distingue 3 discontinuités (D) et 2 limites.

Surface de la Terre (Mers et montagnes)



A retenir

Discontinuités et limites :

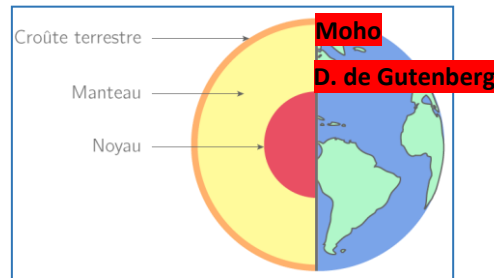
3 discontinuités majeures et **2 limites**

Profondeurs en kilomètres :

- D. du Moho : de 10 à 70 km
- LVZ : 150/200 km
- Limite 670 km
- Discontinuité de Gutenberg : 2900 km
- Discontinuité de Lehmann : 5100 km

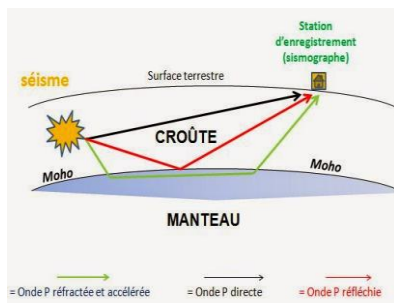
• 6371 km (Rayon = profondeur de la Terre)

Ces discontinuités et limites vont déterminer les enveloppes. Les subdivisions en croûte, manteau et noyau vont être affinées.



a- La Discontinuité de Mohorovicic ou **MOHO** et la **CROUTE TERRESTRE**

Cette discontinuité a été détectée par Mohorovicic (1909, Croatie) qui lui donna son nom et abrégée Moho. Les ondes P, ont sur les premiers kilomètres qu'on précisera plus bas, une vitesse de 7 km/s.

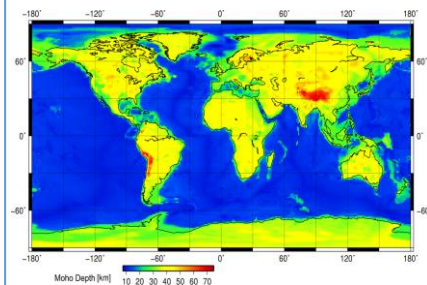


Le rayon rouge se réfracte sur une discontinuité

Le Moho

Sous le Moho : le Manteau terrestre

(Une enveloppe)



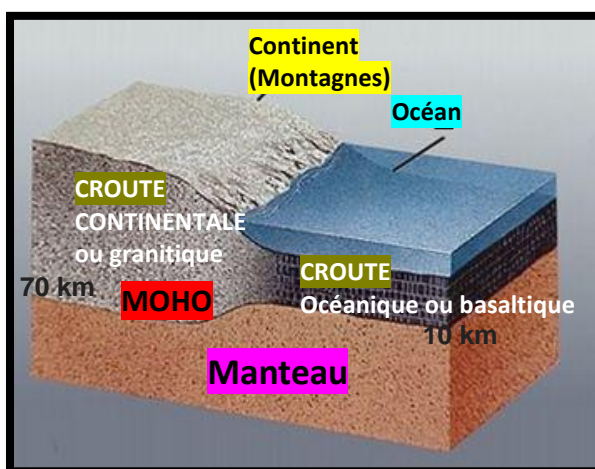
Carte du monde montrant la position du Moho (en bas)

La Moho est variable (comme le montre la carte du globe) : Sous les continents il est à 70 km (en moyenne) de profondeur. Sous les océans et les mers, il se trouve à 10 km (en moyenne).

Au sein de la Terre le Moho délimite une première enveloppe : la **croûte terrestre** qui affleure à la surface de la Terre. Elle est rigide (dure).

On distingue 2 types de croûtes dont la nature pétrographique des roches et la densité sont très différentes. (Voir encadré)

A retenir



Croûte terrestre :

croûte continentale + croûte océanique : Rigide.

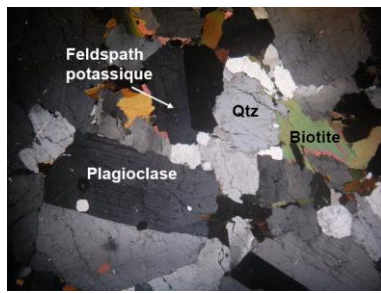
Profondeur du Moho sous les continents : 70 km
(en moyenne)

1- Croûte continentale : granitique. Densité d : 2,65 (plus légère que la croûte océanique).

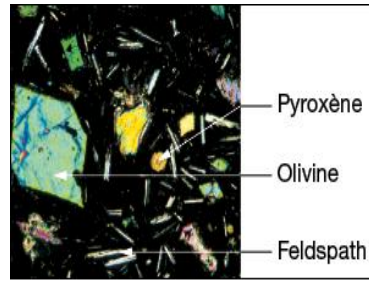
Sous les océans : Moho à 10 km (en moyenne).

2- Croûte océanique : basaltique, densité d : 2,90

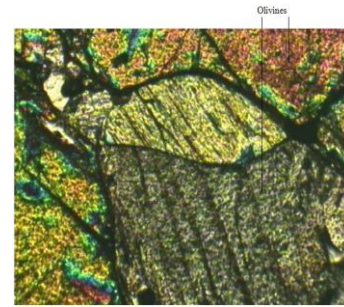
La discontinuité du Moho est majeure : elle sépare la croûte terrestre du manteau terrestre



Granite : Vp : 6,25 km/s



Basalte : Vp : 6,75 km/s



Péridotite Vp : 8 km/s. d=3,3

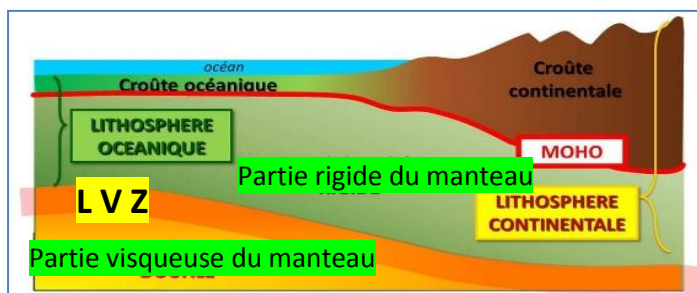
Sous le Moho débute le Manteau terrestre dans lequel on distingue deux limites, la LVZ et la limite « 670 km ».

b- La Low Velocity Zone (LVZ) et la LITHOSPHERE

- La lithosphère est une enveloppe **solide**

En quittant la croûte terrestre, en descendant un peu dans le manteau, les ondes P traversent une enveloppe encore rigide, mais formée de roches appelées péridotites (photo) dans lesquelles la vitesse et la densité augmentent.

Arrivées à une profondeur de 150-200 km à partir de la surface, les ondes marquent une légère diminution de leur vitesse. Il ne s'agit pas d'une discontinuité, mais comme son nom l'indique, d'une « zone » (une bande), qui indique une limite dénommée en anglais : Low Velocity Zone ou LVZ, en français : zone à faible vitesse.



LITHOSPHERE : Assemblage de la croûte terrestre + partie rigide du Manteau (péridotites).

Comme pour les croûtes on peut distinguer une lithosphère océanique et une lithosphère continentale.

(Retenir seulement lithosphère)

Cette partie rigide du manteau est ajoutée à la croûte terrestre, elle-aussi rigide pour former la LITHOSPHERE ou MANTEAU LITHOSPHERIQUE. On parle également de MANTEAU PERIDOTITIQUE (car formées de roches : péridotites).

c- Limite 670 km : **Asthénosphère ou manteau supérieur**

- L'asthénosphère est une enveloppe **liquide**

Au-delà de la LVZ, les matériaux deviennent liquides (on dit aussi visqueux), jusqu'à une **limite située à 670 km** (arrondie parfois à 700 km). Cette enveloppe du manteau, située entre la LVZ et la limite 670 km, est dénommée ASTHENOSPHERE ou manteau supérieur.

De ce fait la lithosphère rigide se trouve sur une asthénosphère visqueuse. On verra que cette structure est en relation étroite avec le modèle de la Tectonique des Plaques (*dernier cours*).

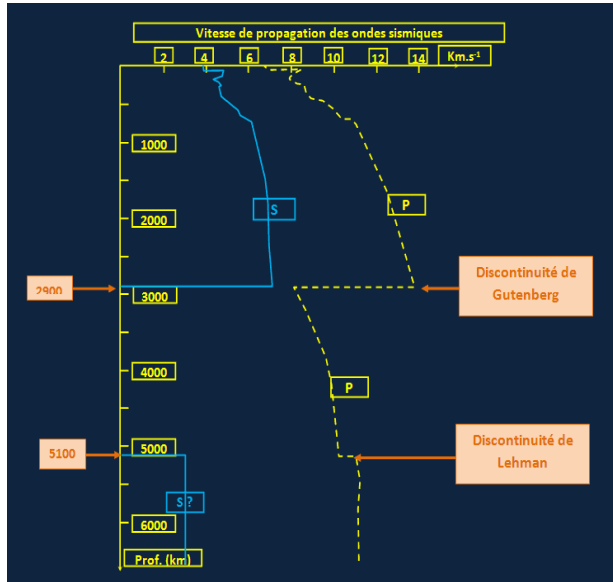
- Le manteau profond est une enveloppe **solide**

L'enveloppe située entre la limite 670 km et la discontinuité de Gutenberg, qui marque la fin du manteau, est nommée manteau profond ou barysphère. On pense que sa nature est solide.

d- La discontinuité de Gutenberg et le noyau « entier »

Le comportement des ondes est donné par des graphes (hodographes), ci-dessous :

La courbe bleue exprime les vitesses des ondes S ; la courbe jaune, les vitesses des P.



Interprétation : Les courbes ne sont pas continues. Elles sont saccadées, **discontinues**, varient brutalement à mesure qu'elles s'enfoncent.

A 2900 km, les courbes reviennent en arrière. Il y a diminution des vitesses V_p et V_s (de près de 14 km/s, elles redescendent à environ 7 km/s pour V_p et de 6 km/s à 0 km/s pour V_s).

Il s'agit de la mise en évidence de la **discontinuité de Gutenberg** qui marque, par ailleurs, un saut énorme de la température qui passe de 2200 °C à 3450 °C. Idem pour la densité (autre diagramme, voir plus bas).

Sur ce graphe, les profondeurs sont portées en ordonnées (« verticales ») et varient de 0 à 6370 kilomètres (on arrondit le nombre 6371). Les vitesses des ondes P et S sont en abscisses (« horizontales ») exprimées en km par seconde (km.s⁻¹).

La discontinuité de Gutenberg représente la discontinuité majeure de la Terre. Elle marque le passage du manteau au noyau terrestre.

e- La discontinuité de Lehmann : subdivision noyau externe / noyau interne

La discontinuité de Lehmann met en évidence que le noyau se compose de 2 parties. Sur le graphe, on remarque qu'entre 2900 et 5100 km, les ondes S ne traversent pas cette enveloppe. Par contre, elle est traversée par les ondes P. On en déduit que le noyau possède une partie supérieure ou externe qui est liquide et un noyau interne solide.

- **Le noyau externe est une enveloppe liquide.**

Il se compose de fer et sa densité est de l'ordre de 9.

Les ondes S, entre 5100 km et le centre de la Terre, traversent à nouveau une enveloppe qui est solide. Il s'agit du noyau interne dénommé : graine.

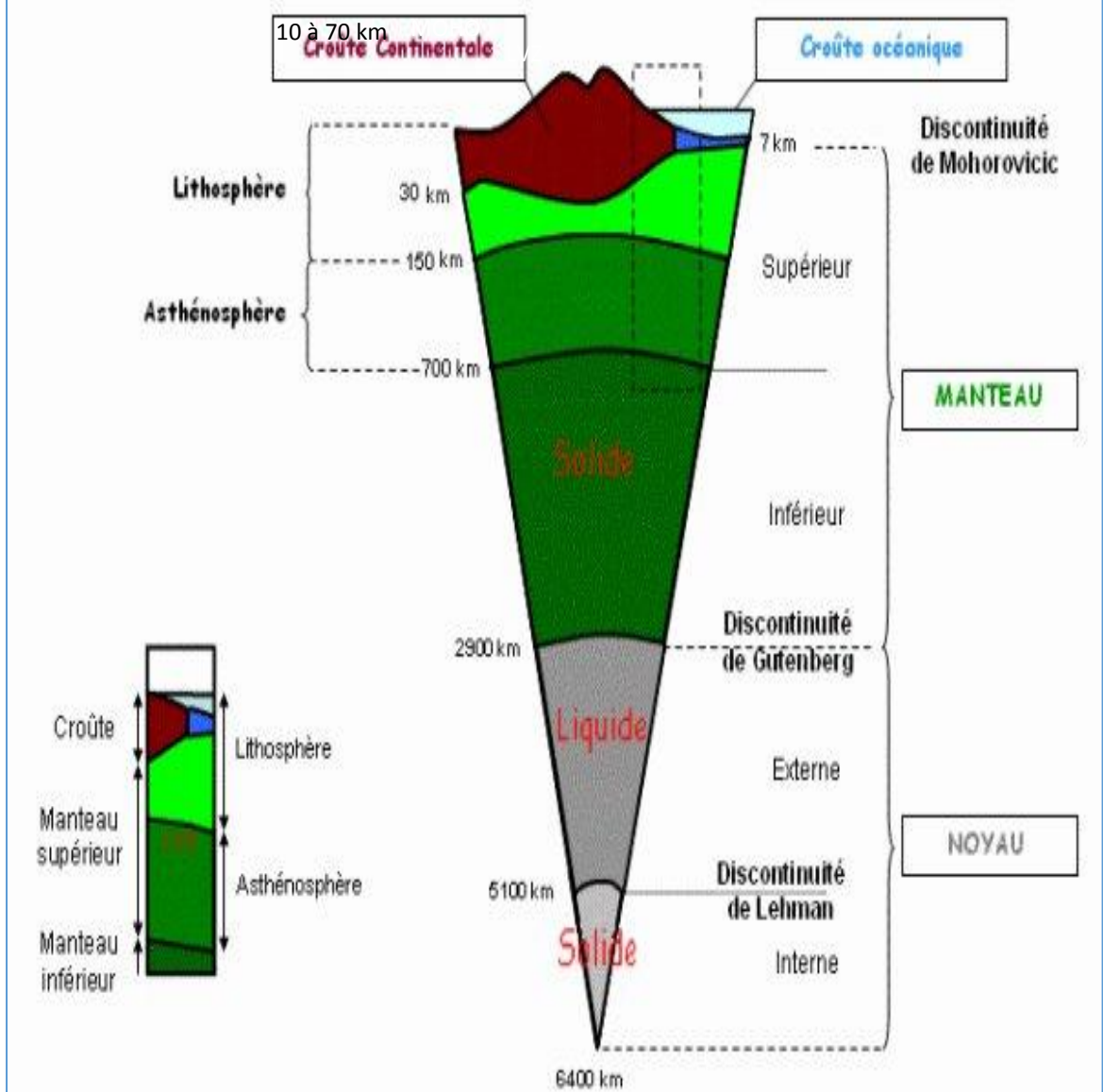
- **Le noyau interne est une enveloppe solide**

Il se compose de fer et de nickel et sa densité est de l'ordre de 12.

5. Récapitulation : la structure interne de la Terre

La Terre possède une structure interne dans laquelle alternent des enveloppes solides et liquides dont la densité augmente de la surface vers la profondeur.

SCHEMA BILAN DE LA STRUCTURE INTERNE DU GLOBE TERRESTRE



Sur ce schéma (imprimé, de préférence) compléter avec toutes les indications (vitesses des ondes, densité des matériaux, nature pétrographique, nature du matériau (solide ou liquide) cités dans ce cours.

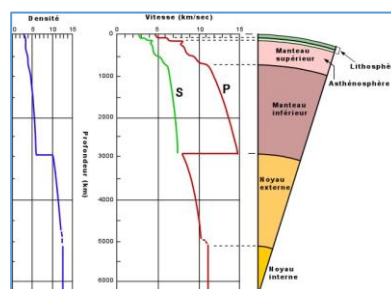


Figure complémentaire montrant **la variation de la densité** entre le noyau externe et le noyau interne. S'agit-il d'une limite ou d'une discontinuité ? Préciser le nom.