

TD : Commentaire et interprétation du profil sismologique global de la Terre

1 : Localisez sur le graphique du profil le manteau et le noyau. Qu'est ce qui a déterminé la taille du noyau et du manteau terrestres ?

Le manteau va de quelques dizaines de km de profondeur jusqu'à 2891 km de profondeur

Le noyau va de 2891 km de profondeur jusqu'au centre de la Terre (à 6371 km de profondeur)

Les tailles relatives du noyau et du manteau terrestres ont été fixées par la composition chimique de la nébuleuse solaire là où la Terre s'est formée, et donc par les abondances cosmiques relatives de Mg, Si et Fe

2 : Commentez l'origine des sauts de densité et de vitesse qui se produisent à la limite noyau-manteau.

Saut de densité car on passe de roches solides comprimées à du métal liquide bien plus dense (c'est d'ailleurs pour cela que ce métal a migré jusqu'au centre de la planète lors de la différenciation planétaire)

Ce passage d'une roche solide à un métal liquide conduit à une annulation de la vitesse des ondes S et à une forte baisse de celle des ondes P (annulation du terme μ de résistance au cisaillement dans la formule de la vitesse et forte augmentation de la densité, et ce même si la résistance à la compression du fer liquide est un peu plus élevée que celle des roches)

3 : Expliquez, en utilisant des graphiques, la relation entre ce saut de vitesse à la limite noyau-manteau et l'existence d'une zone d'ombre pour les ondes sismiques

La seule réponse possible à cette question est de faire un graphique en utilisant les lois de Descartes de la réfraction (voir cours) et montrant la propagation des rais sismiques

4 : Expliquez pourquoi des ondes S circulent au centre de la Terre.

A une interface, une onde P peut en fait se transmettre en P ou être convertie en S. A la limite entre le noyau liquide et le noyau solide, certaines ondes qui étaient P dans le noyau liquide se retrouvent S dans le noyau solide

5 : Expliquez qualitativement comment on peut déterminer à toute profondeur dans la Terre à partir des données de vitesses d'ondes sismiques : (1) la densité ; (2) la gravité ; (3) la pression ; (4) la température.

(1) La densité intervient dans la formule des vitesses (en réalité c'est un peu plus compliqué à extraire des informations purement sismiques)

- (2) la gravité se déduit si l'on connaît toute la masse située sous le point où l'on veut calculer g (théorème de Gauss). Le profil de densité donne donc la gravité
- (3) La pression se déduit si l'on connaît la gravité et la densité : $\Delta P = \rho g \Delta z$
- (4) La température n'est pas obtenue directement à partir de données géophysiques (on verra cela plus tard)

6 : Expliquez pourquoi les vitesses et les densités augmentent quand on s'enfonce à l'intérieur de la Terre.

Les densités augmentent car les roches sont compactées par le poids de celles situées au dessus. Eventuellement aussi parce que les matériaux les plus denses ont migré vers les profondeurs (cas du noyau).

Bien que la densité intervienne au dénominateur dans les formules de vitesses d'ondes sismiques, celles-ci augmentent quand la densité augmente, c'est à dire lorsque la profondeur augmente, car alors les résistances au cisaillement et à la compression (qui interviennent au numérateur dans les formules des vitesses) augmentent relativement plus que la densité

7 : Imaginez et décrivez une méthode expérimentale permettant de déterminer la composition, les proportions et la structure des minéraux de l'intérieur de la Terre.

Il faut essayer expérimentalement beaucoup de compositions chimiques et les soumettre aux conditions de pressions et températures qui règnent dans la Terre à une profondeur z. Si les densités et vitesses sismiques mesurées dans l'échantillon sont compatibles avec celles données par le modèle sismologique (par exemple PREM distribué avec ce TD), alors cette composition chimique est un candidat possible pour le matériau présent à cette profondeur z. On peut alors, dans l'échantillon expérimental, déterminer les minéraux présents, leurs structures, leurs compositions, leurs propriétés. Des méthodes dynamiques (ondes de choc) ou statiques (cellules à diamants) sont disponibles pour ce genre d'expériences mais elles souffrent toutes d'incertitudes qui expliquent que l'on ne connaît pas encore complètement la composition chimique et les caractéristiques des matériaux les plus profonds de notre planète.

8 : A quelles profondeurs se situent les principales discontinuités sismiques du manteau et du noyau terrestres ?

Dans le manteau : à 400 et 670 km de profondeur (par définition : manteau supérieur au dessus de 670 km, manteau inférieur au dessous)

Dans le noyau : à 5150 km de profondeur (par définition : noyau liquide au dessus et noyau solide ou graine au dessous)

9 : Quelle est l'interprétation de ces discontinuités sismiques ?

Dans le noyau, c'est le passage du fer liquide au fer solide qui occasionne un saut de densité et de vitesses sismiques
Dans le manteau, on ne sait pas exactement si ce sont des changements de composition chimique ou simplement des changements de structures des minéraux à composition chimique constante (c'est plutôt cette seconde hypothèse qui est privilégiée, sans être actuellement démontrée).

10 : Par rapport au manteau moyen à une profondeur donnée, quelle serait la signature d'une plaque en subduction en (1) vitesse d'ondes sismiques, (2) densité ; (3) température

Une plaque en subduction est relativement froide car elle est constituée de matériaux restés longtemps proche de la surface de la Terre, bien plus froide que l'intérieur. Du coup, elle est plus dense que le milieu environnant (car étant plus froide, une masse donnée est plus contractée, occupe moins de volume et est donc plus dense). C'est d'ailleurs parcequ'elle est plus dense qu'elle descend dans le manteau qui l'entoure. Vu ce que l'on a dit précédemment, si elle est plus dense que la moyenne du matériau qui l'entoure, elle est caractérisée par des vitesses sismiques plus élevées. Ces zones rapides sont représentées en bleu (couleur froide) sur les coupes tomographiques du manteau (voir image dans le cours).

Structure radiale (1-D)

