

L'apport des études sismologiques à la connaissance de la structure de la terre.

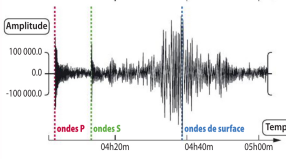
Le forage russe de Kola est le plus profond réalisé. Il atteint 12 262 m de profondeur, soit seulement 0,2% du rayon de la terre. La structure interne de la terre a donc été établie par des méthodes indirectes notamment avec les données de la sismologie.

Comment les études sismologiques ont-elles permis de construire un modèle de la structure interne de la terre ?

Exploitez les documents à votre disposition pour réaliser un schéma annoté de la structure interne de la terre.

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.

Ondes enregistrées sur le sismogramme australien (station WRAB) lors du séisme pakistanais (8 octobre 2005, 04h00min18s)

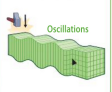


Les ondes de volume se propagent dans toutes les directions et traversent la planète. Leur trajet peut être représenté par des rais sismiques

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



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

Calcul de la vitesse des ondes P et S à partir de l'étude de sismogrammes étudiés dans la région alpine

Construisez, pour chaque type d'onde, le graphique durée du trajet en fonction de la distance **épicentrale**. Cliquez (clique droit) sur un point des ondes P et ajoutez une courbe de tendance en cliquant sur « ajouter une courbe de tendance » puis dans l'onglet Options, cochez la case Afficher l'équation sur le graphique ». Faire de même pour les ondes S. Les courbes sont de la forme $y = ax + b$ où « b » donne l'heure du séisme, soit environ 3 h 12 min 5 s et où « a » le **coefficient directeur** est la variation de temps sur la variation de distance. **Déterminez** la vitesse des ondes P et S.

Les principales caractéristiques des ondes sismiques

Les ondes de volume : Elles se propagent dans toutes les directions à l'intérieur du globe et sont constituées par les ondes P et les ondes S.

- Les ondes primaires ou ondes P sont des ondes longitudinales de compression - décompression capables de se propager aussi bien dans les solides que dans les fluides, y compris dans l'atmosphère (elles sont responsables du bruit sourd que l'on entend au début d'un séisme). Le déplacement des particules est parallèle à la direction de propagation de l'onde.
- Les ondes secondaires ou ondes S sont des ondes transversales de cisaillement ; elles ne sont transmises que par les solides. Le déplacement des particules est perpendiculaire à la direction de propagation des ondes.

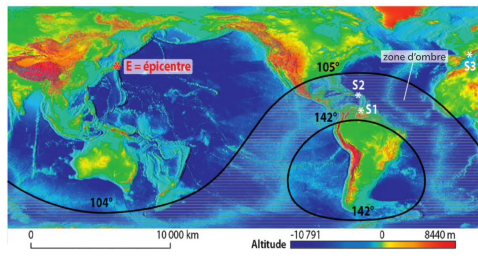
Les ondes de surface : Souvent désignées sous le terme d'ondes L, ces ondes de grande amplitude correspondent à des mouvements très complexes du sol faisant penser à la houle de mer. Elles sont moins rapides que les ondes de volume, et elles se déplacent uniquement dans les couches superficielles du globe.

Temps mis par les ondes P et S pour atteindre différentes stations sismiques lors d'un séisme										
Stations	OGO9	RSL	VAU	OG18	OGO2	OGO3	OGO8	OG14	OG20	SSB
Distance épicentrale km	24,3	40,3	47,8	49,8	63,3	70,8	71,2	85,9	109,5	128,9
Ondes P	8,928	11,438	12,391	13,221	15,580	16,493	16,994	18,613	22,775	26,101
Ondes S	12,238	16,128	17,481	19,221	23,080	23,833	23,834	28,263	35,725	41,401

3 La découverte d'une première discontinuité dans le globe

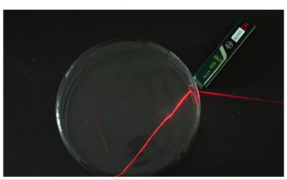
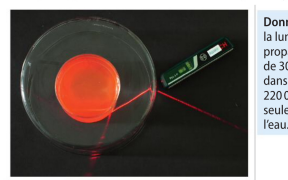
HISTOIRE DES SCIENCES

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 20^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.



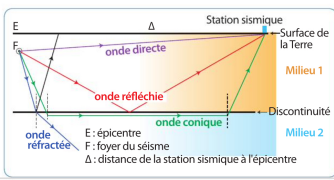
4 Une zone d'ombre sismique

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

Modèle de Terre homogène à une couche	Modèle de Terre à deux couches
- Remplir un cristallin 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. 	- Placer un petit cristallin contenant de l'eau additionnée de quelques gouttes d'essence dans un grand cristallin 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 km.s⁻¹ dans l'air et à 220 000 km.s⁻¹ seulement dans l'eau.

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

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 réfléchiée 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, réfléchi, réfracté et conique

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

HISTOIRE DES SCIENCES

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).

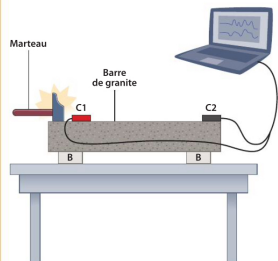
6 Mise en évidence de la discontinuité de Lehman

L'apport des études sismologiques à la connaissance de la structure de la terre. - 9 juillet 2026 - Yann Bouyeron - page 2 / 3

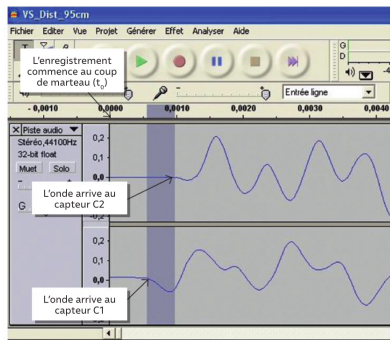
Protocole

- 1 Placer et fixer les deux capteurs d'ondes aux extrémités d'une barre de granite. Les relier à l'ordinateur.
- 2 Lancer l'enregistrement sur le logiciel Audacity et donner un petit coup de marteau sur l'une des tranches de la barre. Les ondes sismiques générées vont se propager dans toutes les directions. Elles vont être perçues par les récepteurs placés sur la barre.
- 3 Utiliser les données obtenues pour calculer la vitesse de l'onde.
- 4 Répéter ces mesures avec d'autres matériaux.

B : blocs de polystyrène permettant d'isoler la barre
C1, C2 : capteurs d'ondes sismiques



a. Montage expérimental



b. Enregistrement obtenu sur Audacity avec de la pâte à modeler à la température de 20°C

Température de la pâte à modeler	4 °C	35 °C
Durée du trajet des ondes entre 2 capteurs séparés de 40 cm	0,0004 s	0,0016 s

c. Données permettant de calculer la vitesse de propagation des ondes dans la pâte à modeler à différentes températures

1 Détermination expérimentale de la vitesse d'une onde sismique dans une roche

Roche	Péridotite	Granite	Basalte	Gabbro	Roches sédimentaires	Eau
Vitesse des ondes sismiques P (en km.s ⁻¹)	> 7,5	5-6	6-7	7	1,6 à 3,5	1,5

2 Vitesses des ondes sismiques P mesurées dans différentes roches et dans l'eau

Profondeur (km)	Vitesse des ondes P sous les continents (km.s ⁻¹)
0	6
30	6
31	8
100	8
140	7,5
180	7,5
200	7,8
250	9
300	9,3

Profondeur (km)	Vitesse des ondes P sous les océans (km.s ⁻¹)
0	6,5
5	6,5
7	8
80	8
110	7,5
200	7,6
250	8,3
300	9

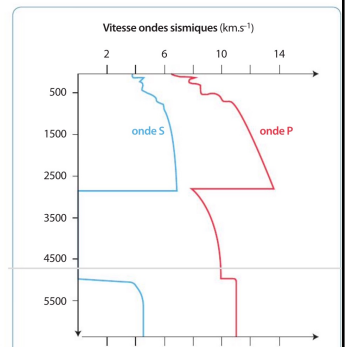
3 Vitesses de propagation des ondes sismiques entre 0 et 300 km de profondeur en milieu océanique et en milieu continental

Dans les années 1980, les études de la vitesse de propagation des ondes sismiques ont permis d'établir un modèle de leur évolution en fonction de la profondeur : c'est le modèle PREM.

a. Quelques propriétés des ondes sismiques

- Les ondes S ne se propagent pas dans les liquides.
- Un changement brutal de la vitesse de propagation des ondes sismiques correspond généralement à un changement de la nature des roches ou de leur état physique.
- Un ralentissement de la vitesse de propagation des ondes sismiques indique le passage des ondes d'un milieu cassant à un milieu plus ductile.

b. Modèle PREM représentant l'évolution



[Lien fichier Excel](#)