

# La Minéralogie du Manteau

Pierre Beck, Novembre 2007

Introduction :

Manteau : Entre la discontinuité de Mohorovicic et de Gutenberg. Il représente 2/3 de la masse de la Terre. Cependant une faible partie est accessible pour l'étude directe. Construction d'un modèle minéralogique à partir d'un modèle chimique et d'un modèle physique.

## 1 Minéralogie des échantillons

### 1.1 Quels échantillons

-Ophiolite. Ce sont des morceaux de lithosphère océanique piégé lors de la formation des chaînes de montagnes.

-Dragage : Dragage au niveau des dorsales océaniques (failles transformantes ou à l'axe permet d'obtenir des échantillons.

-Forage : Continentaux : pas assez profond pour toucher le Moho. Par contre forages océaniques permettent d'atteindre le Manteau.

-Nodules. Seul moyen d'obtenir du manteau sous-continentale. Fragments arrachés par du magmatisme de point chaud continental.

-Inclusions dans les diamants.

### 1.2 Minéralogie des péridotites

-Péridotite : roche qui contient des péridotites (olivine).

-Roche à olivine, pyroxènes et une phase alumineuse qui dépend de la profondeur (feldspath, spinelle, grenat)

-Sous les dorsales lentes, on a des lherzolites (2 types de pyroxène, ortho et clino, ex : Chenaillet). Sous les dorsales rapides, on a des harzburgites (1 type de pyroxène, ortho).

-Donner un exemple de composition chimique globale avec composition minéralogique et normative.

### 1.3 Limitations

- Souvent les péridotites sont altérées chimiquement (ex : Serpentinisation, métasomatisme).

-On n'a pas d'échantillons qui viennent d'une profondeur supérieure à 400 km

-Qu'y a-t-il en dessous ?

## **2 Modèles chimiques du Manteau inférieur**

### **2.1 La Terre une planète chondritique**

- Les chondrites sont les objets les plus primitifs du Système Solaire (composition chimique identique à celle de la photosphère solaire)
- Des chondrites tombent aujourd'hui sur Terre.
- La composition chimique d'une chondrite est à peu près égale à un noyau ferreux plus un manteau silicaté.

### **2.2 Construction d'un modèle chimique du manteau**

- Classification chimique de Goldschmitt. Permet de déterminer quels éléments chimiques seront dans les silicates et dans le noyau.
- Quel type de chondrite? On ne sait pas mais utiliser de corrélations et de trends chimiques.

### **2.3 Les incertitudes sur ces modèles**

- Combien de Fer, de Si ou d'Al dans le manteau
- Éléments légers dans le noyau.

## **3 Observations sismiques, gravitaires et contraintes expérimentales**

### **3.1 Equations d'État et transitions de phases**

- La densité d'un minéral dépend de la pression et de la température. Une équation d'état relie la densité à P et T. Un exemple : équation de Birch-Murnaghan.
- Il est donc nécessaire de connaître le profil de température dans le manteau, le géotherme.
- Les études expérimentales permettent de connaître les équations d'état et de déterminer les transitions de phase. Sous l'effet de la pression les minéraux adoptent des structures cristallines plus denses.
- Celles-ci sont étudiées expérimentalement en presse ou en cellule à enclume de diamant. Travaux pionniers de Birch et Ringwood.

### 3.2 Contraintes issue du champ de gravité

- Le moment d'inertie de la terre permet de déterminer les variations de la densité avec la profondeur.
- Si on suppose l'équilibre hydrostatique de la terre, l'augmentation la pression avec la profondeur est  $P = \rho gz$ .
- Grace à ces ces contraintes on connait donc le profil radial de pression et de densité.

### 3.3 Contraintes sismiques

-Les réflecteurs sismiques. Les variations rapides de densité (ex : interface entre deux couches de densité différentes réfléchissent les ondes sismiques. Il y en 2 dans le manteau, l'un à 410 km et l'autre à 660 km. Une couche nommée D" est aussi observée. Cette couche est à la basse du manteau et à une épaisseur variable ( 200 km).

-Les temps de propagation des ondes sismiques dépendent de leur vitesse qui dépend de la densité et de la compressibilité des matériaux. En inversant des données sismiques il est possible de déterminer le profil radial de compressibilité au sein du manteau.  $V_P = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$ . Cette compressibilité va aussi permet de fixer des contraintes sur les matériaux constitutifs.

## 4 Le modèle minéralogique

### 4.1 Le géotherme

- Si on suppose que le manteau convecte, les variations de températures avec la pression suivent un adiabath et sont donc connue. Cet adiabath dépend peu de la minéralogie.
- Pour encrer le géotherme il faut connaître la température en base de crôte. On suppose un profil conductif.

### 4.2 Modèle minéralogique

Globalement un modèle de type péridotite permet d'expliquer les observations sismiques.

- Discontinuité à 410 km. Celle-ci est interprétée par une transition de phase de l'olivine qui adopte une structure du type spinelle (wadsleyite).
- Discontinuité à 660 km. Celle-ci est expliquée par la transition de l'olivine  $(Mg, Fe)_2SiO_4$  en un mélange de pérovskite  $(Mg, Fe)SiO_3$  et magnésiwustite  $(Mg, Fe)O$ .

-On remarquera que la transition entre la wadsleyite et la ringwoodite n'est pas observée car elle implique une faible variation des vitesses sismiques.  
-La couche D". Cette couche est expliquée par la présence d'une transition de phase de la  $(Mg, Fe)SiO_3$ -perovskite vers une structure nommée ' post-perovskite <sup>a</sup>.

### 4.3 Evolution des réflecteurs au niveau des zones de subduction

-Les discontinuité au niveau des zones de subduction. La profondeur des transitions de phase dépend de la température (pente de Clapeyron). Les variations de profondeur de ces transitions de phase au niveau des zones de subduction (zones froides) permet de confirmer ce modèle.

Conclusion : La minéralogie du manteau est connue pour le manteau supérieur. Pour le manteau inférieur on a construit un modèle minéralogique. La minéralogie apparaît connue. Cependant les proportions entre les différentes phases et leur composition chimique (ex : rapport Fe/Mg) restent sous déterminés.

#### Bibliographie

- Comprendre et Enseigner la Planète Terre. J-M Caron et al.
- La Physique et la Terre. H-C Nataf.
- La Terre (APBG).
- L'intérieur de la Terre et des planètes . A. Dewaele er al.
- Physique de la Terre Solide. Larroque/Virieux.
- La Géochimie - Francis Albarède.
- Géologie de la croute océanique. Thierry Juteau.
- La Recherche 382 - La couche D", post-perovskite.
- Les profondeurs de la Terre. J-P Poirier.