

TD2 : De la Moho à Lehmann : voyage dans la structure interne de la Terre

(Tous les documents sont issus de l'ouvrage Hachette, Ed.2019, p.116-117)

Objectifs :

- Comprendre la propagation des ondes sismiques.
- Identifier les différentes ondes (P, S, ondes de surface).
- Mettre en relation les observations sismiques avec le modèle PREM.
- Expliquer l'existence des discontinuités internes (Moho, Gutenberg, Lehmann).

Chaque année, des milliers de séismes se produisent sur Terre. La plupart passent inaperçus, mais tous libèrent des ondes sismiques qui traversent le globe à des vitesses variables, s'arrêtent dans certains milieux ou changent brusquement de direction.

Ces ondes, enregistrées par des sismographes partout dans le monde, représentent aujourd'hui **la seule méthode directe permettant d'explorer l'intérieur de la Terre**, car aucun forage n'a jamais dépassé quelques kilomètres sous nos pieds.

En 1909, Mohorovičić détecte pour la première fois une rupture brutale de vitesse, révélant l'existence d'une zone de transition entre croûte et manteau : **la discontinuité du Moho**.

Au fil du XX^e siècle, la sismologie révèle d'autres frontières internes – **Gutenberg**, puis **Lehmann** – permettant de comprendre que le globe est constitué d'enveloppes successives aux propriétés très différentes.

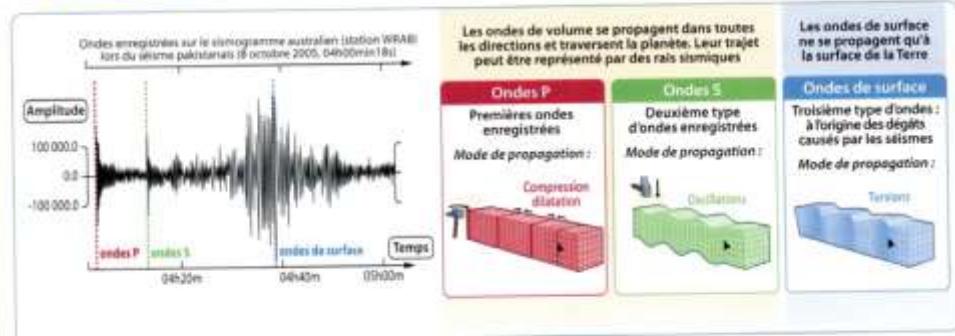
Ces découvertes aboutissent à la construction du modèle PREM, « *Preliminary Reference Earth Model* », aujourd'hui référence mondiale.

Comment l'étude des ondes sismiques permet-elle de reconstituer la structure interne de la Terre et d'identifier ses principales discontinuités ?

Lire un sismogramme et identifier les ondes

Un **séisme** s'explique par une rupture des roches en profondeur le long d'une **faille**. L'énergie libérée se propage, à partir du foyer, sous forme de vibrations, les **ondes sismiques**. Des sismographes répartis à la

surface de la Terre permettent d'enregistrer ces ondes. Les sismogrammes obtenus ont permis de mettre en évidence l'existence de différents types d'ondes.

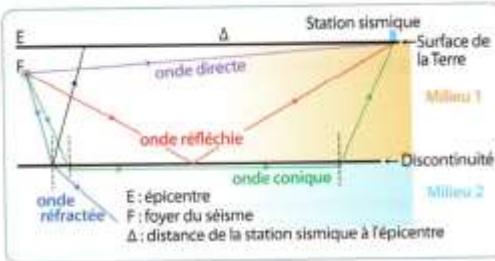


1 Les trois types d'ondes sismiques enregistrées sur un sismogramme et leurs caractéristiques

1. Classer les types d'ondes selon leur **vitesse de propagation**.
2. Expliquer pourquoi les ondes S n'apparaissent pas dans certains enregistrements.
3. À partir des temps d'arrivée, expliquer comment on peut déterminer la distance épcentrale.

Réfraction, réflexion : mise en évidence d'une discontinuité :

Comme pour les ondes lumineuses, les lois de Snell-Descartes s'appliquent pour les ondes sismiques. Lorsqu'une onde arrive sur une surface séparant deux milieux aux propriétés physiques différentes, elle peut être réfléchie ou réfractée selon l'angle d'incidence et les propriétés des milieux. Dans certains cas, l'onde peut subir une pseudo-réfraction : les ondes arrivant au niveau de l'interface y circulent avec une vitesse plus importante et génèrent des ondes en direction de la surface appelées ondes coniques.



Représentation du trajet des différentes ondes : directe, réfléchie, refractée et conique

2 Le comportement des ondes sismiques au niveau de l'interface entre deux milieux

- 1- Expliquer ce qu'est une **discontinuité** en sismologie.
- 2- À partir du document, justifier que les ondes ne suivent pas une trajectoire rectiligne dans la Terre.

Andrija Mohorovičić était un météorologue croate, pionnier de la sismologie. En 1909, en étudiant plusieurs sismogrammes d'un même séisme, il observe qu'à partir d'une certaine distance du foyer, des ondes P (notées Pn) arrivent en avance par rapport à un deuxième train d'ondes P (notées Pg), et d'autres ondes P

(notées PmP) arrivent en retard par rapport aux ondes Pg. Il en déduit l'existence d'une discontinuité physique à 30 km de profondeur appelée « discontinuité de Mohorovičić » ou « Moho ». Cette discontinuité est le contact entre la croûte et le manteau.

3 La découverte d'une première discontinuité dans le globe

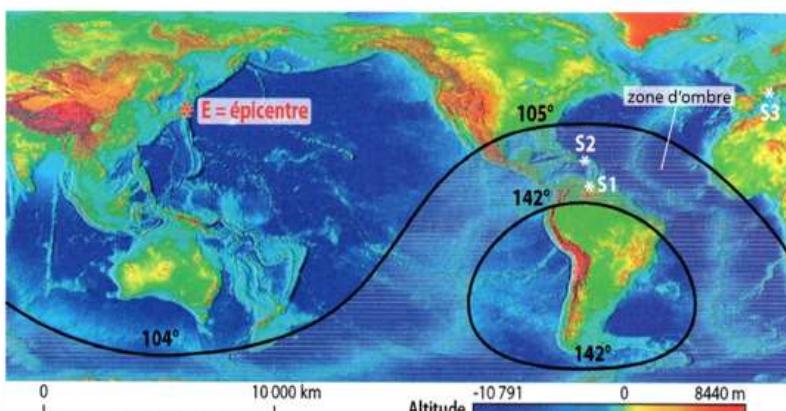


- 3- En étudiant les temps d'arrivée anormaux des ondes Pn et Pg, Mohorovičić a mis en évidence une discontinuité.
 - a. Nommer cette discontinuité.
 - b. Indiquer ce qu'elle sépare.

La zone d'ombre : un argument pour l'existence du noyau

Le 11 mars 2011, un séisme de magnitude 9,0 a secoué le Japon et a causé de très nombreux dégâts, notamment au niveau de la centrale nucléaire de Fukushima. Ce séisme a été enregistré dans de nombreuses stations sismiques. Cependant, alors que la station de Valbonne (S3) a reçu des ondes « directes » (P, S), les stations d'Haïti (S2) et de Caracas (S1), situées à plus de 105° de la source sismique, ne les ont pas reçues. Des observations analogues ont été faites depuis le début du xx^e siècle : quel que soit le lieu du séisme il existe une **zone d'ombre** sismique située entre

11 500 et 14 500 km de l'épicentre (distance angulaire comprise entre 105 et 142°) dans laquelle aucune onde directe n'est enregistrée.



4 Une zone d'ombre sismique

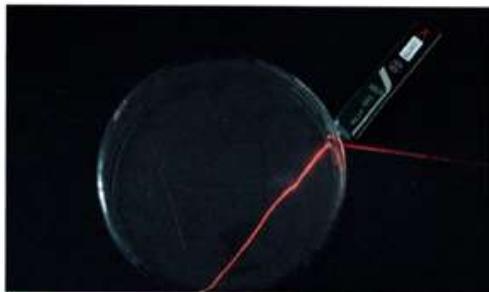
- 1- Définir une **zone d'ombre sismique**.
- 2- Pourquoi observe-t-on une zone d'ombre des **ondes S** ?
- 3- Pourquoi les **ondes P** ne sont-elles détectées qu'au-delà de 142° ?
- 4- En vous appuyant sur ces observations, proposer un modèle interne de la Terre pour expliquer ce phénomène.

Modèles analogiques : interprétation

Pour expliquer la présence d'une zone d'ombre sismique, on peut modéliser la Terre (cristallisoir) et les ondes sismiques (rayons lumineux).

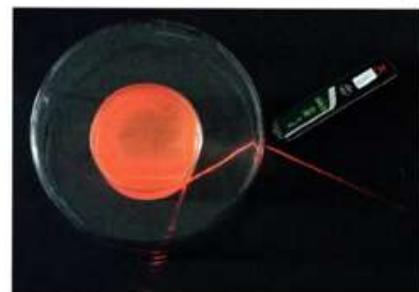
Modèle de Terre homogène à une couche

- Remplir un cristallisoir d'eau additionnée de fumée d'encens qui rendra le rayon lumineux.
- Faire tourner le laser autour d'un axe fixe, pour faire varier l'incidence du laser par rapport à la surface et observer le trajet du rayon lumineux.



Modèle de Terre à deux couches

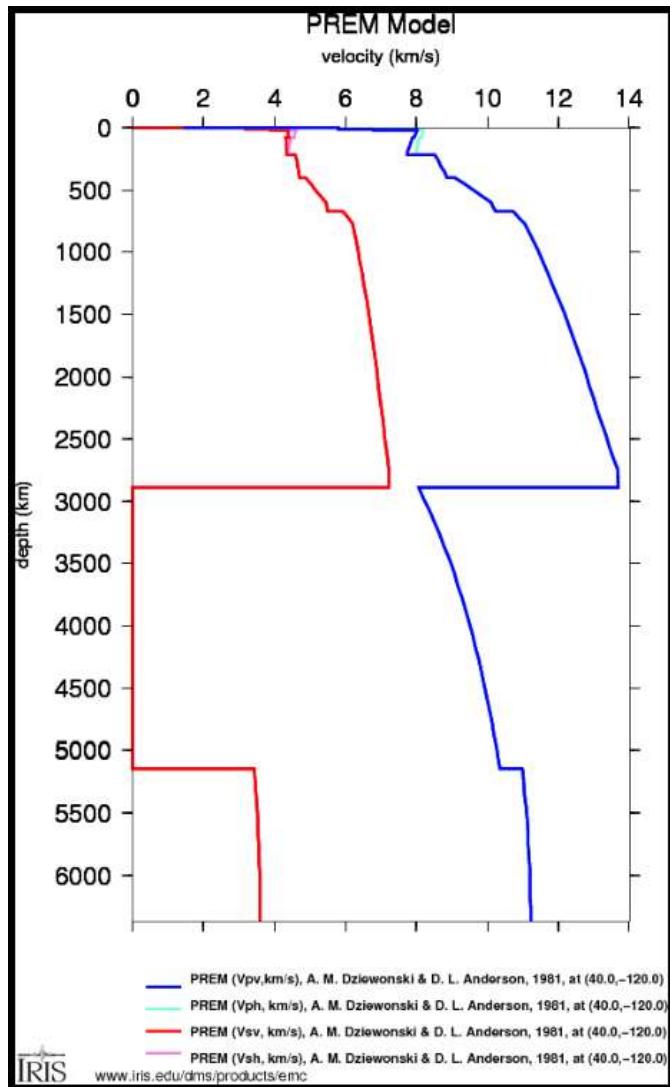
- Placer un petit cristallisoir contenant de l'eau additionnée de quelques gouttes d'éosine dans un grand cristallisoir contenant de la fumée d'encens.
- Faire tourner le laser autour d'un axe fixe pour faire varier l'incidence du laser par rapport à la surface et observer le trajet du rayon lumineux.



Données :
la lumière se propage à la vitesse de $300\ 000 \text{ km.s}^{-1}$ dans l'air et à $220\ 000 \text{ km.s}^{-1}$ seulement dans l'eau.

5 Des modèles analogiques pour expliquer la présence d'une zone d'ombre

- 1- Dans le modèle à une couche, décrire le trajet du rayon.
- 2- Dans le modèle à deux couches, expliquer pourquoi le rayon change de direction.
- 3- En quoi ce modèle permet-il d'expliquer la zone d'ombre sismique ?



Le modèle PREM

- 1- Relever sur le modèle PREM deux **changements brusques** de vitesse.
- 2- Associer chacun de ces changements à une **discontinuité** interne de la Terre.
- 3- Nommer les sur le modèle PREM
- 4- Expliquer pourquoi les ondes S ont une vitesse nulle dans une certaine zone.

La découverte d'Inge Lehmann

(document 6)

- 1- Quel phénomène particulier Lehmann a-t-elle observé dans la zone d'ombre ?
- 2- Quelle hypothèse permet d'expliquer cette observation ?
- 3- Comment ce modèle interne s'intègre-t-il au modèle PREM ?



En 1936, une sismologue danoise, Inge Lehmann (1888-1993) découvre que le noyau de la Terre contient une partie centrale distincte : la graine. En effet, des ondes P indirectes sont enregistrées dans la zone d'ombre. Lehmann émet l'idée selon laquelle ces ondes seraient issues d'une réflexion à la surface d'une partie centrale du noyau. Cette interprétation est reçue avec enthousiasme par la communauté scientifique et le rayon de la graine est estimé par Gutenberg (en 1938) et par Jeffreys en (1939) entre 1200 et 1250 km (la détermination actuelle est de 1221 km).

6 Mise en évidence de la discontinuité de Lehman

Synthèse :

À partir de l'ensemble des documents et de vos réponses aux questions précédentes, explique comment l'étude des ondes sismiques a permis de construire un modèle de la structure interne de la Terre et d'identifier les principales discontinuités internes (Moho, Gutenberg, Lehmann).