



THÈME : LA DYNAMIQUE INTERNE DE LA TERRE
Chapitre : La structure interne de la Terre

3
 1ère spé

Séismes et structure interne du globe

➤ **Objectifs** : Consulter, traiter et exploiter une base de données sismologiques.

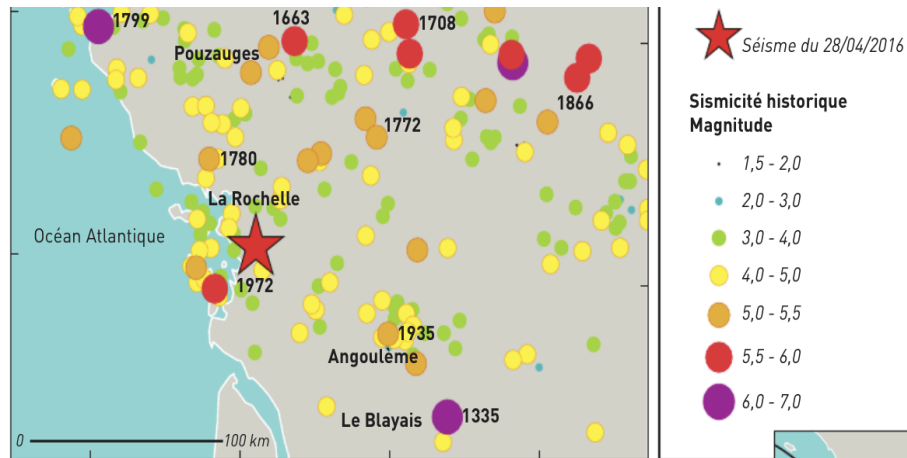
| ➤ Compétences et capacités travaillées | Fragile | Intermédiaire | Avancé | Expert |
|--|--|---|--|---|
| PRATIQUER DES DÉMARCHES SCIENTIFIQUES | 1 critère sur 3 | 2 critères sur 3 | 3 critères sur 3 (avec aide) | 3 critères sur 3 (sans aide) |
| 3. Raisonner, argumenter conclure en exerçant des démarches scientifiques et un sens critique | <ul style="list-style-type: none"> - Des faits sont identifiés mais n'ont pas été transformés en arguments. - Réponse explicative absente ou incohérente | <ul style="list-style-type: none"> - Quelques arguments sont construits à partir des faits (informations et/ou connaissances). - Absence de réponse ou réponse non cohérente avec le problème posé. | <ul style="list-style-type: none"> - Des arguments sont construits à partir des faits (informations et/ou connaissances). - Réponse explicative cohérente avec le problème posé. | <ul style="list-style-type: none"> - Suffisamment d'arguments sont construits à partir des faits, pour répondre à la question posée. - Réponse explicative cohérente avec le problème scientifique et complète. |

Mise en situation : Les séismes importants sont bien connus comme étant parmi les catastrophes naturelles les plus meurtrières. Cependant, l'analyse de la propagation des ondes sismiques est un outil utilisé par les scientifiques pour connaître la structure interne du globe terrestre.

Question scientifique : Comment l'étude des séismes apporte-t-elle des connaissances sur l'intérieur du globe ?

PARTIE 1 : LES CARACTÉRISTIQUES DES ONDES SISMQUES

Le jeudi 28 avril 2016, à 8h46, un séisme d'une magnitude de 5,2 est enregistré à la Rochelle. C'est le séisme le plus important dans la partie ouest de la France depuis 35 ans.



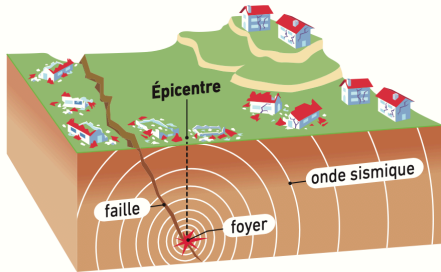
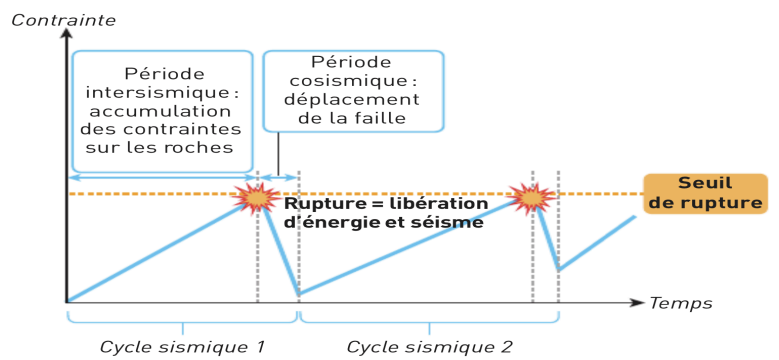
Séisme de La Rochelle du 28 avril 2016
 Vitesse des ondes P : $V_p = 6,25 \text{ km/s}$
 h : Profondeur du foyer : 15 km
 Distance épacentrale à la station ($\Delta/2 = 50,9 \text{ km}$)
 Données RESIF

Le réseau de failles responsable du séisme est identifié.



Document 1 : Enregistrement d'un séisme en France.

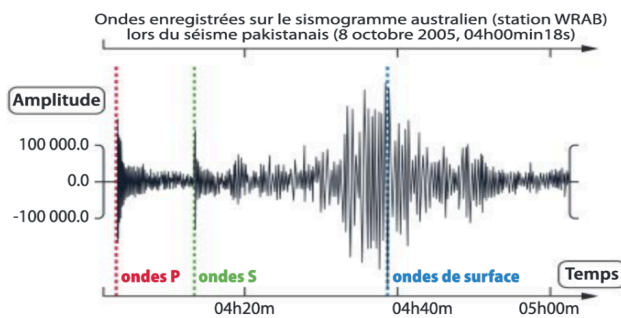
Un séisme se produit quand les contraintes accumulées sur des roches rigides dépassent le seuil de rupture. La cassure de terrains est alors nommée une faille. L'énergie libérée par la rupture des roches au niveau d'une faille, engendre des ondes sismiques et entraîne le mouvement de deux blocs de part et d'autre de la faille.



L'énergie libérée au niveau du foyer sismique est dissipée sous forme d'ondes sismiques se propageant à travers les roches. L'épicentre est le point de surface à la verticale du foyer, le plus rapidement atteint par les ondes.

Document 2 : Épicentre et foyer sismique.

Des sismographes répartis à la surface de la Terre permettent d'enregistrer les ondes sismiques. Les sismogrammes obtenus ont permis de mettre en évidence l'existence de différents types d'ondes. Les ondes S, contrairement aux autres ondes, ne se déplacent pas dans les liquides.

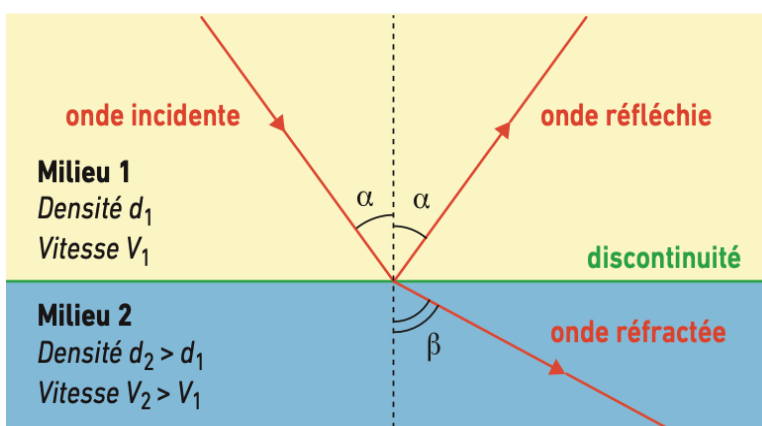


| | | | |
|---|---|--|--|
| Les ondes de volume se propagent dans toutes les directions et traversent la planète. Leur trajet peut être représenté par des rais sismiques | | | Les ondes de surface ne se propagent qu'à la surface de la Terre |
| Ondes P Premières ondes enregistrées Mode de propagation : Compression dilatation | Ondes S Deuxième type d'ondes enregistrées Mode de propagation : Oscillations | Ondes de surface Troisième type d'ondes : à l'origine des dégâts causés par les séismes Mode de propagation : Torsions | |

Document 3 : La diversité des ondes sismiques.

- Déterminer la vitesse de propagation des ondes sismiques à travers des matériaux de nature pétrographique différente (granite et andésite) grâce au protocole "Sismopiézo".
- Faire le lien entre la vitesse de propagation des ondes sismiques et la densité des roches (densité de l'andésite = 2,4).

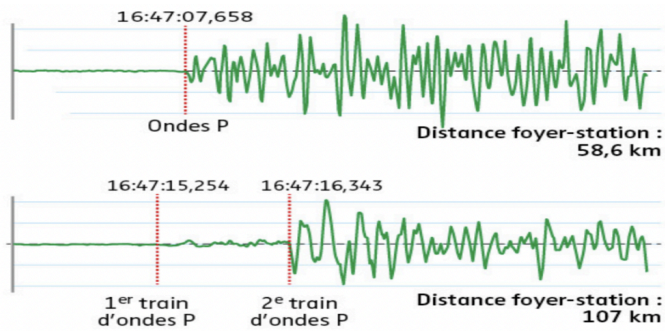
Plus la densité des roches est élevée, plus la vitesse de propagation des ondes sismiques est élevée.



La vitesse des ondes sismiques à travers un milieu dépend de la densité et de la rigidité des matériaux constituant ce milieu. À la limite entre deux milieux aux propriétés différentes, les ondes sismiques se comportent comme des rayons lumineux, elles peuvent être réfléchies sur cette discontinuité ou réfractées dans le nouveau milieu.

Document 4 : La propagation des ondes sismiques.

PARTIE 2 : SISMOLOGIE DE SURFACE

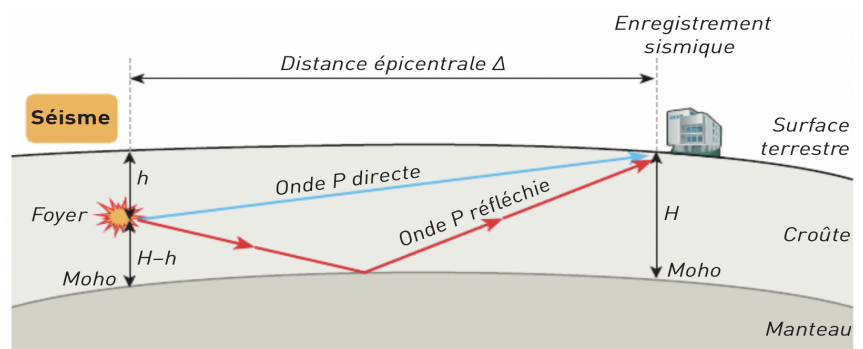


En 1909, en étudiant un séisme dont l'épicentre est situé dans la région de Zagreb en Croatie, Andrija Mohorovicic observe sur différents sismogrammes l'arrivée de deux trains d'ondes successifs décalés dans le temps : tout d'abord des ondes P, puis un second train d'ondes P. Ces ondes P étant parties simultanément du foyer sismique. Mohorovicic envisage que ces deux trains d'ondes ont suivi une trajectoire différente.

Le premier train d'ondes P a suivi un chemin direct alors que le deuxième train d'ondes se serait réfléchi sur une surface de discontinuité. Ces ondes sont alors appelées ondes PMP.

Document 4 : Étude de séisme à Zagreb en 1909.

Connaissant h , la profondeur du foyer sismique, Δ , la distance épacentrale et δt , le décalage entre l'arrivée des ondes P et Pmp, il est alors possible de déterminer H , la profondeur de cette discontinuité, dite de Mohorovicic ou Moho, qui sépare la croûte du manteau.



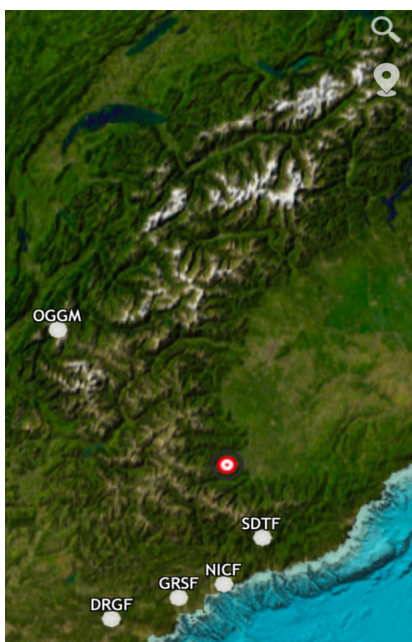
Document 5 : Mise en évidence de la discontinuité de Mohorovicic.

$$H = \frac{1}{2} \left[h + \sqrt{(V \cdot \delta t + \sqrt{h^2 + \Delta^2})^2 - \Delta^2} \right]$$

3) À partir des caractéristiques du séisme de la Rochelle, calculer la profondeur du Moho.

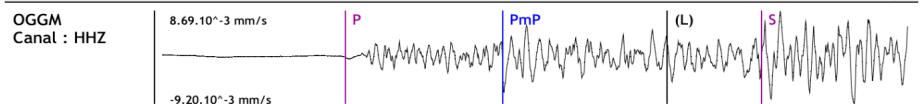
La profondeur du Moho est de 32,8 kilomètres à la Rochelle.

4) À partir du logiciel Tectoglob 3D, réaliser le protocole expérimental afin de déterminer la profondeur du Moho dans les Alpes.



Événement : ITALY
Date : 14/03/2016
Magnitude : 3,9 Profondeur du foyer : 4 km Epicentre : 📍

Station OGGM 45,2°N ; 6,1°E ; dist. épacentre : 130km (1,168°)



Si les temps d'arrivée sont notés entre parenthèses cela signifie qu'ils ont été calculés automatiquement par le logiciel à partir du modèle PREM ; rien ne garantit alors leur exactitude.

La profondeur du Moho est de 72 kilomètres dans les Alpes.

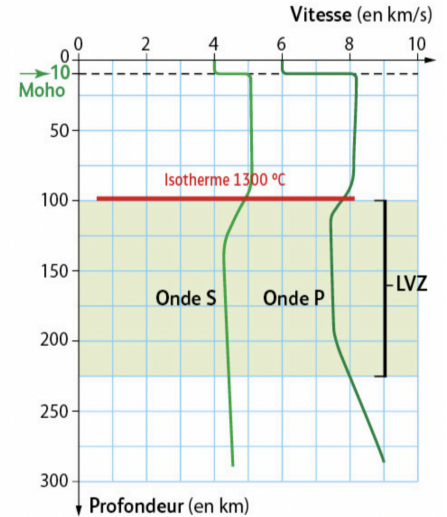
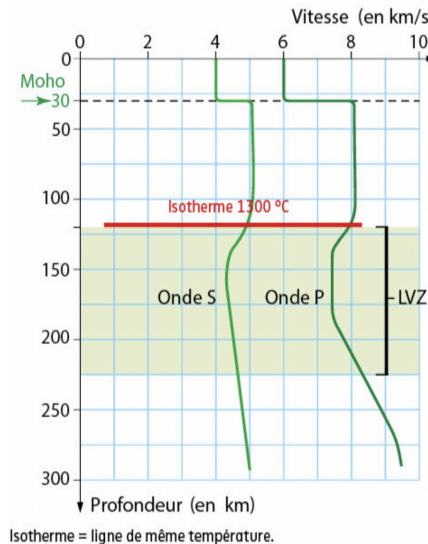
5) Émettre une hypothèse sur l'existence de cette discontinuité à la limite croûte-manteau.

Une discontinuité sismique est présente entre 2 milieux de densité différentes. Ainsi, il semblerait qu'il y ait une densité différente entre la croûte et le manteau, ce qui peut s'expliquer par des roches de nature différente.

PARTIE 3 : SISMOLOGIE DE PROFONDEUR

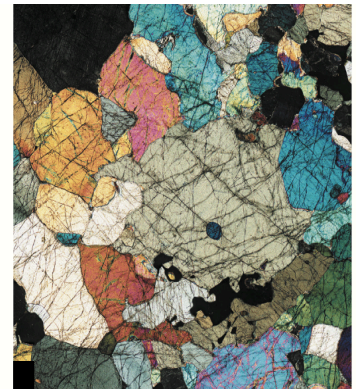
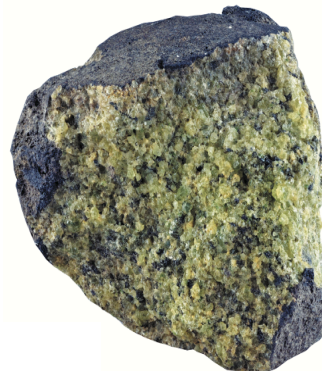
La propagation des ondes sismiques en profondeur révèle plusieurs variations de vitesse. L'asthénosphère, dont la partie supérieure est la LVZ (Low Velocity Zone), fait partie du manteau constitué de péridotites. Au dessus se trouve la lithosphère comprenant la croûte et une partie du manteau.

Document 6 : Variations des ondes sous les continents (à gauche) et sous les océans (à droite).

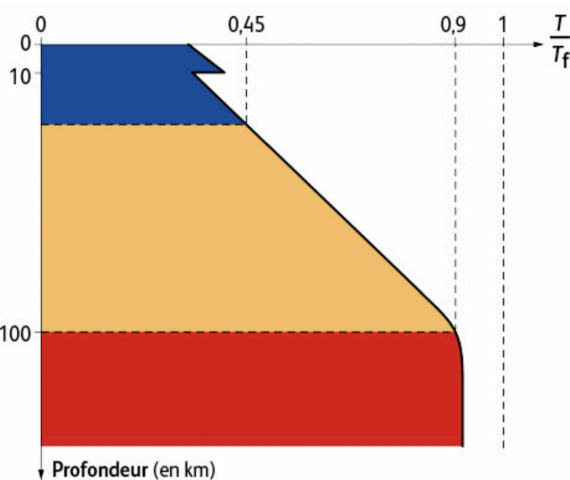


Isotherme = ligne de même température.

Certaines roches situées en profondeur dans le manteau peuvent remonter par l'intermédiaire de failles, formant ainsi un "ascenseur géologique". De plus, il est assez fréquent de trouver dans les roches volcaniques issues de magma d'origine profonde des morceaux d'une roche grenue, principalement constituée de cristaux de d'olivine et de pyroxène. Cette roche, appelée péridotite, a une densité de 3,3 et une vitesse de propagation des ondes P comprise entre 7,8 et 8,4 km/s.



Document 7 : Les péridotites, les roches du manteau terrestre.



■ Domaine cassant ■ Domaine ductile ■ Domaine très ductile

| Matériaux | Viscosité (en Pa.s) |
|-----------------------|-----------------------|
| Lithosphère | 10^{21} à 10^{22} |
| LVZ | 10^{18} à 10^{19} |
| Glace à 0 °C | 10^{11} |
| Huile d'olive à 20 °C | 1 |
| Eau liquide | 10^{-2} |

Un matériau est qualifié de ductile s'il peut se déformer sans se casser. Le caractère déformable donc ductile d'un matériau peut se quantifier en calculant sa viscosité : plus la viscosité est faible, plus le matériau est ductile, donc déformable. L'évolution du comportement mécanique d'un matériau est liée à l'évolution de la température du milieu.

Document 8 : Le comportement mécanique des matériaux.


6) Déterminer les caractéristiques physiques de la LVZ séparant la lithosphère de l'asthénosphère et émettre une hypothèse sur son origine.

On observe une baisse de la vitesse de propagation des ondes P et S au niveau de la LVZ. Or la LVZ se situe dans le manteau, qui est composé de roches appelées péridotites.

La distinction entre le manteau lithosphérique et la LVZ s'explique par une différence de viscosité des couches de péridotites. Cela pourrait s'expliquer par une différence de température entre ces deux couches (inférieur à 1300°C pour la lithosphère et supérieur à 1300 °C pour l'asthénosphère).

7) Déterminer le comportement mécanique de la lithosphère, de la LVZ et de l'asthénosphère.

- Lithosphère : une couche superficielle et plus froide, donc plus rigide.
- Asthénosphère : couche profonde et chaude, donc très ductile.



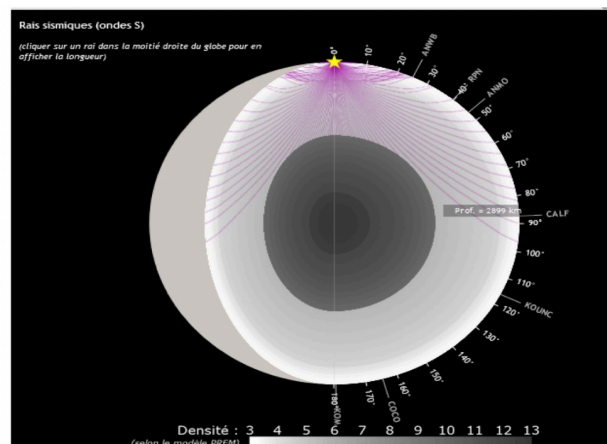
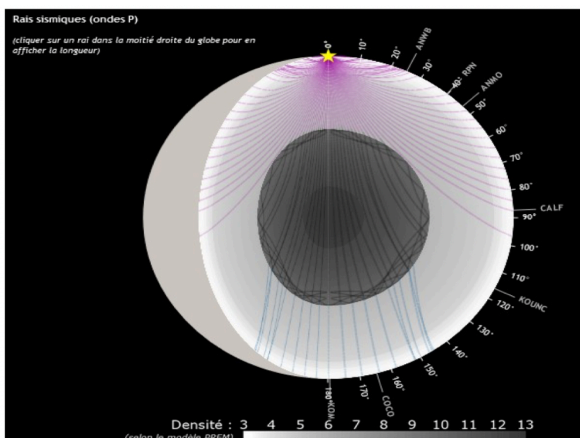
Un séisme s'est produit au Pérou en 2019. Ce séisme a été enregistré dans de nombreuses stations sismiques. Cependant, alors qu'en France, des ondes P directes (ondes qui n'ont pas subi de réfraction) ont été reçues, d'autres stations ne les ont pas reçues. Cette observation est valable quelque soit le lieu du séisme. En effet, il existe une zone d'ombre sismique, dans laquelle aucune onde directe n'est reçue donc enregistrée.

Document 9 : Découverte d'une zone d'ombre sismique.

8) À partir du logiciel Tectoglob 3D, réaliser le protocole expérimental afin de comparer les différents sismomètres des stations ayant enregistré le séisme au Pérou en 2019.

Curieusement, la station sismique KOUNC située en Nouvelle Calédonie n'a pas enregistré d'ondes P et S sur son sismogramme

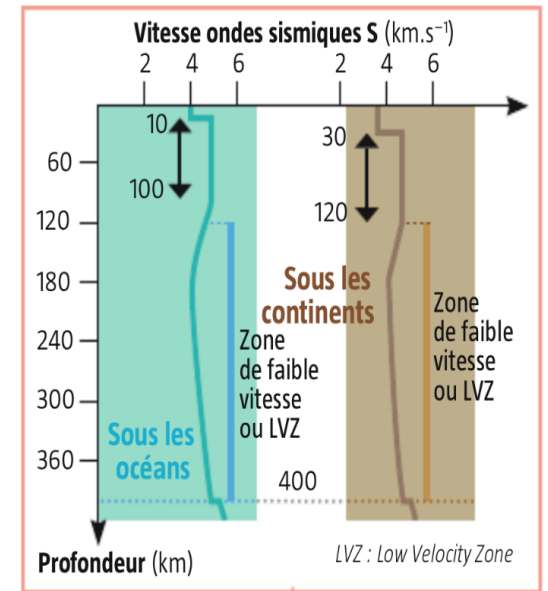
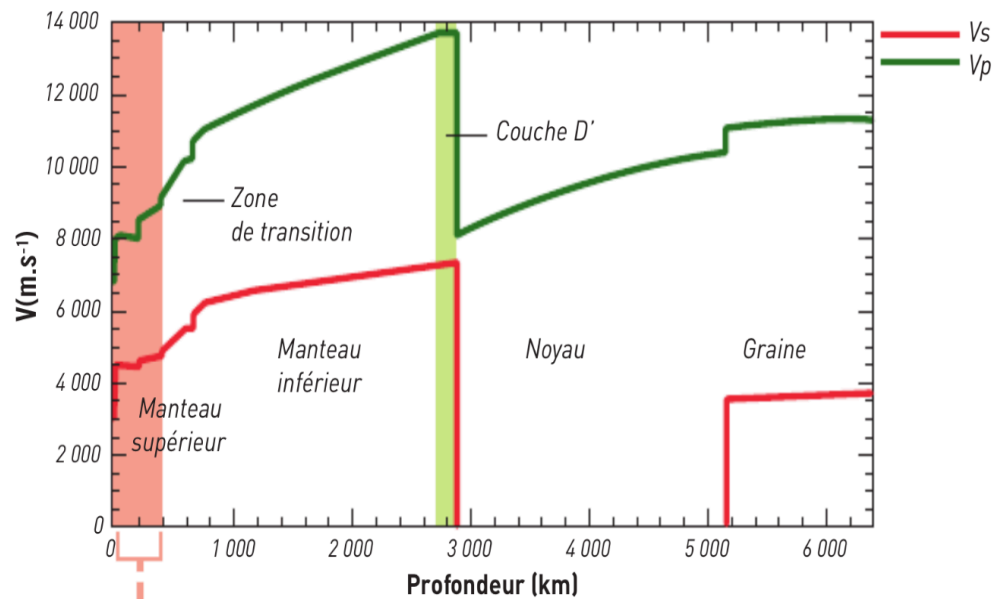
9) Après avoir aperçu la zone d'ombre sismique, expliquer son existence et la présence du noyau terrestre pour lequel vous préciserez l'état de la matière.



La zone d'ombre (zone dans laquelle aucune onde directe n'arrive) s'explique par la présence d'une surface de discontinuité qui va réfracter toutes les ondes sismiques de telle sorte que qu'aucune onde n'arrive directement dans cette zone. Cette surface correspond à la limite externe du noyau. L'absence totale d'ondes S directes à partir d'une distance angulaire 100° s'explique par le fait que le noyau est une enveloppe liquide.

Sur des longues distances, le trajet des ondes sismiques est courbe. Les ondes sismiques sont réfractés au niveau de surface appelé discontinuité. En 1912, Beno Gutenberg interpréta la zone d'ombre des ondes P en considérant que ces dernières avaient subi deux réfractions successives. Il nomma cette discontinuité la discontinuité de Gutenberg. La réapparition des ondes P après la zone d'ombre fut interprétée par Inge Lehman comme étant la conséquence d'une réflexion de certaines ondes P sur une surface de discontinuité appelé discontinuité de Lehman.

À partir des différentes ondes sismiques collectés de par le monde, les géophysiciens ont construit un modèle, le modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model) sur la variation de la vitesse de propagation des ondes sismiques depuis la surface jusqu'au centre du globe.



Document 10 : La construction du modèle PREM à partir de l'étude sismologique de la Terre.

10) Compléter le modèle radial de la Terre avec les différentes discontinuités sismiques à partir du modèle PREM.