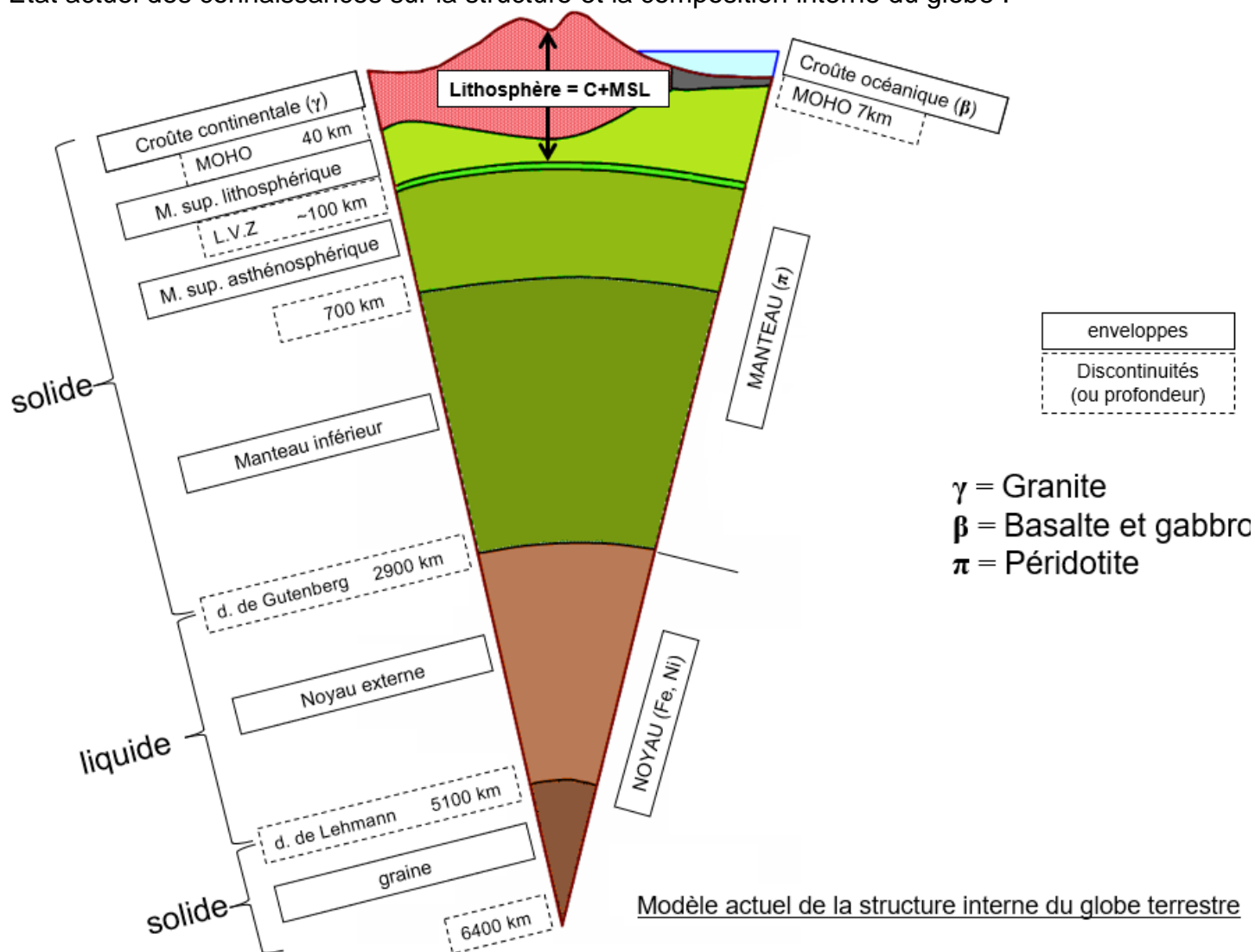


Leçon 1 : Structure et composition du globe terrestre

Etat actuel des connaissances sur la structure et la composition interne du globe :



Problème : Alors que la majeure partie du globe est inaccessible à l'observation, comment les scientifiques ont-ils pu proposer ce modèle ?

I. Des observations directes de roches permettent de connaître la composition des croûtes et de leur soubassement

Des roches peuvent être prélevées en surface ou à quelques kilomètres de profondeur grâce à des forages

A. Méthodes d'étude des roches prélevées

Cf TP1

Une roche est un ensemble de minéraux. Chaque minéral est une molécule qui a une formule chimique qui lui est propre. Un minéral est composé d'atomes ordonnés géométriquement dans l'espace ce qui lui confère des particularités optiques : son reflet, sa couleur, son opacité, ses fractures/clivages etc.

1. Observation macroscopique des roches.

En observant une roche à l'œil nu on peut :

- Observer les caractéristiques des différents minéraux qui la composent pour les identifier.
- Observer son organisation et décrire sa structure.

On distingue 2 grands types de structure :

- la structure grenue lorsque tous les minéraux sont visibles à l'œil nu
- la structure microlithique lorsque tous les minéraux ne sont pas visibles à l'œil nu
- Mesurer sa densité en déterminant son volume et sa masse.

2. Observation microscopique des roches.

Grâce à un microscope polarisant, on peut observer et identifier les minéraux qui composent une roche.

B. Composition de la croûte océanique

Elle est composée de gabbros et basaltes recouverts d'une couche de sédiments.

Le basalte et le gabbro ont la même composition chimique et sont donc constitués des mêmes minéraux (feldspaths, pyroxènes et parfois olivines).

Les éléments chimiques les plus abondants sont Oxygène (O), Silicium (Si), Fer (Fe) et Aluminium (Al).

La densité des gabbros est très proche de celle des basaltes (environ 2,9).

Dans la croûte océanique les basaltes sont situés au-dessus des gabbros et ont une structure microlithique.

Les gabbros, plus profonds dans la croûte sont au contraire de structure grenue.

C. Composition de la croûte continentale

La croûte continentale est principalement constituée de granite.

Le granite est une roche grenue constituée principalement de Quartz, de feldspaths et de micas.

Les éléments chimiques les plus abondants sont Oxygène (O), Silicium (Si), et des éléments légers : Aluminium (Al) et Potassium (K).

La densité des granites est de 2,7.

D. Composition du manteau

Lors de son ascension, un magma qui provient du manteau peut arracher des fragments de roches qu'il traverse. Ainsi, on peut retrouver des enclaves de roches du manteau dans des basaltes.

Ces enclaves montrent que le manteau est constitué de **péridotites**. Il s'agit d'une roche constituée de **d'olivines** et de **pyroxènes**. La **densité** des péridotites est de **3,2**.

II. Des informations déduites de l'études des ondes sismiques permettent d'appréhender la structure interne du globe

A. Méthode d'étude.

Un séisme correspond à une libération brutale d'énergie suite à la rupture de roches soumises à des contraintes.

L'énergie libérée se propage dans toutes les directions sous forme d'ondes sismiques

A la surface du globe, on peut enregistrer les ondes sismiques grâce à des sismomètres.

Les enregistrements obtenus sont des sismogrammes.

L'analyse des sismogrammes permet de distinguer 3 types d'ondes sismiques :

- les ondes P qui sont enregistrées en 1^{er}. Elles se propagent dans tous les milieux solides et liquides

- les ondes S qui sont un peu moins rapides (et arrivent donc avec un certain retard par rapport aux P). Elles ne se propagent que dans les milieux solides (pas dans les liquides).

- Des ondes de surface qui ne se propagent que dans les couches superficielles du globe et qui sont des ondes de grande amplitude. Ce sont elles qui produisent les dégâts lors d'un séisme.

La vitesse des ondes sismiques dépend de la nature des roches, de leur rigidité (plus la rigidité des roches augmente plus la vitesse des ondes sismiques est élevée) et de la température (la vitesse des ondes diminue avec l'augmentation de la température)

Lorsque ces ondes rencontrent un changement de milieu (= surface de discontinuité), les ondes sismiques se réfléchissent et se réfractent sur la discontinuité et leur vitesse varie.

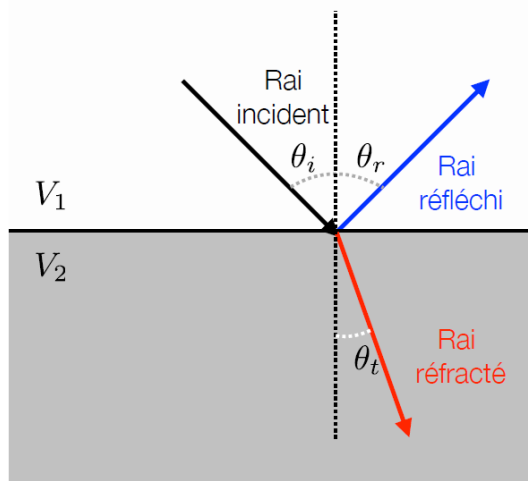
Il est possible de prédire le parcours des rais sismiques grâce à la loi de Snell-Descartes:

1. Loi de la réflexion:

$$\theta_i = \theta_r$$

2. Loi de la réfraction:

$$\frac{\sin \theta_i}{V_1} = \frac{\sin \theta_t}{V_2}$$



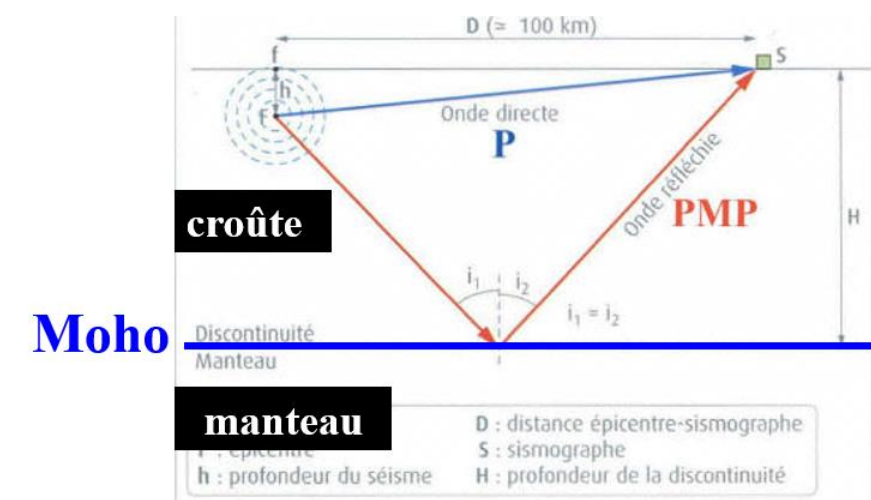
En étudiant la direction et la vitesse des ondes P et S, on peut ainsi avoir des renseignements sur la structure et la composition interne du globe.

Ces données sont complétées par des tests en laboratoire qui permettent de connaître des vitesses théoriques attendues dans tous les matériaux à toutes les pressions et températures possibles.

B. Ondes sismiques et mise en évidence de surfaces de discontinuité

1. La discontinuité de Mohorovicic

L'observation de 2 trains d'ondes P sur les sismogrammes a permis à Mohorovicic de mettre en évidence une discontinuité, le Moho, qui sépare la croûte du manteau supérieur.

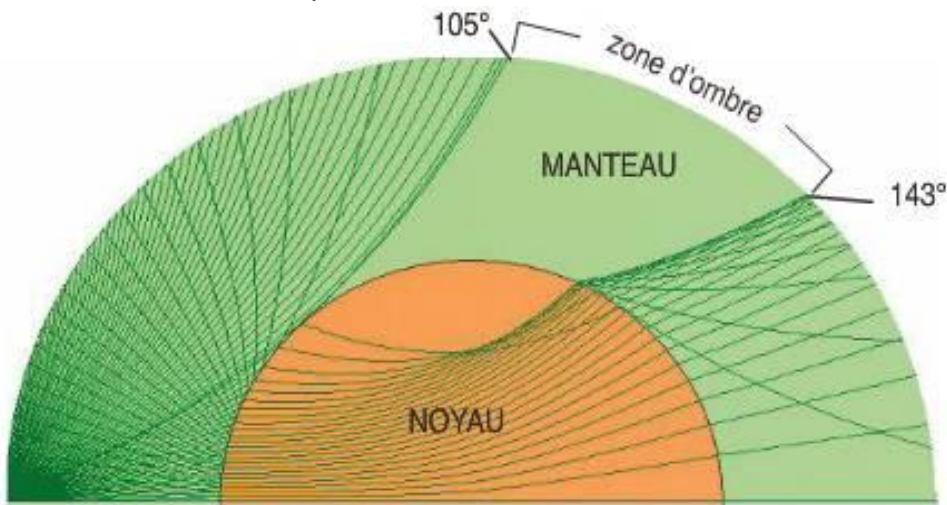


Le Moho est situé en moyenne à 12 km de profondeur sous les océans et à 30 km de profondeur en moyenne sous les continents

2. La discontinuité de Gutenberg.

Pour tous les séismes, il existe une zone d'ombre sismique (zone du globe où les sismomètres n'enregistrent pas d'ondes sismiques).

Cette zone d'ombre s'explique par l'existence, en profondeur, d'une surface de discontinuité qui dévie les ondes sismiques.

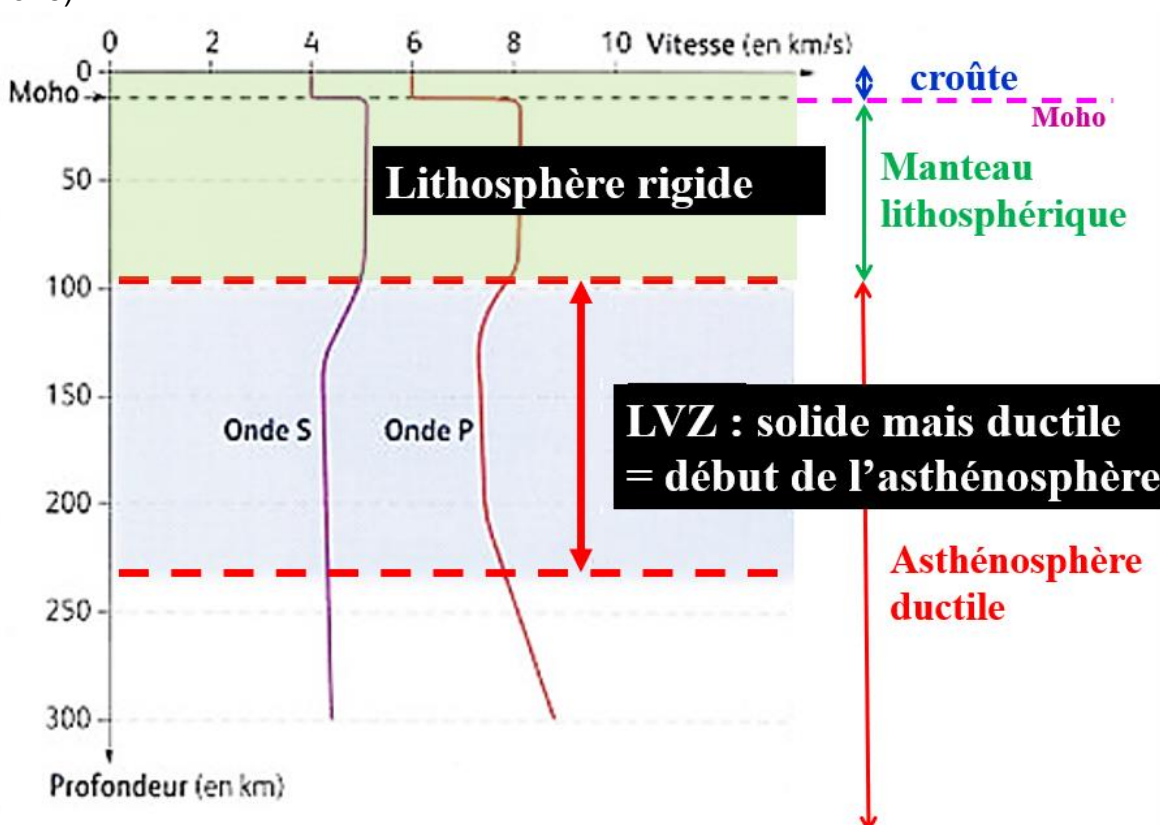


Gutenberg a situé cette discontinuité à 2900 km de profondeur. Elle sépare le manteau du noyau. Comme au-delà de 2900 km de profondeur, on n'enregistre plus d'ondes S, on en déduit que le noyau, dans sa partie externe est liquide

Rq : L'étude de la propagation des ondes sismiques a également permis de mettre en évidence une autre discontinuité située à 5100 km de profondeur, la discontinuité de Lehmann, qui sépare le noyau externe liquide du noyau interne solide

C. Ondes sismiques et distinction entre la lithosphère et l'asthénosphère

L'étude des vitesses des ondes sismiques montre que, sous la lithosphère, il existe une zone particulière de manteau dans laquelle les ondes sismiques ralentissent : c'est la LVZ (Low Velocity Zone).



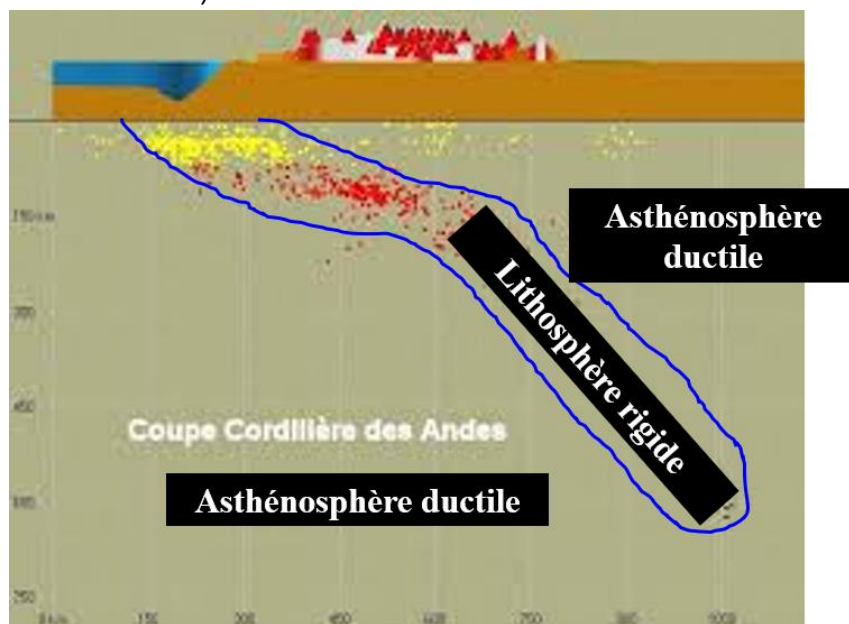
Cette zone est située à 100 km de profondeur et s'étend sur une épaisseur d'environ 200 km. La diminution de la vitesse est due au fait que, dans cette zone, les roches sont ductiles.

La LVZ permet de différencier :

- en surface une lithosphère rigide donc cassante (c'est dans la lithosphère que se produisent les séismes)
- en dessous, une asthénosphère plus ductile donc déformable.

La distinction entre la lithosphère et l'asthénosphère peut être mise en évidence par des études sismiques réalisées au niveau des fosses océaniques.

Au niveau des fosses océaniques, les foyers des séismes sont répartis le long d'un plan incliné partant de la fosse et descendant jusqu'à une profondeur de 700 km. Cette répartition résulte de l'enfoncement d'une plaque lithosphérique rigide (donc cassante) dans l'asthénosphère ductile (donc non cassante)



III. Des informations déduites des études thermiques

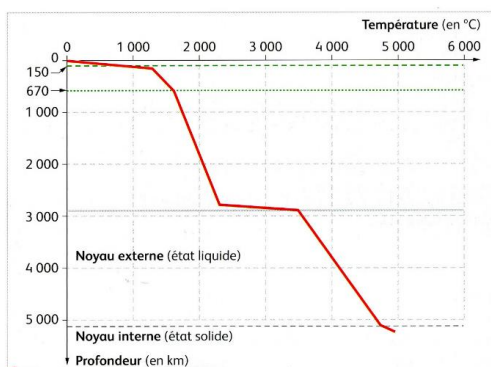
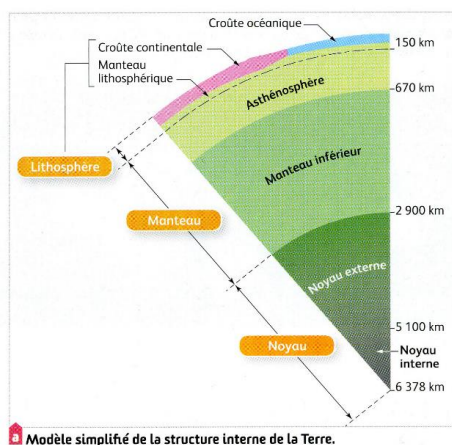
A. Evolution des températures à l'intérieur du globe

Les mesures de température à l'intérieur du globe lors de forages montrent que la température augmente avec la profondeur de 30°C par km en moyenne dans la croûte. C'est ce que l'on appelle le **gradient géothermique**.

Ce gradient géothermique révèle l'existence, à l'intérieur du globe, d'une chaleur interne qui est évacuée vers l'extérieur.

Rq : Cette chaleur provient essentiellement de la désintégration des éléments radioactifs contenus dans les roches

En combinant des données sismiques, des données de laboratoires et des calculs on peut obtenir un profil de température en fonction de la profondeur appelé **géotherme**.



Profil de température en fonction de la profondeur, ou géotherme.

Dans le noyau, la cristallisation lente du noyau liquide au profit du noyau solide libère de l'énergie.

Ce géotherme montre des variations importantes du gradient géothermique en fonction des différentes enveloppes traversées. Ces variations sont dues à l'existence de 2 modes d'évacuation de la chaleur interne du globe :

- La conduction : la chaleur diffuse à travers les roches sans mouvement de matière. C'est un mode de transfert de chaleur peu efficace. Ce mode de transfert de chaleur est responsable du gradient géothermique moyen (30 °C par Km dans la croûte). La conduction s'effectue dans les milieux rigides comme la lithosphère.

- La convection : dans ce cas, l'évacuation de la chaleur s'accompagne d'un mouvement de matière lié à des différences de densité (la matière chaude, peu dense remonte alors que la matière froide, plus dense descend). C'est un mode de transfert de chaleur très efficace. Ce processus s'effectue dans les milieux ductiles comme le manteau.

La convection dans le manteau implique des zones de remontée et de descente de matière.

B. Anomalies thermiques et leur interprétation

La **tomographie sismique** mesure la différence entre la vitesse des ondes sismiques calculée à partir des sismogrammes et la vitesse théorique de ces ondes. Elle permet de mettre en évidence des zones, à l'intérieur du globe, où la vitesse réelle des ondes sismiques est inférieure à celle attendue. On interprète cette baisse de vitesse comme une propagation dans un milieu plus chaud que prévu à cet endroit. A l'inverse si la vitesse mesurée est supérieure à la vitesse théorique, on considère que les ondes ont traversé un milieu plus froid que prévu.

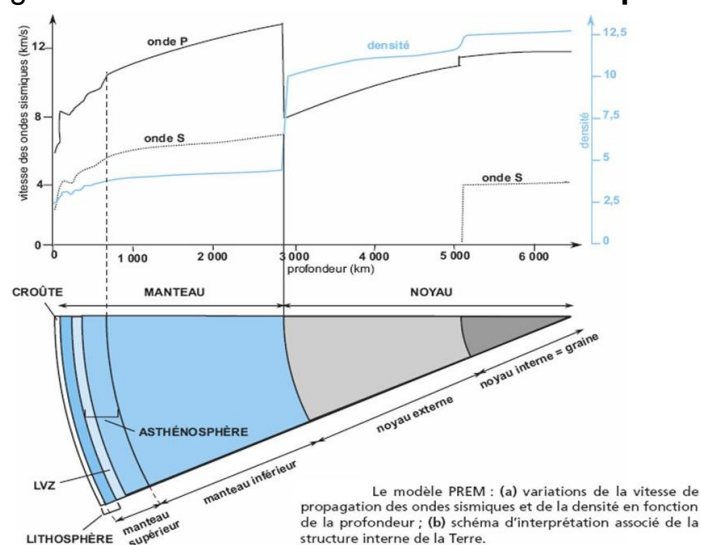
Ainsi, grâce à la tomographie sismique, on peut mettre en évidence :

- des zones de remontée de roches chaudes au niveau des dorsales océaniques et au niveau des points chauds. Ces zones correspondent aux branches ascendantes des mouvements de convection.

- des zones de descente de roches froides au niveau des zones de subduction : La lithosphère océanique froide s'enfonce dans le manteau. Ces zones correspondent aux branches descendantes des mouvements de convection.

Conclusion

Bien que la majeure partie de l'intérieur du globe soit inaccessible à l'observation, l'étude des ondes sismiques a permis de proposer un **modèle sismique** de la Terre, le **modèle PREM** : l'intérieur du globe est structuré en **couches concentriques** limitées par des surfaces de **discontinuité**.



Le modèle PREM : (a) variations de la vitesse de propagation des ondes sismiques et de la densité en fonction de la profondeur ; (b) schéma d'interprétation associé de la structure interne de la Terre.

Les données thermiques ont permis de compléter ce modèle en mettant en évidence des **mouvements de convection** à l'intérieur du manteau **ductile**. Des roches chaudes remontent au niveau des dorsales et au niveau des points chauds et des roches froides s'enfoncent au niveau des zones de subduction. Ces mouvements de convection permettent l'évacuation de la chaleur interne et sont responsables du déplacement des plaques lithosphériques.