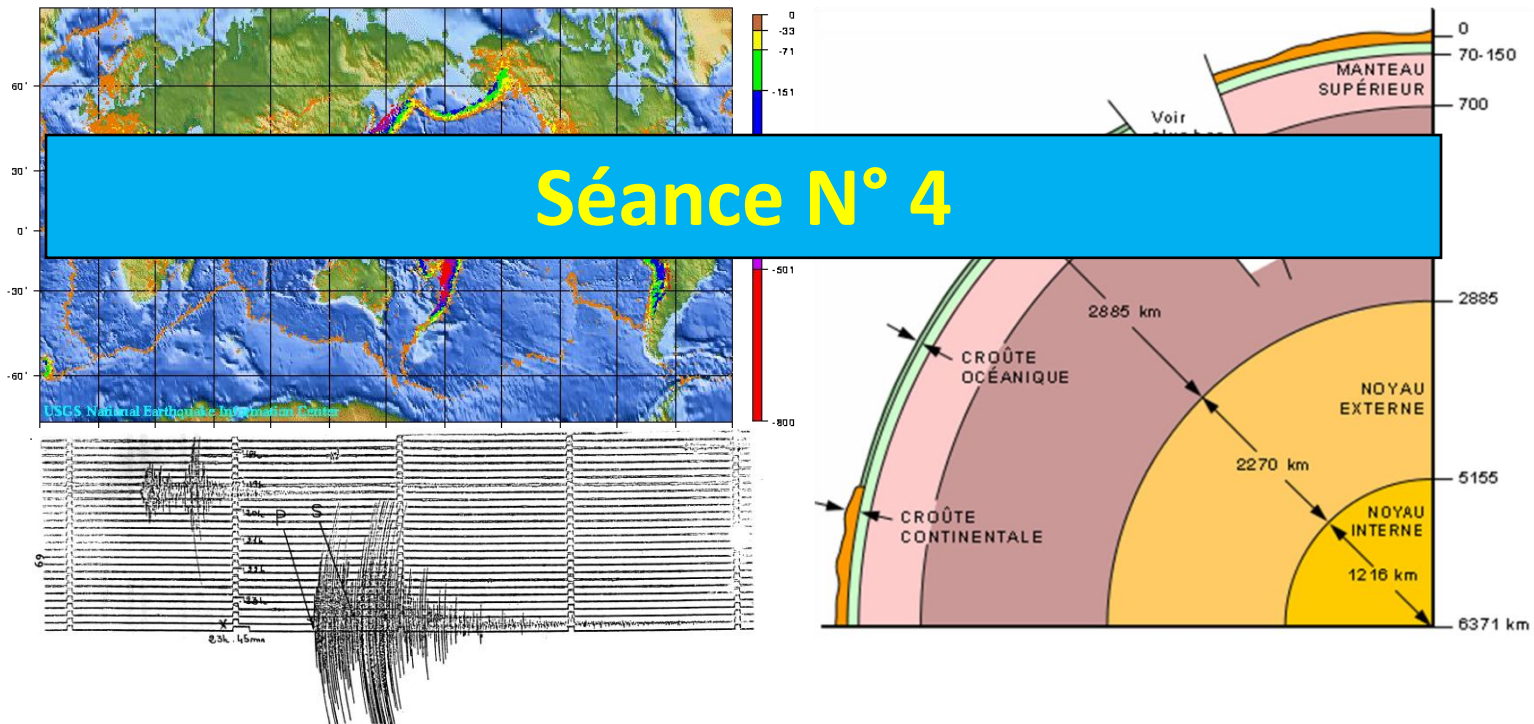


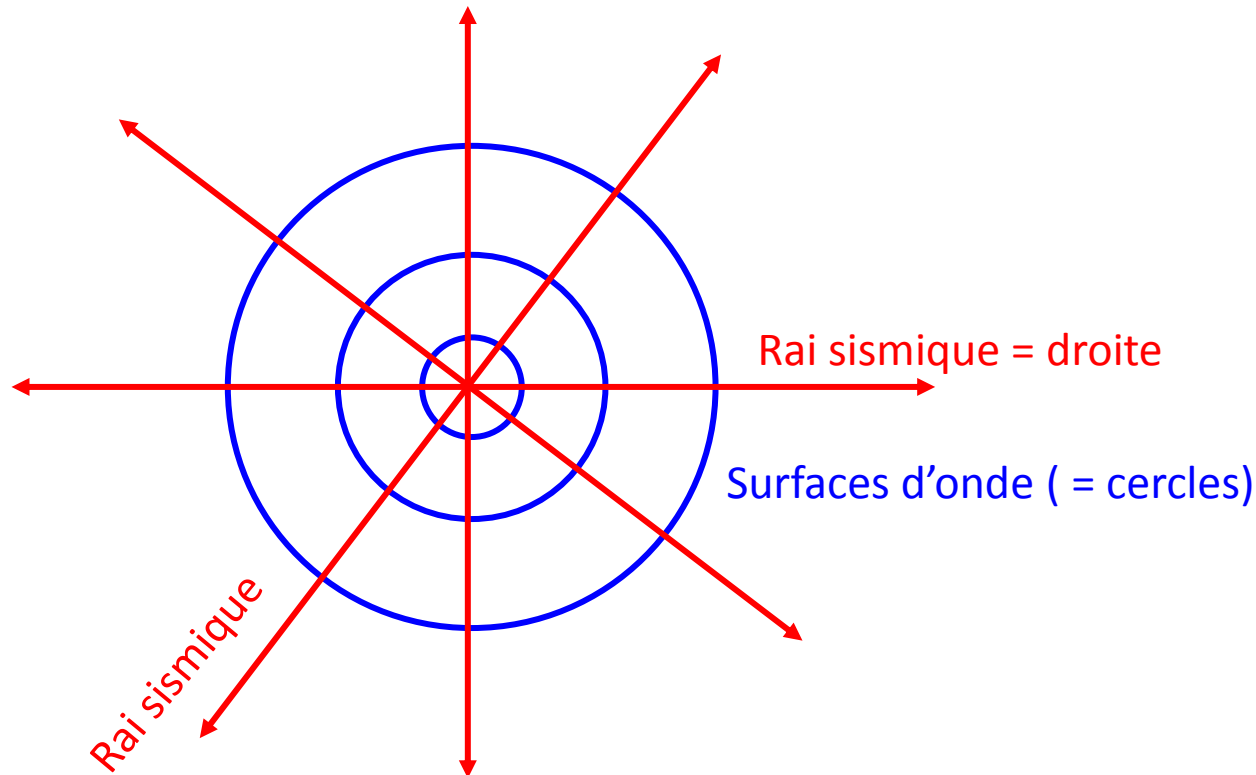
Notions de sismologie et structure interne de La Terre



7- Sismologie et structure interne de la terre

b- La trajectoire des ondes sismiques et comportement des ondes au niveau des interfaces (discontinuités)

On appelle rai sismique la ligne perpendiculaire à la surface d'onde le long de laquelle l'énergie se déplace

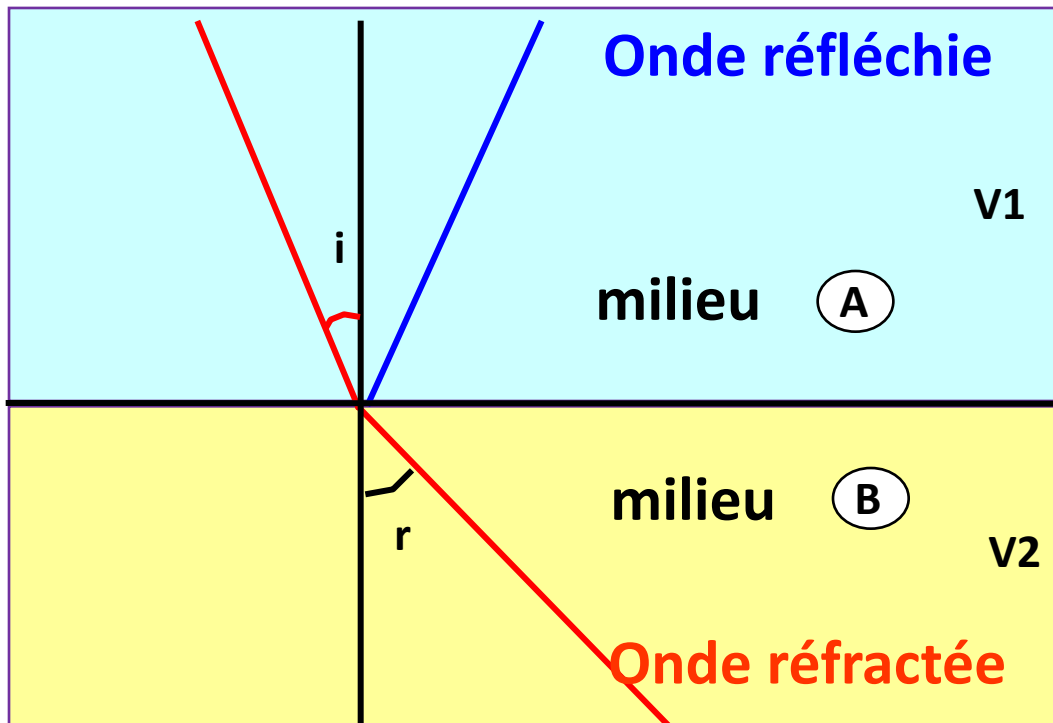


7- Sismologie et structure interne de la terre

b- La trajectoire des ondes sismiques et comportement des ondes au niveau des interfaces (discontinuités)

La trajectoire des **rais sismiques** n'est pas rectiligne, car:

- d'une part l'intérieur de la terre n'est pas homogène:
- d'autre part présentent des analogies avec les **principes fondamentaux d'optique** de Descartes.



$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$$

Discontinuité = interface

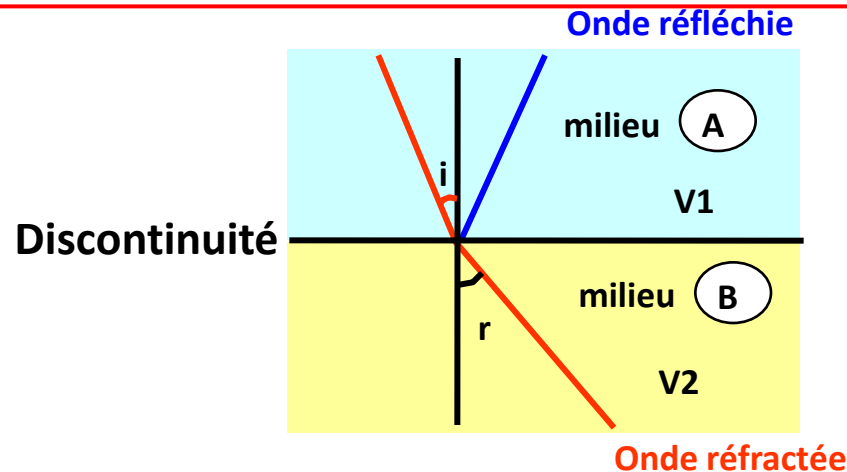
i = angle d'incidence du rai
r = angle de réfraction du rai
V1 et V2 sont les vitesses des
Ondes dans les deux milieu

7- Sismologie et structure interne de la terre

b- La trajectoire des ondes sismiques et comportement des ondes au niveau des interfaces (discontinuités)

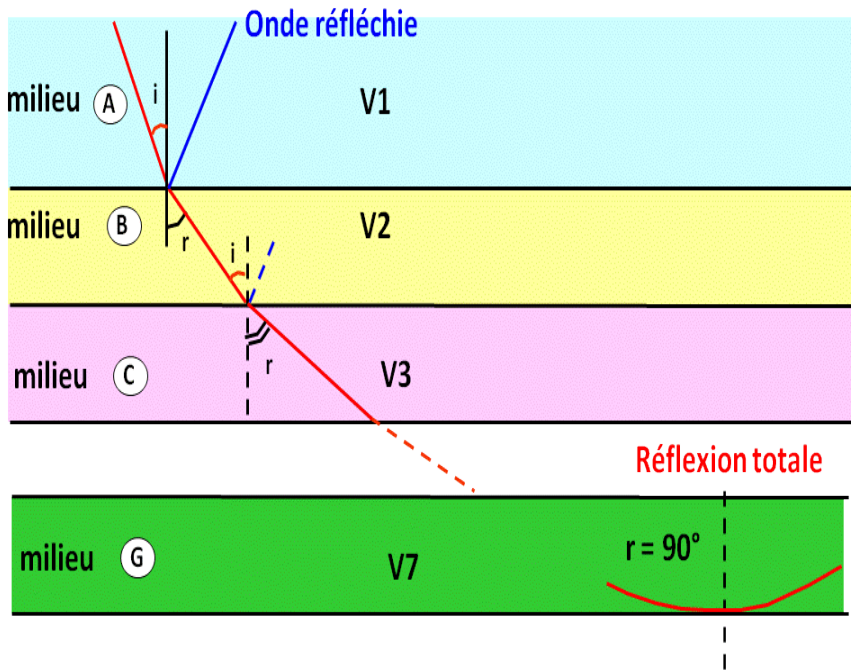
Lorsqu'on considère deux milieux de la terre à propriétés physiques différentes, la surface de séparation entre ces couches est une **discontinuité** qui peut se comporter de deux façons:

- Soit qu'elle renvoie la totalité des ondes sismiques vers le milieu supérieur, on parle de **réflexion totale de l'énergie**;
- Soit qu'elle renvoie une partie des ondes sismiques vers le milieu supérieur (ondes réfléchies); alors que l'autre partie est renvoyée vers le milieu inférieur (ondes réfractées).



7- Sismologie et structure interne de la terre

b- La trajectoire des ondes sismiques et comportement des ondes au niveau des interfaces (discontinuités)

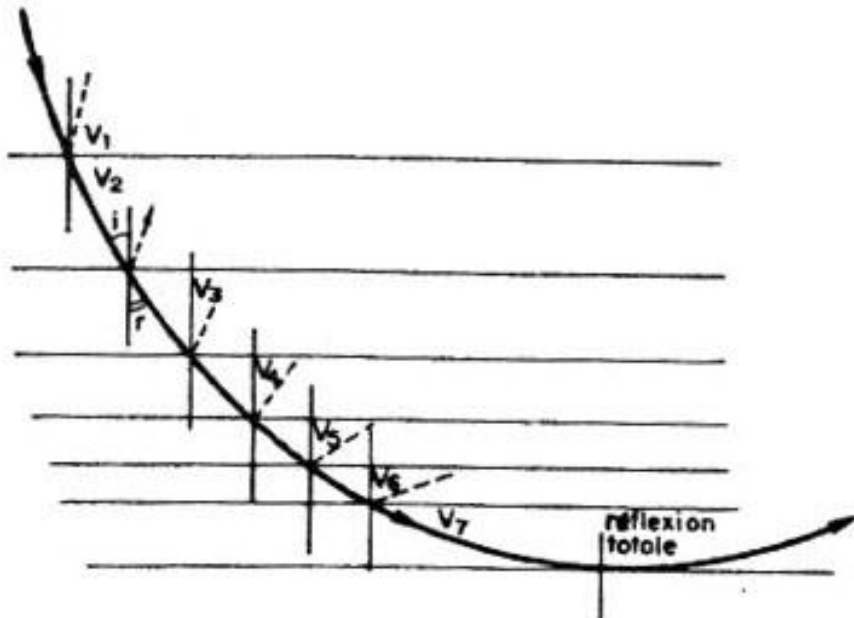


Lorsque $V_2 > V_1$ on a une réflexion partielle et l'onde réfractée se déplace le long de la surface de séparation de la couche suivante en donnant naissance à de nouveaux fronts d'ondes.

Imaginons maintenant que l'intérieur de la terre est constitué par plusieurs milieus caractérisés par des vitesses croissantes avec la profondeur. Le trajet réel des rais sismiques à travers ces couches s'effectue à la suite d'une série de **réfractions** vers le bas jusqu'à ce que l'angle d'incidence i ne permet plus de réfractions ($r = 90^\circ$). A ce moment il y a **réflexion totale** et les rais se déplacent vers le haut par réfractions successives. La trajectoire dessinée par les rais à travers ces couches n'est donc pas une droite mais une courbe présentant une **concavité** dirigée vers le haut

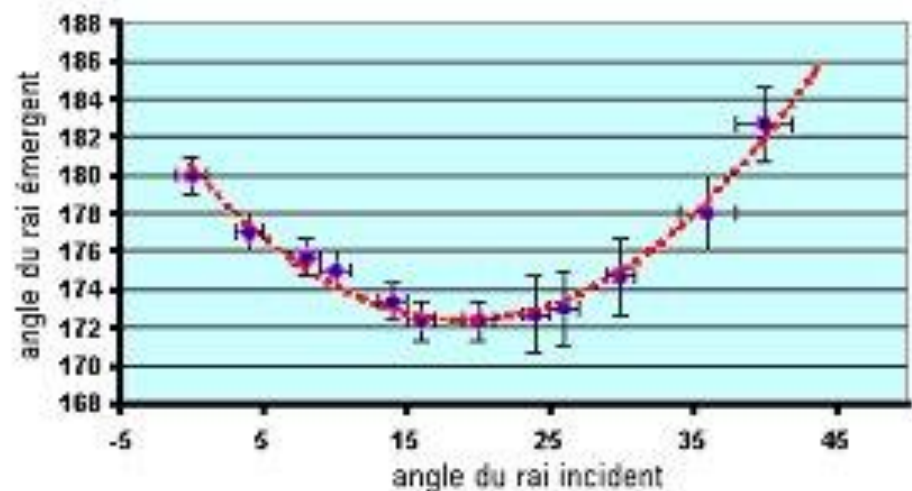
7- Sismologie et structure interne de la terre

b- La trajectoire des ondes sismiques et comportement des ondes au niveau des interfaces (discontinuités)



Réflexion totale

Trajectoire courbe des rais sismiques



7- Sismologie et structure interne de la terre

b- La trajectoire des ondes sismiques et comportement des ondes au niveau des interfaces (discontinuités)

A la suite d'un séisme les sismogrammes obtenus dans différentes stations d'observations peuvent contenir l'enregistrement de plusieurs type d'ondes:

- Des ondes P ou S ayant emprunté le trajet direct épicentre – station
- Des ondes P et /ou S ayant subies une série de réflexions
- Des ondes P et /ou S ayant subi une série de réfractions

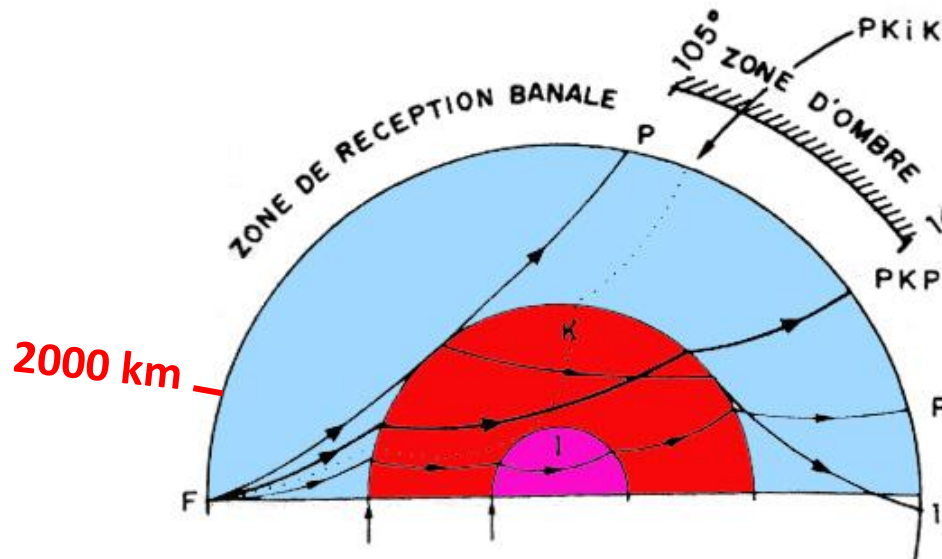
7- Sismologie et structure interne de la terre

c- La trajectoire des ondes sismiques et structure interne de la terre.

c.1 – L'apport des séismes lointains

On considère comme séismes lointains ceux dont la distance à l'épicentre dépasse **2000km**. Les ondes P et S ont donc traversé des zones profondes pour lesquelles elles apportent des renseignements.

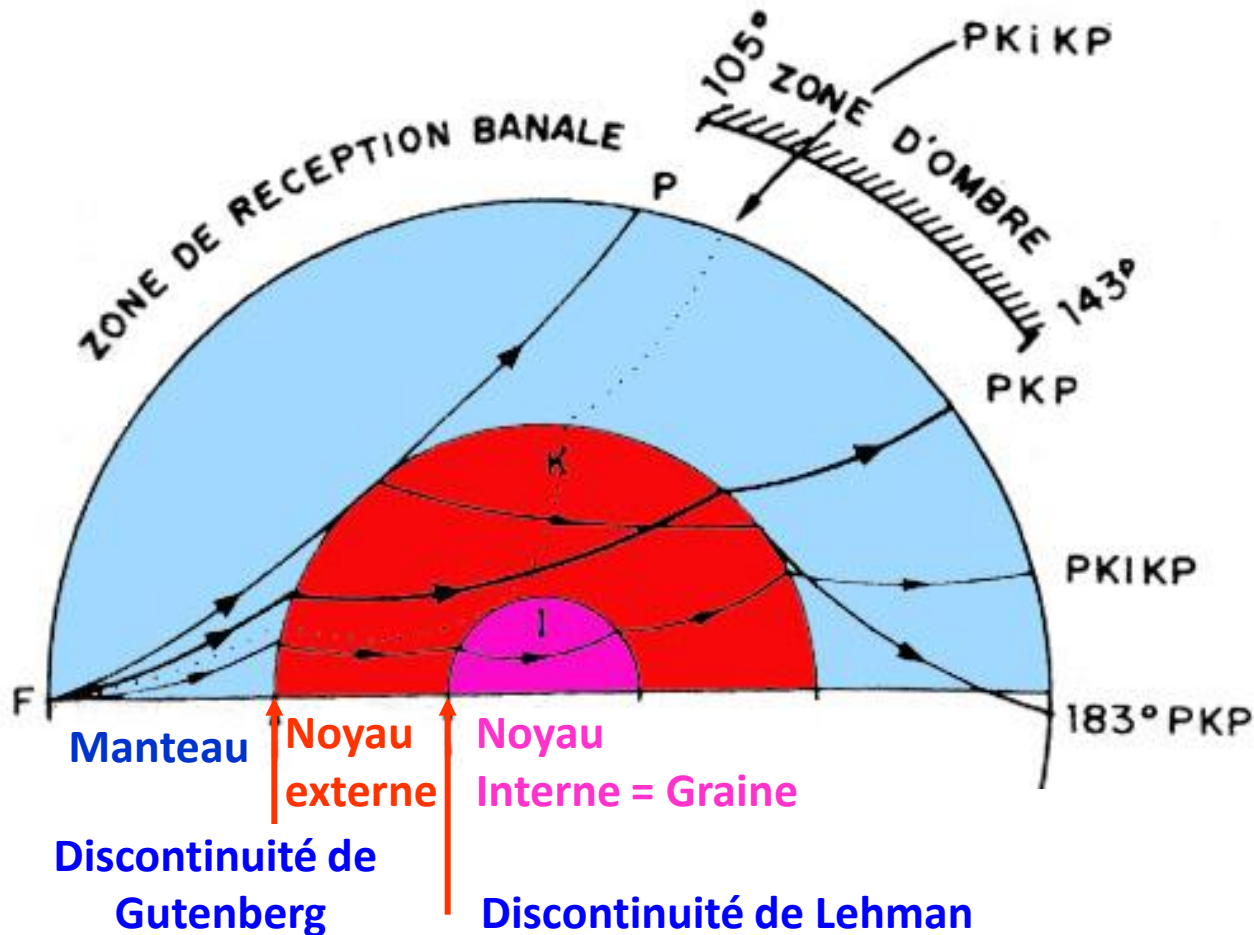
Pour des stations situées jusqu'à **11500 km (105°)** de l'épicentre on reçoit les ondes P et S directes



7- Sismologie et structure interne de la terre

c- La trajectoire des ondes sismiques et structure interne de la terre.

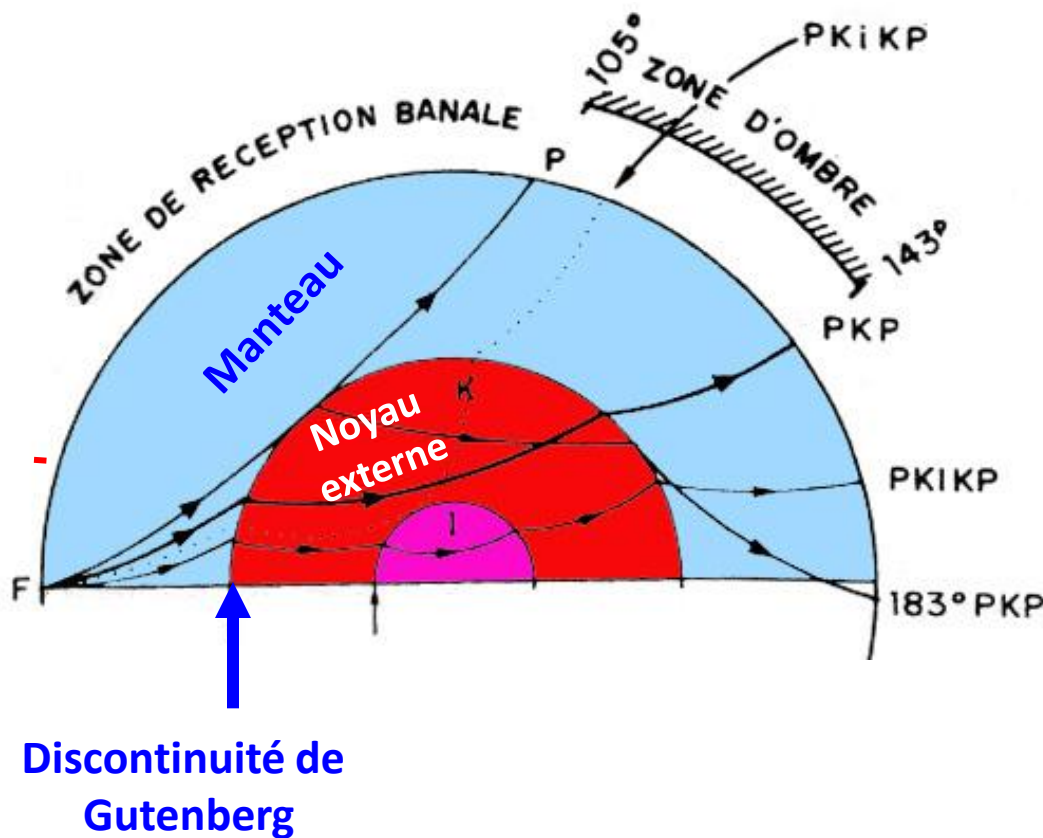
C.1 – L'apport des séismes lointains



7- Sismologie et structure interne de la terre

c- La trajectoire des ondes sismiques et structure interne de la terre.

c.1 – L'apport des séismes lointains

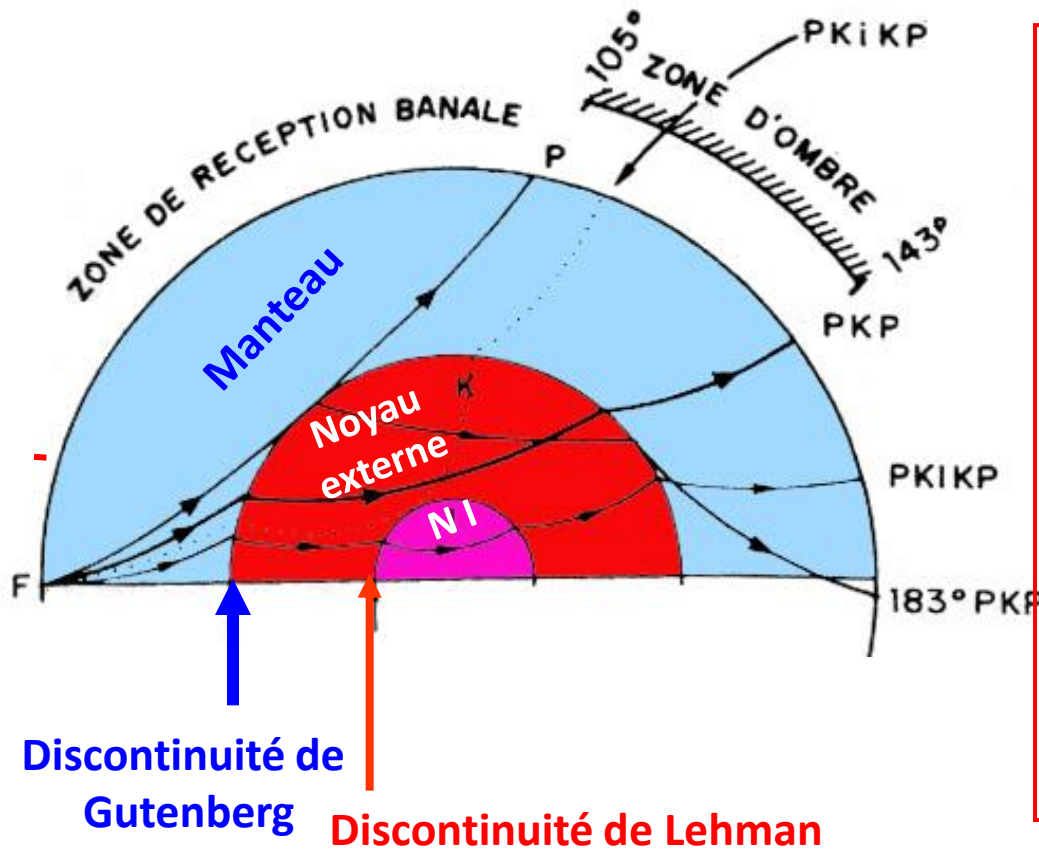


Entre **11500** et **14500 km** (**105** à **143°**), il existe une zone d'ombre sismique «anneau de silence» caractérisé par l'absence de réception d'ondes directes P et S qui ont subi une réfraction au niveau d'une discontinuité appelée discontinuité de Gutenberg (située à **2900 km**) et qui sépare une structure externe le **manteau** d'une structure interne le **noyau** à vitesse plus faible et non traversé par les ondes S ce qui lui donne des propriétés de liquide. Ces ondes réapparaissent sous une forme plus lente. Entre 183° et 143°.

7- Sismologie et structure interne de la terre

c- La trajectoire des ondes sismiques et structure interne de la terre.

c.1 – L'apport des séismes lointains



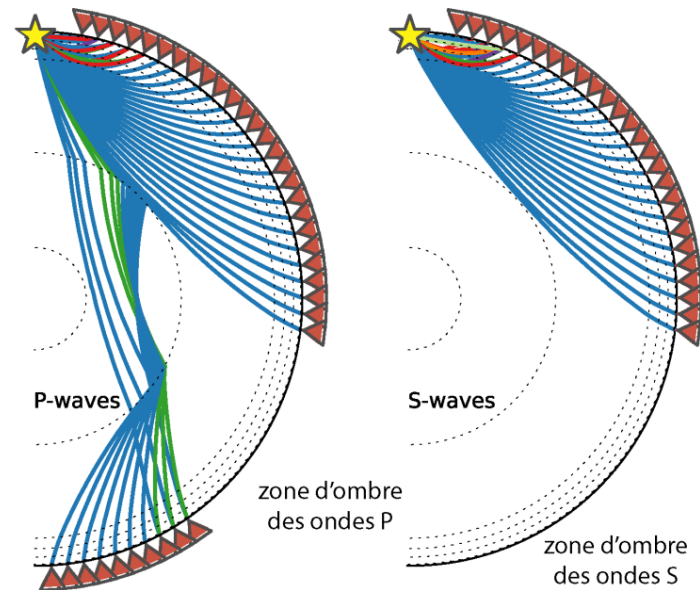
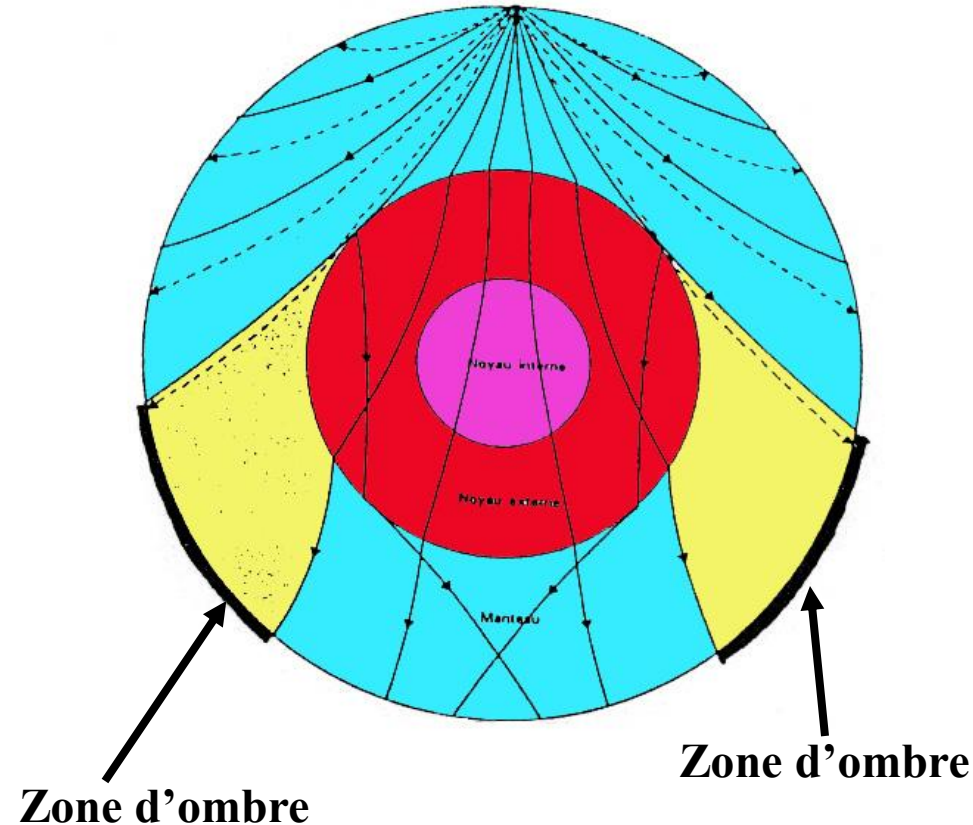
Cependant il existe tout de même des ondes qui arrivent dans la zone d'ombre mais très **tardivement** et qui résultent d'une **réflexion** sur une zone de variation rapide des propriétés mécaniques du noyau. C'est la discontinuité de **Lehman** qui se situe vers **5000 km** et qui sépare le noyau externe d'une partie interne la graine. Cette graine serait solide Car l'onde S réapparaît de nouveau

7- Sismologie et structure interne de la terre

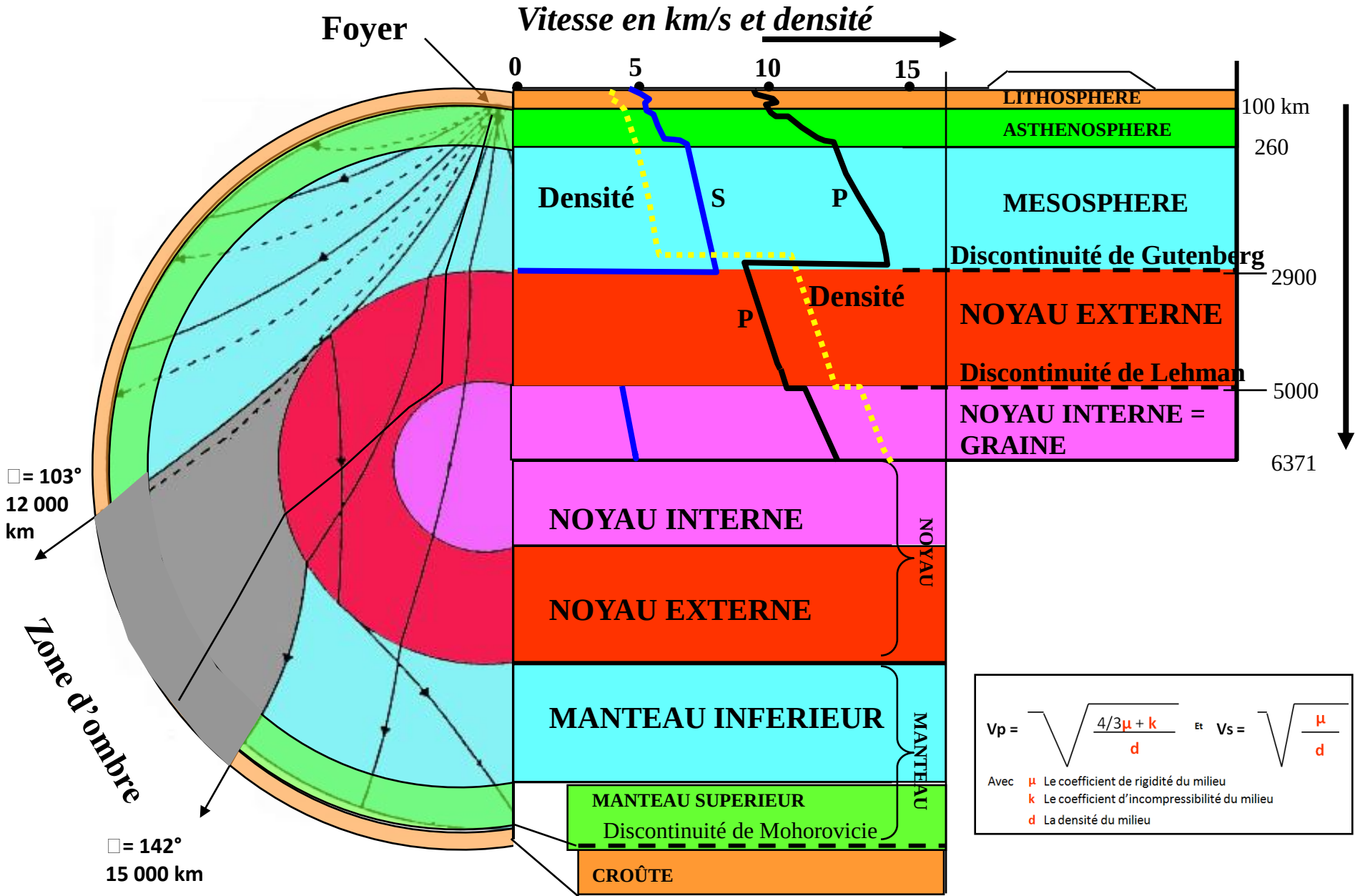
c- La trajectoire des ondes sismiques et structure interne de la terre.

c.1 – L'apport des séismes lointains

—→ Trajectoire des ondes P
- - -→ Trajectoire des ondes S



Trajectoire des ondes P et S



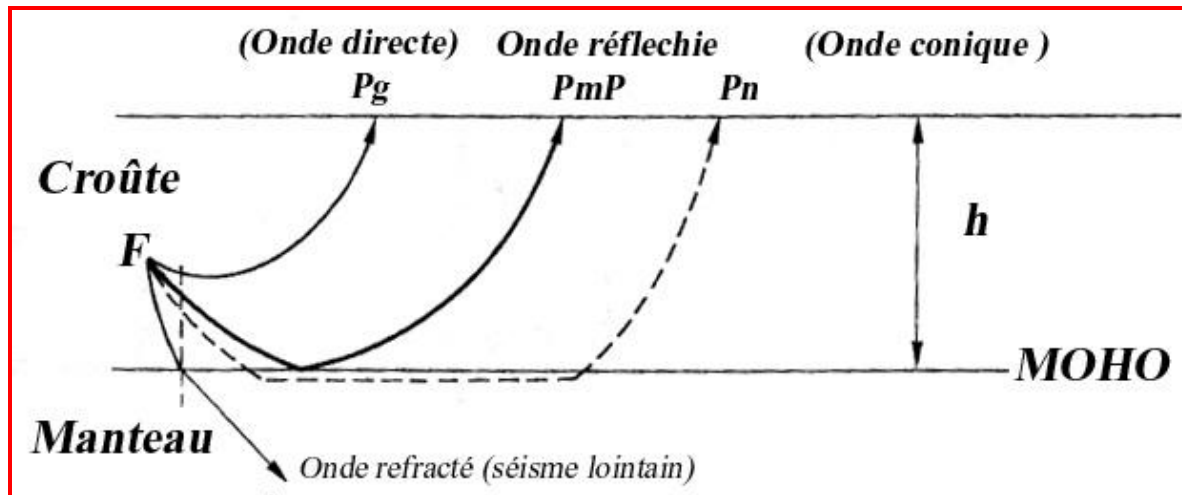
VARIATION DE LA VITESSE DES ONDES P ET S ET DE LA DENSITE AVEC LA PROFONDEUR : STRUCTURE INTERNE DU GLOBE

7- Sismologie et structure interne de la terre

c- La trajectoire des ondes sismiques et structure interne de la terre.

c.2 – L'apport des séismes proches: **Discontinuité de Moho**

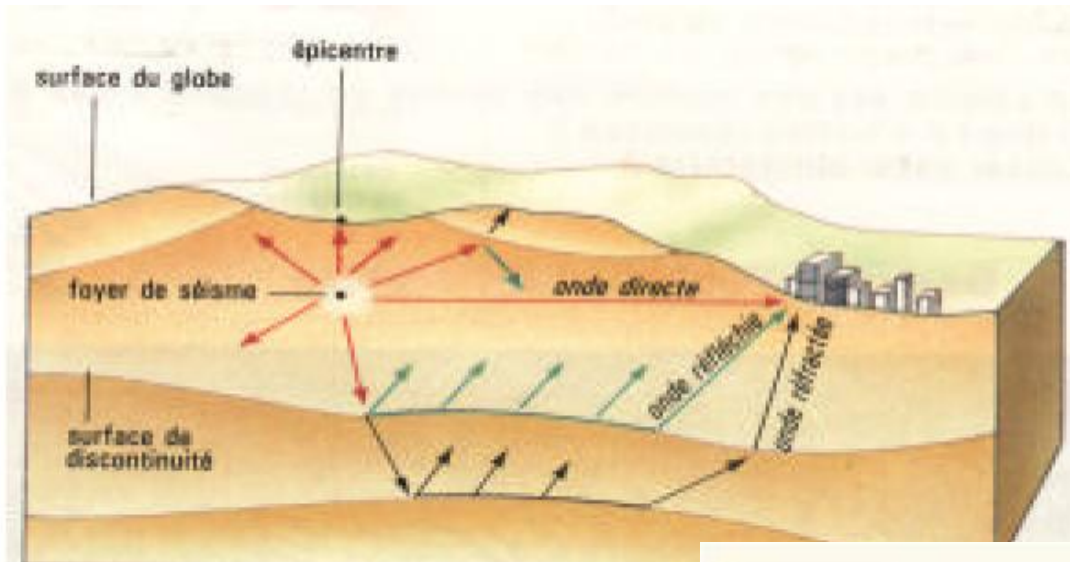
Les stations sont **proches** de l'épicentre (**200 à 800 km**), les sismogrammes apportent des données sur les couches superficielles (écorce terrestre). Chaque station reçoit successivement 2 ou 3 fois les ondes P onde directe, onde réfléchie et onde réfractée ou conique ($r = 90^\circ$). Ces ondes ont rencontré une discontinuité peu profonde c'est la discontinuité de Mohorovicic ou MOHO qui sépare le manteau où les vitesses des ondes sont assez élevées et la croûte où la vitesse des ondes est plus faible. La profondeur du **MOHO** est peu profonde sous les océans (**10 km**). Très profonde sous les chaînes de montagnes (**50 km**).



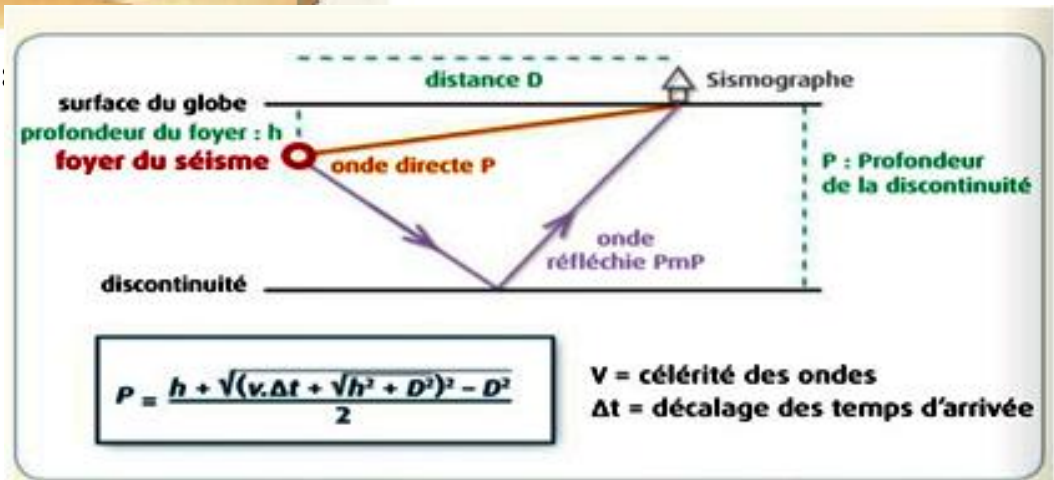
7- Sismologie et structure interne de la terre

c- La trajectoire des ondes sismiques et structure interne de la terre.

c.2 – L'apport des séismes proches: Discontinuité de Moho



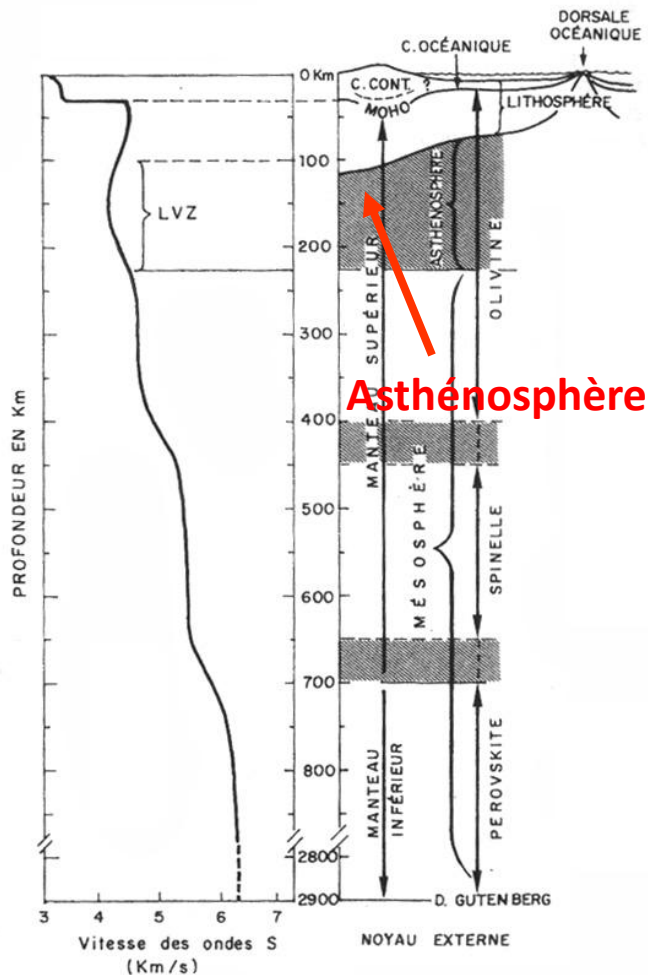
Propagation des ondes P, S et L dans la lithosphère (Leroy, 1988)



7- Sismologie et structure interne de la terre

c- La trajectoire des ondes sismiques et structure interne de la terre.

c.2 – L'apport des séismes proches : (Organisation du manteau)



Des études plus détaillées montrent l'existence d'une zone où la vitesse des ondes P et S diminue. Cette zone est appelée LVZ (low velocity zone). Ceci est due à un changement physique de la matière qui serait en fusion très partielle → structure visqueuse et ductile. Ce qui permet de définir l'Asthénosphère. Sa profondeur varie selon l'emplacement. Elle est définie entre **100 et 200 km** de profondeur.

L'asthénosphère séparent donc, deux structures rigides:

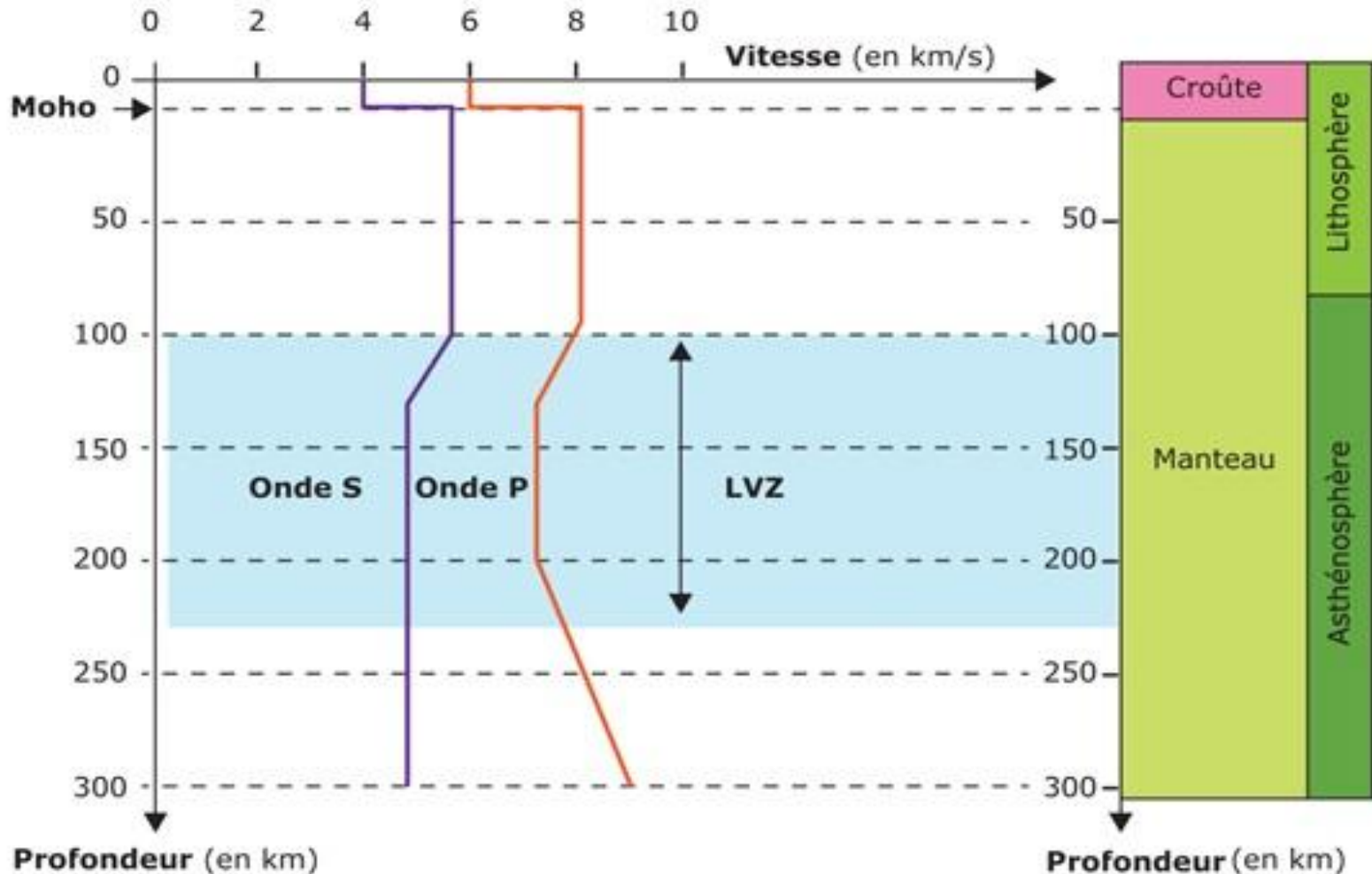
-La lithosphère: (croûte et partie superficielle du manteau)

-La mésosphère constitué par le reste du manteau.

7- Sismologie et structure interne de la terre

c- La trajectoire des ondes sismiques et structure interne de la terre.

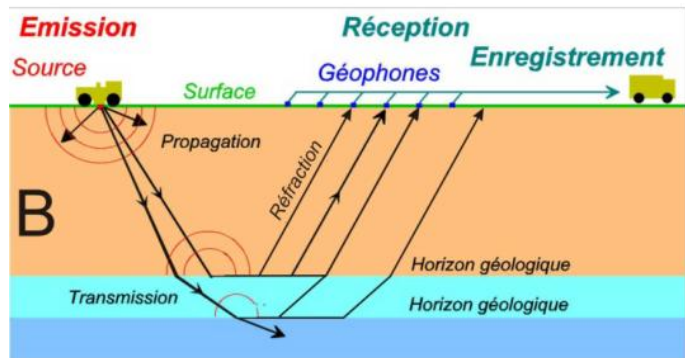
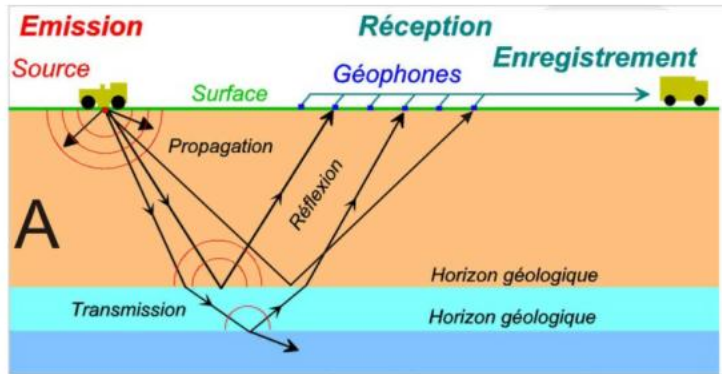
c.2 – L'apport des séismes proches : (Organisation du manteau)



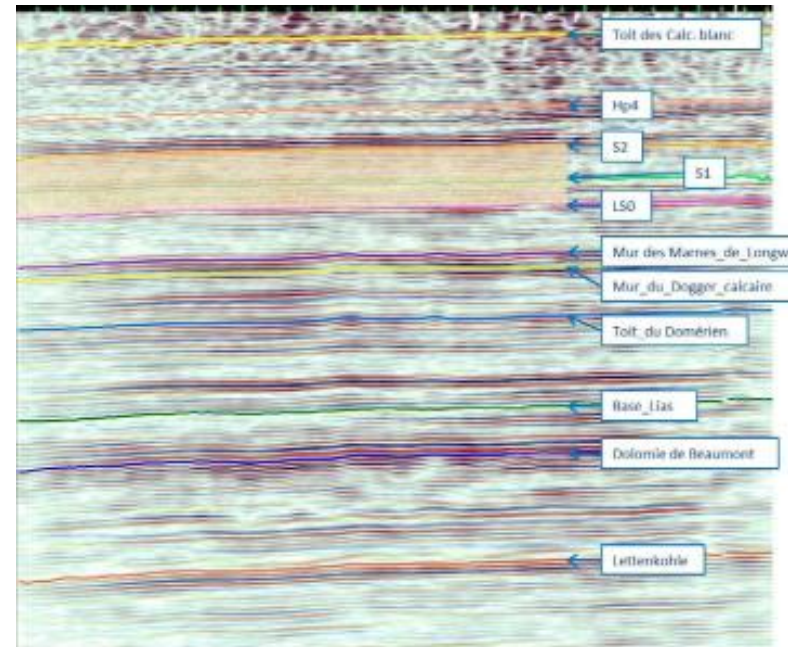
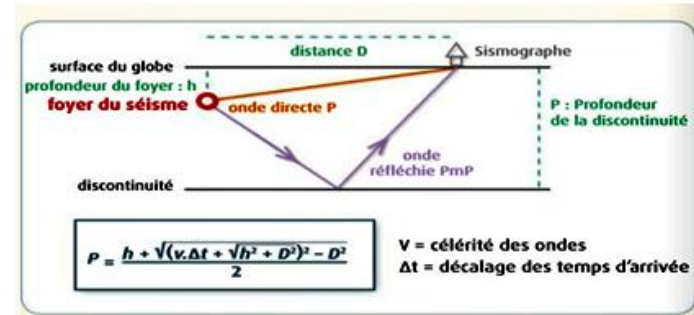
Structure de la croûte et du manteau supérieur sous les océans

7- Sismologie et structure interne de la terre

c.2 – L'apport des séismes proches : (Etude géologique locale)

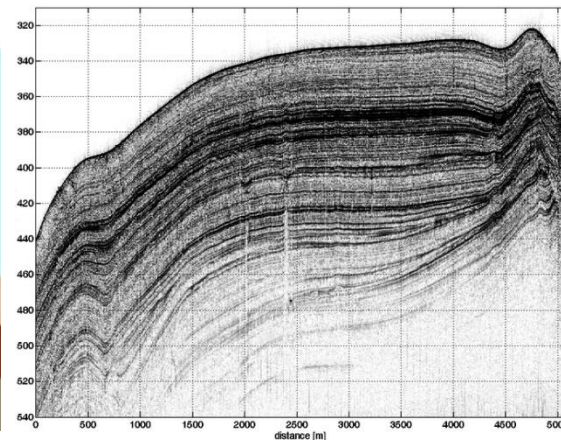
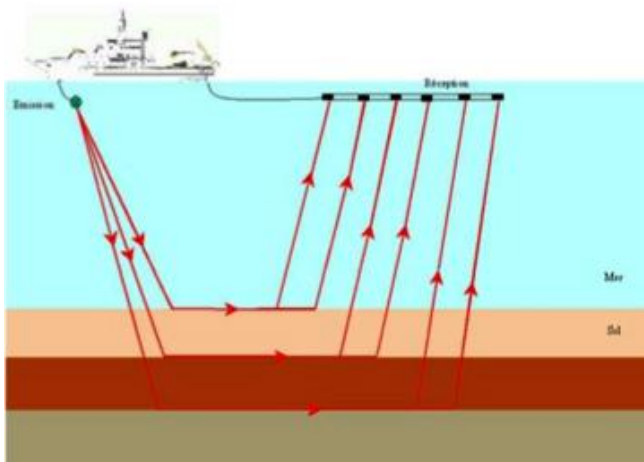
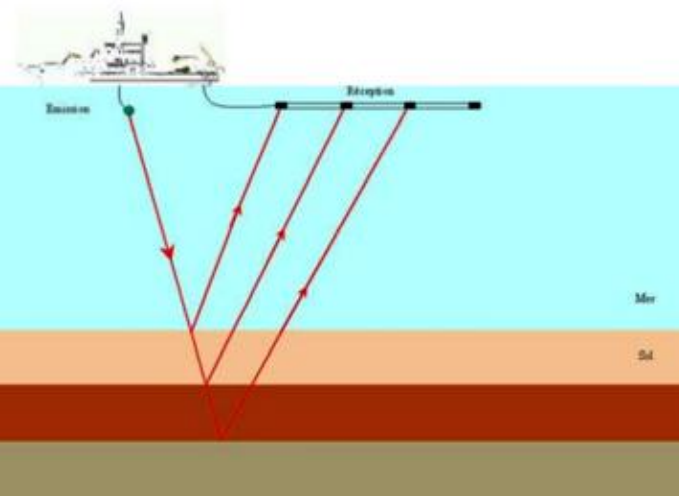


Principe de la méthode de sismique réflexion. Les émetteurs (source = séisme) et les récepteurs (géophones sismomètres) peuvent être organisés selon un profil rectiligne pour obtenir une coupe verticale du sous-sol



7- Sismologie et structure interne de la terre

c.2 – L'apport des séismes proches : (Etude géologique locale)



Profil sismique obtenu

Les temps de propagation des ondes réfléchies et réfractées permettent de déterminer la position de chaque couche ou interface dans l'espace et donc de comprendre la géométrie, la structure, la configuration et la nature des différentes couches géologiques qui composent le sous-sol marin.

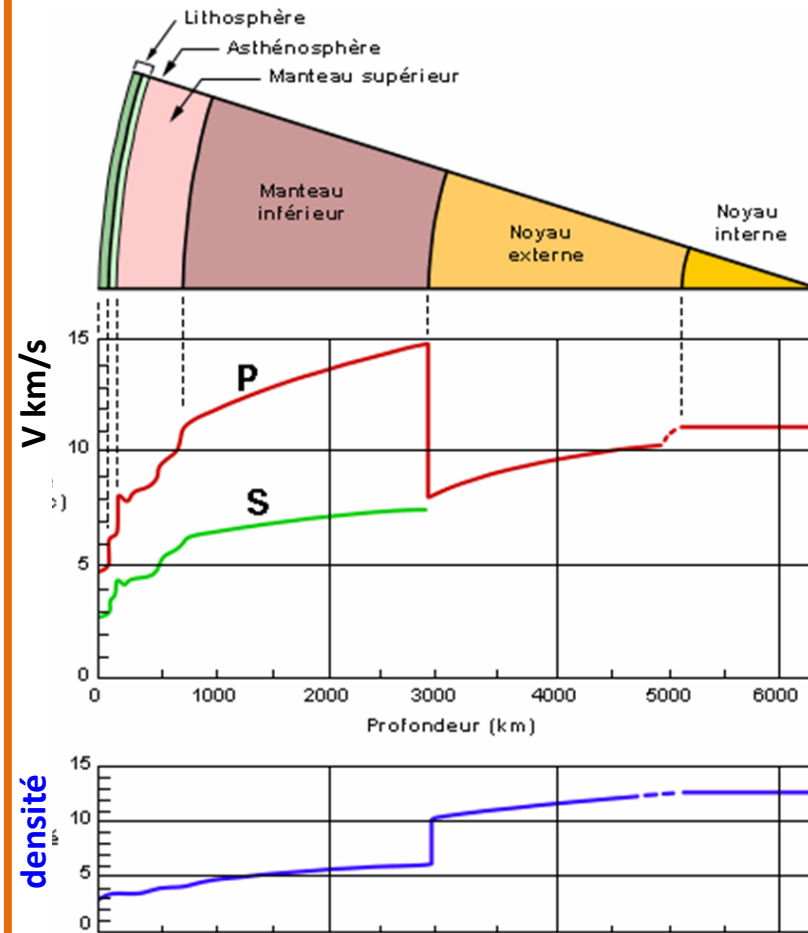
Conclusion

La structure interne de la Terre, ainsi que l'état et la densité de la matière, ont été déduits de l'analyse du comportement des ondes sismiques. Les **ondes P** se propagent dans **les solides, les liquides et les gaz**, alors que les **ondes S** ne se propagent que dans **les solides**. On sait aussi que la vitesse de propagation des ondes sismiques est proportionnelle à la densité du matériel dans lequel elles se propagent

- La brusque **interruption** de propagation des **ondes S** à la limite entre le manteau et le noyau indique que le **noyau externe** est **liquide**. L'augmentation progressive de la vitesse des ondes P et S dans le manteau indique une augmentation de densité du matériel à mesure qu'on s'enfonce dans ce manteau.

- La **chute** subite de la vitesse des **ondes P** au contact **manteau-noyau** est reliée au changement **d'état de la matière (de solide à liquide)**, mais les vitesses relatives continuent d'augmenter, indiquant une augmentation des densités.

- Plus en détail, au contact **lithosphère-asthénosphère**, on note une **légère chute** des vitesses de propagation des ondes P et S correspondant au passage d'un matériel **solide (lithosphère)** à un matériel **plastique (asthénosphère)**.



Conclusion

L'intérieur de la Terre est constitué d'une succession de couches de propriétés physiques différentes:

- au centre, le **noyau**, qui forme 17% du volume terrestre, et qui se divise en **noyau interne solide** et **noyau externe liquide**;

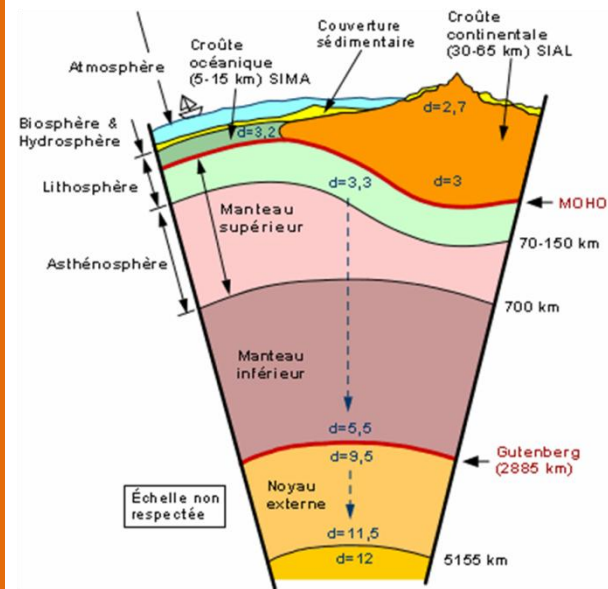
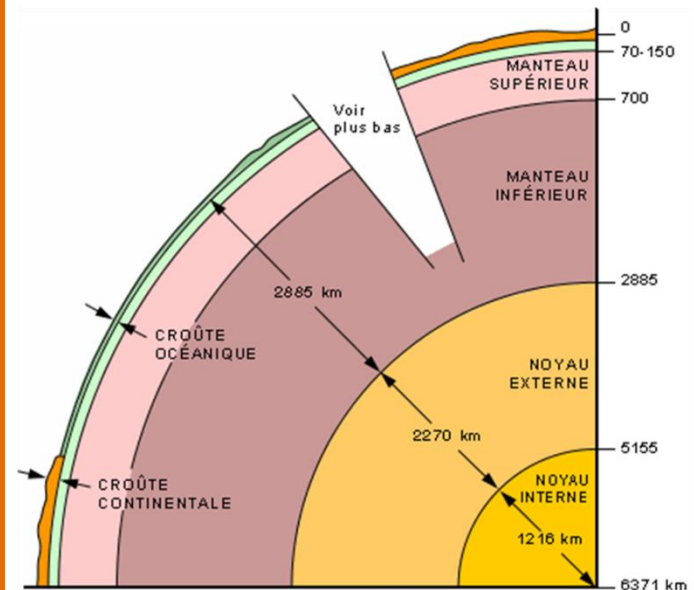
- puis le **manteau**, qui constitue le gros du volume terrestre, 81%, et qui se divise en **manteau inférieur solide** et **manteau supérieur** principalement **plastique**, mais dont la partie tout à fait supérieure est solide;

- finalement, la **croûte** (ou écorce), qui compte pour moins de 2% en volume et qui est solide.

Deux **discontinuités importantes** séparent croûte, manteau et noyau:

- la **discontinuité de Mohorovicic (moho)** qui marque un contraste de densité entre la croûte terrestre et le manteau,
- et la **discontinuité de Gutenberg** qui marque aussi un contraste important de densité entre le manteau et le noyau

La **couche plastique** du manteau supérieur est appelée **asthénosphère**, alors qu'ensemble, les deux couches solides qui la surmontent, soit la couche solide de la partie supérieure du manteau supérieur et la croûte terrestre, forment la **lithosphère**.



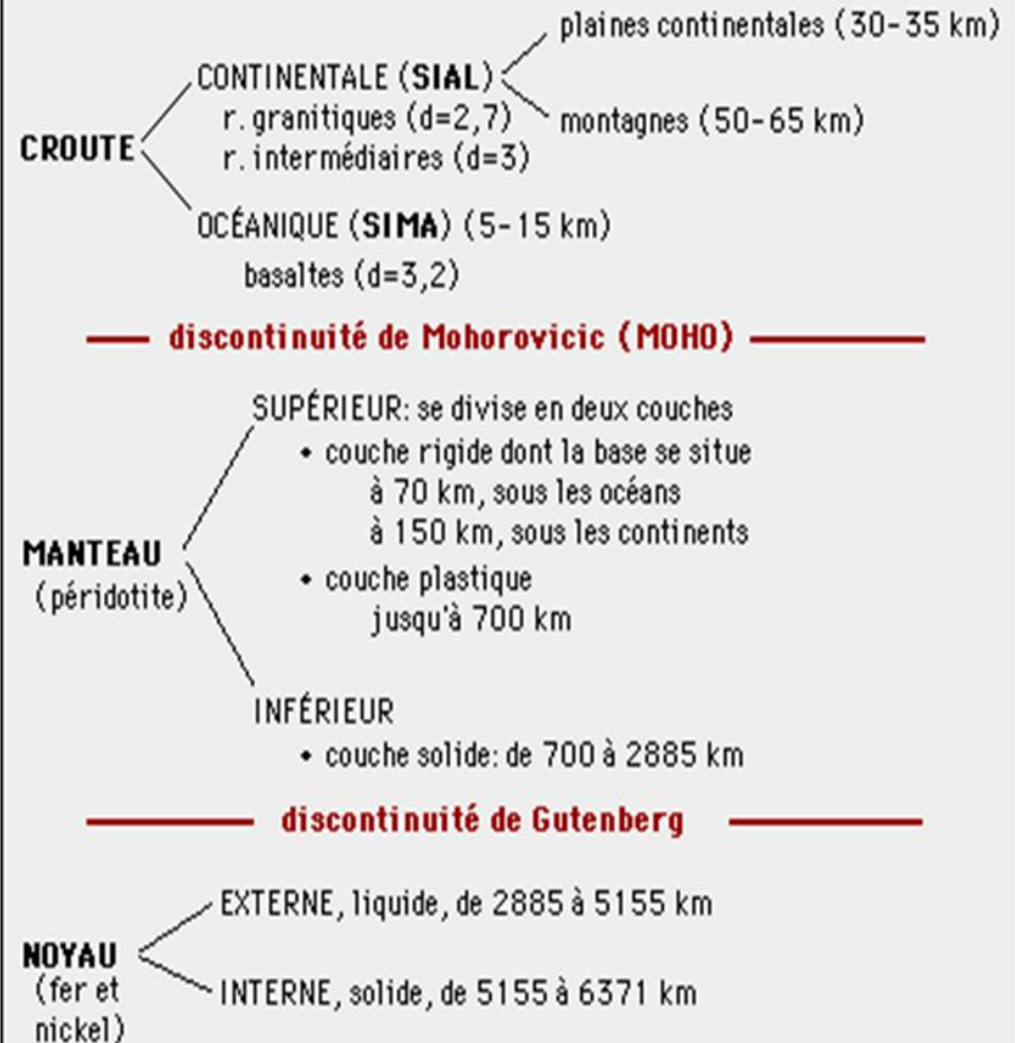
Conclusion

En résumé, on reconnaît de la surface vers le centre de la terre :

- La couverture sédimentaire est une mince pellicule de sédiments produits et redistribués à la surface de la croûte par les divers agents d'érosion (eau, vent, glace) et qui compte pour très peu en volume.

- La croûte terrestre: on reconnaît deux types: la croûte océanique, celle qui en gros se situe sous les océans, et qui est formée de roches basaltiques de densité 3,2 et qu'on nomme aussi **SIMA** (silicium-magnésium); et la croûte continentale, celle qui se situe au niveau des continents, et qui est plus épaisse à cause de sa plus faible densité (roches granitiques à intermédiaires de densité 2,7 à 3) et qu'on nomme **SIAL** (silicium-aluminium).

En résumé ...

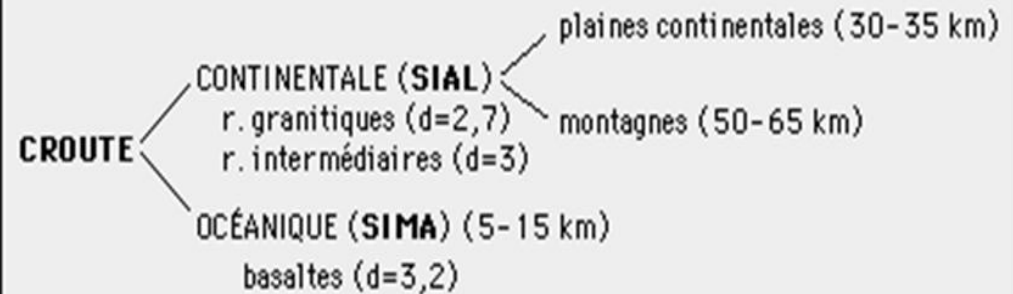


Conclusion

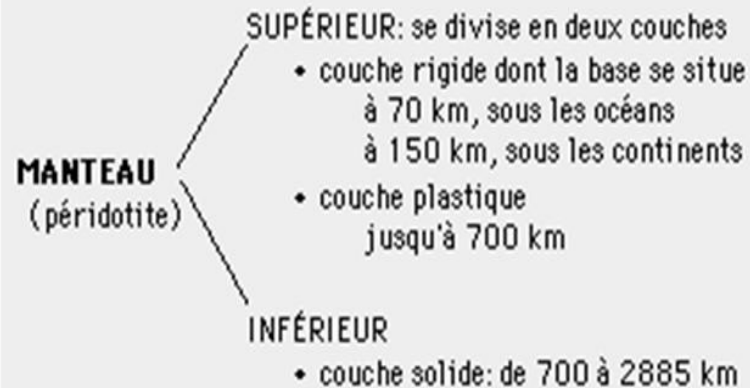
Le manteau est composé de roches ultrabasiques (péridotites, gabbros...) à dominante silicium et magnésium, le manteau est appelé également SIMA. La température atteint à sa base 3 700 °C. La densité varie de 3,4 à 6.

le noyau est formé par un alliage de nickel et de fer (NIFE).

En résumé ...



— discontinuité de Mohorovicic (MOHO) —



— discontinuité de Gutenberg —

