

Thème 1 La Terre, la vie et l'organisation du vivant

Chap.I La structure du globe terrestre

La Terre est une planète active. Elle est le siège d'activité magmatique, volcanique, sismique. Cette activité est liée à l'énergie interne de la planète. Le transfert d'énergie au sein des enveloppes internes de la Terre est à l'origine de la tectonique des plaques caractérisée par le déplacement relatif des plaques lithosphériques sur l'asthénosphère.

Questionnement :

Comment la structure interne de la Terre peut-elle être mise en relation avec cette activité?

Comment les méthodes de géophysique ont-elles permis de connaître la structure interne du globe ?

Comment expliquer la répartition bimodale des altitudes?

Comment les ondes sismiques ont-elles permis de connaître la structure interne du globe?

Comment expliquer les variations de vitesse des ondes sismiques?

Comment évolue la température à l'intérieur de la Terre ? Quels sont les modes de transfert de chaleur?

Qu'appelle-t-on la tomographie sismique? Pourquoi cette technique fait-elle évoluer le modèle de la structure interne de la Terre?

Quelles sont les propriétés physiques et thermiques de la lithosphère et de l'asthénosphère ?

Des contrastes entre les continents et les océans

1-1 L'observation des reliefs

L'observation des reliefs à la surface de la Terre permet de distinguer deux grands ensembles par rapport au niveau de la mer (niveau 0):

- des **reliefs positifs**, avec notamment les chaînes de montagnes, présents sur les continents avec des sommets qui atteignent plus de 9 000m d'altitude. Ces chaînes de montagnes sont localisées soit en bordure des continents (Cordillère des Andes) ou au sein des continents (Himalaya). L'altitude moyenne des continents est de 900 m.
- des **reliefs négatifs**, les fonds océaniques qui sont en moyenne à une profondeur de 4 000 m.

Cette répartition bimodale des reliefs s'explique par la nature des matériaux des continents et des fonds océaniques : les continents sont de nature granitique moins dense que les fonds océaniques de nature basaltique.

1-2 Les caractéristiques pétrographiques des deux types de croûte terrestre

- La croûte continentale : si la composition de la croûte continentale présente une certaine hétérogénéité visible en surface (roches magmatiques, sédimentaires, métamorphiques), une étude en profondeur révèle que **les granites** en sont les roches les plus représentatives.

Le granite est composé principalement de trois types de minéraux : **quartz, feldspaths et micas**. Le granite est entièrement cristallisé, sa structure est **grenue**, c'est donc une roche issue d'un refroidissement lent d'un magma. Le granite est une **roche magmatique plutonique** (ou intrusive).

- La croûte océanique est composée de deux types de roches, le basalte et le gabbro qui ont la même composition minéralogique, feldspath plagioclase et pyroxène. Ils sont issus d'un même magma dit de nature basaltique. **Le basalte et le gabbro sont donc des roches magmatiques.**
 - **le gabbro**, roche entièrement cristallisée, présente à l'œil nu des cristaux jointifs, sa structure est donc **grenue**. Une telle structure indique que le gabbro est issu d'un refroidissement lent ; c'est une **roche magmatique plutonique** (ou intrusive).
 - **le basalte** est une roche qui présente des cristaux de différentes tailles et de la pâte vitreuse (verre) : sa structure est hétérocristalline. Les cristaux de feldspath plagioclase du basalte sont sous forme de microlites visibles uniquement au microscope optique : on parle de structure microlitique. Une telle structure indique que le basalte est issu d'un refroidissement rapide ; c'est une **roche magmatique volcanique** (ou éruptive).

II L'apport des études sismologiques et thermiques à la connaissance du globe terrestre

II-1 Les renseignements apportés par l'étude des ondes sismiques

Les tremblements de terre ou séismes* résultent de la libération d'énergie lors de ruptures de roches soumises à des contraintes. Le point d'origine du séisme est l'hypocentre* ou foyer sismique.

Un séisme déclenche la propagation d'ondes sismiques : les ondes P (ondes primaires), les ondes S (ondes secondaires) plus lentes que les ondes P.

Les ondes P et S se propagent à l'intérieur du globe et nous renseignent sur la structure profonde du globe car leur vitesse dépend de la densité, de la rigidité et de l'état physique des matériaux traversés :

- Les ondes P (ondes primaires) se propagent dans les solides comme dans les fluides alors que les ondes S ne se propagent que dans les solides.
- La vitesse de propagation des ondes augmente quand la densité et la rigidité des matériaux traversés augmentent. Par conséquent, la vitesse moyenne des ondes augmentant avec la profondeur, plus on s'enfonce dans le globe terrestre et plus le matériau rencontré est dense.
- Les ondes sismiques se déplacent en ligne droite dans les milieux homogènes mais sont réfléchies et/ou réfractées lorsqu'elles rencontrent des discontinuités physiques.

L'étude de la propagation des ondes sismiques a permis de déterminer les discontinuités physiques de la Terre, la densité, l'état physique des matériaux rencontrés (solide, liquide).

II-2 Un modèle sismique de la structure interne de la Terre

Le modèle sismique PREM (Preliminary Reference Earth Model): l'étude de la propagation des ondes sismiques a permis d'établir un premier modèle de la structure interne de la Terre en fonction de la profondeur: le modèle sismique PREM ou modèle radial. La Terre est constituée d'enveloppes internes concentriques d'épaisseurs **très inégales** : la croûte terrestre*, le manteau* et le noyau*.

Ces trois enveloppes sont délimitées par des discontinuités internes majeures* : la discontinuité de Mohorovicic* ou " Moho " sépare la croûte du manteau supérieur, la discontinuité de Gutenberg sépare le manteau inférieur* du noyau et enfin la discontinuité de Lehman sépare le noyau externe* du noyau interne*.

- La croûte continentale occupe les 30 premiers kilomètres de la Terre au niveau des continents et peut atteindre une profondeur de 70 km sous les chaînes de montagnes.
- La croûte océanique est en moyenne épaisse de 5-7 km sous les océans.
- Le manteau, composé de roches appelées péridotites est divisé en :
 - manteau supérieur : il s'étend du Moho à une profondeur de 700 km environ.
 - manteau inférieur : il s'étend de -700 km jusqu'à la discontinuité de Gutenberg à -2900km.
- Le noyau, composé essentiellement d'éléments métalliques (fer 80% et nickel 20%) est divisé en :
 - noyau externe : il s'étend de - 2900 km jusqu'à la discontinuité de Lehman à -5100km.
 - noyau interne : il s'étend de -5100 km jusqu'au centre de la Terre, environ - 6370 km.

De toutes les enveloppes internes de la Terre, seul le noyau externe est à l'état liquide. Les autres enveloppes sont à l'état solide.

La distinction lithosphère – asthénosphère

- Dans le manteau supérieur il existe une zone moins rigide (située entre 100 et 300 km de profondeur environ): c'est l'**asthénosphère*** qui présente un comportement mécanique ductile.
- L'asthénosphère est située sous un ensemble plus rigide formé de la croûte terrestre et la partie la plus superficielle du manteau supérieur. Cet ensemble, croûte et partie supérieure du manteau, appelé aussi manteau lithosphérique*, constitue la **lithosphère***. **La lithosphère présente un comportement mécanique cassant.**

Les variations de température et de pression jouent un rôle prépondérant sur les propriétés physiques* des matériaux. L'asthénosphère présentant un comportement mécanique ductile*, elle est donc relativement moins visqueuse que la lithosphère qui la surmonte présentant un comportement mécanique cassant.

- **La limite lithosphère-asthénosphère est donc une limite thermique.** Ces deux enveloppes sont séparées par l'isotherme 1 300°C.
- La lithosphère continentale a une épaisseur qui peut atteindre 200 km alors que l'épaisseur de la lithosphère océanique varie entre 5-7 km à 100 km.

Remarque : certains auteurs assimilent l'asthénosphère à une enveloppe comprise en moyenne entre 100 et 700 km de profondeur. La zone de plus faible vitesse est appelée LVZ (Low Velocity Vitesse) entre 100 et 300 km de profondeur, au-delà, on parle de zone de transition jusqu'à 700 km.

III L'apport des études thermiques à la connaissance du globe terrestre

III-1 Les modes de transfert de chaleur au sein de la Terre : un modèle thermique de la structure interne

La température interne de la Terre croît avec la profondeur mais pas de façon continue. Le profil d'évolution de la température interne présente des différences suivant les enveloppes internes de la Terre, liées aux **modes de transfert thermique** : la **conduction et la convection**.

Deux mécanismes de transfert inégalement efficaces

L'énergie thermique est propagée par conduction et par convection :

- la **conduction** est un **transfert de chaleur de proche en proche sans déplacement de matière**. L'échange thermique entre une région chaude et une région voisine plus froide se matérialise par un **fort gradient géothermique** (par exemple dans la croûte, 30°C/km). L'efficacité de ce transfert dépend de la conductivité du matériau.
- la **convection** correspond à un **transfert de chaleur par déplacement des matériaux** dont la température varie peu. Le **gradient géothermique est alors très faible**, de 0,3°C/km par exemple). La matière chaude a généralement tendance à s'élever (densité plus faible) alors que la matière froide a tendance à descendre (densité plus forte). Ces échanges de matière ont été identifiés par **tomographie sismique** et ont mis en évidence des flux de matière circulaires formant des cellules de convection. Ce **transfert d'énergie est très efficace**.

Le profil d'évolution de la température en fonction de la profondeur présente donc des variations suivant les enveloppes internes de la Terre, liées aux modes de transfert thermique

III -2 Un modèle thermique du globe terrestre

On peut considérer la Terre comme une sphère dans laquelle existe une convection lente dans le manteau à l'origine des remontées et des descentes asthénosphériques. Celles-ci sont à l'origine de la dynamique lithosphérique et donc aussi à l'origine des manifestations de surface. Ces cellules de convection sont repérables par tomographie sismique. Ainsi, la dissipation d'énergie interne du globe est responsable du déplacement des plaques lithosphériques. De part et d'autre de cette zone convective existent deux couches où règne la conduction: la **lithosphère et l'interface manteau inférieur/noyau externe**.

Ainsi, l'énergie interne de la Terre est efficacement transférée par convection de la profondeur vers la surface dans le manteau puis dissipée par conduction à travers la lithosphère.

III-3 Les apports de la tomographie sismique

Le principe de la tomographie sismique est basée sur les **anomalies de vitesse de propagation des ondes sismiques** qui sont enregistrées par des instruments situés dans de nombreuses stations sismiques situées à la surface du globe: les ondes qui montrent un retard par rapport aux autres ont traversé une zone plus chaude et moins dense. Celles qui sont accélérées ont traversé une zone plus froide et plus dense. La tomographie sismique montre qu'il existe des **variations hétérogènes latérales** (horizontales) détectées par des anomalies de la vitesse de propagation des ondes sismiques . Ces anomalies sont interprétées comme des hétérogénéités thermiques au sein du manteau.