

Thème 1B - La dynamique interne de la Terre

Classe : Première SPE SVT
Durée conseillée : 8 semaines
Nombre de TP : 8

En rouge : Bilans à faire noter aux élèves
En bleu : Activités pratiques
En vert : Problématique et hypothèses



Chapitre 1 Structure de la planète Terre

Introduction :

La Terre est la 3^{ème} planète tellurique (rocheuse) du système solaire (après Mercure puis Vénus et avant Mars). C'est la plus grosse planète tellurique avec un diamètre de 12800 km (contre 12100 pour Vénus, 6800 pour Mars, 4800 pour Mercure). La Terre se caractérise par une activité externe (mouvement de l'atmosphère et de l'hydrosphère) mais aussi une activité interne (tectonique des plaques) très intenses.

Problématique : Comment caractériser les enveloppes terrestres et identifier leur fonctionnement ?

Plan :

- 1- Structure générale du globe
- 2- L'identification de la lithosphère et de l'asthénosphère
- 3- Les propriétés thermiques de la Terre

I. Ondes sismiques et structure du globe terrestre

TP1 - La structure du globe

1- Les ondes sismiques

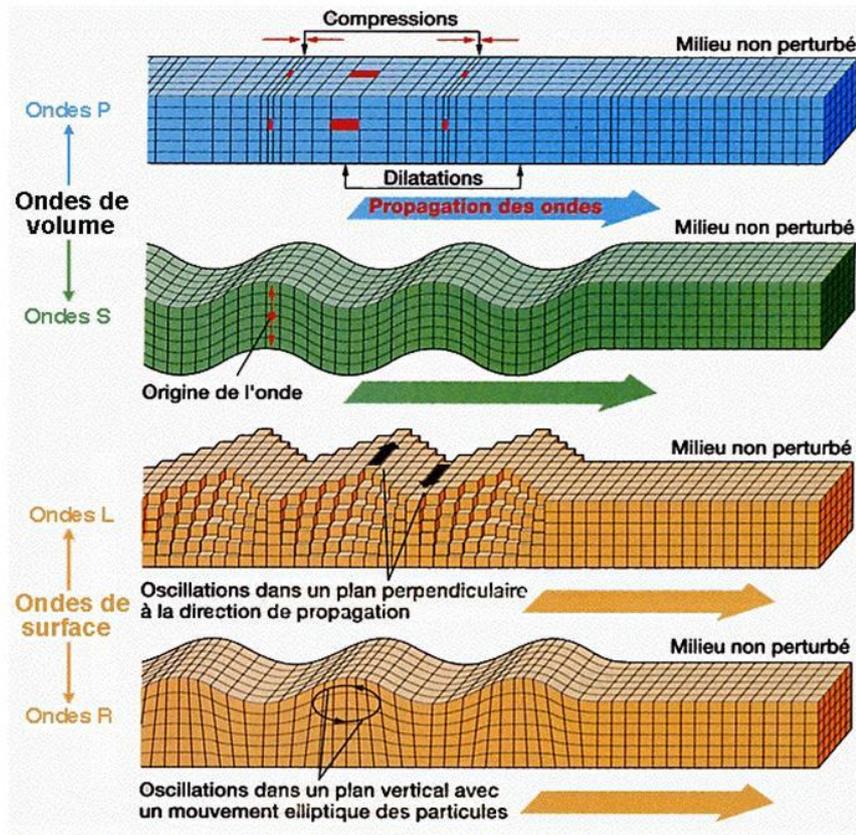
On distingue 3 types d'ondes :

- Les ondes P ou ondes primaires appelées aussi ondes de compression ou ondes longitudinales. Le déplacement du sol qui accompagne leur passage se fait par dilatation et compression successives, parallèlement à la direction de propagation de l'onde. Ce sont les plus rapides (6 km.s^{-1} près de la surface) et sont enregistrées en premier sur un sismogramme. Elles sont responsables du grondement sourd que l'on peut entendre au début d'un tremblement de terre.

- Les ondes S ou ondes secondaires appelées aussi ondes de cisaillement ou ondes transversales. A leur passage, les mouvements du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde. Ces ondes ne se propagent pas dans les milieux liquides. Leur vitesse est plus lente que celle des ondes P (4 km/s) et elles apparaissent en second sur les sismogrammes.

NB : La différence des temps d'arrivée des ondes P et S suffit, connaissant leur vitesse, à donner une indication sur l'éloignement du séisme.

- Les ondes de surface (Ondes L et R) : ce sont des ondes guidées par la surface de la Terre. Leur effet est comparable aux rides formées à la surface d'un lac. Elles sont moins rapides que les ondes de volume mais leur amplitude est généralement plus forte. Elles sont responsables des dégâts causés aux édifices.



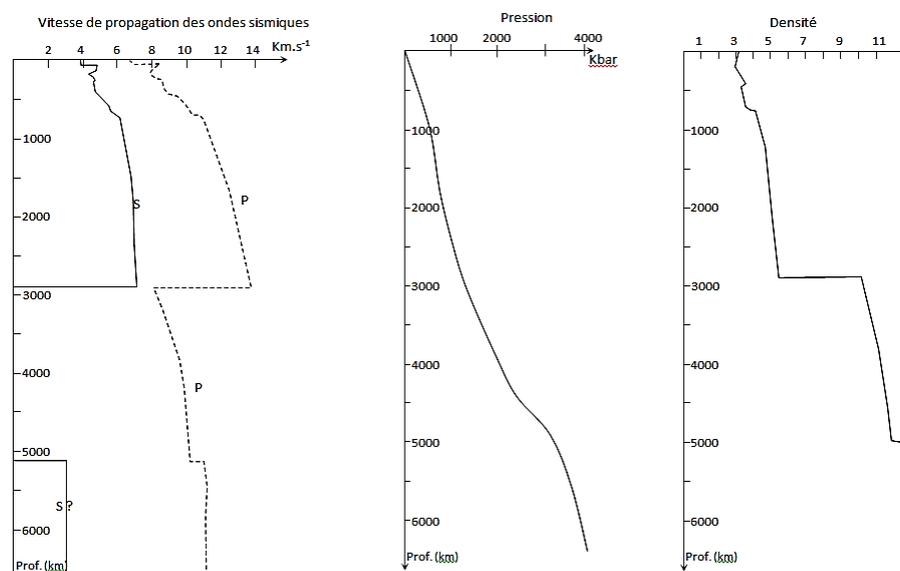
Document 1 : Schéma des différents types d'ondes

2- L'identification des discontinuités par les ondes sismiques

Les méthodes sismiques (sismique réflexion et sismique réfraction) consistent à produire des ondes sismiques qui vont alors se propager dans le sous-sol. Les ondes sont soit naturelles (séismes) soit produites par des explosions ou des chocs violents (camions sismiques).

La vitesse des ondes sismiques va dépendre des matériaux traversés (solide, liquide) mais aussi de la densité (V augmente avec la densité). De plus, les ondes peuvent être réfléchies ou réfractées au niveau des limites entre les enveloppes. Parfois, la limite est franche (nette/brutale) : on parle de discontinuité.

Ces études permettent d'identifier les limites et discontinuités pouvant exister entre les enveloppes terrestres mais aussi de déterminer les caractéristiques des enveloppes traversées.



Document 2 : Graphique des vitesses des ondes sismiques et des caractéristiques des enveloppes

L'étude de la propagation des ondes sismiques a permis de mettre en évidence les grandes discontinuités du globe terrestres :

- Le MOHO correspond à la discontinuité qui sépare la croûte du manteau (découvert en 1909) à environ 30 km de profondeur.
- La discontinuité de Gutenberg sépare le manteau et le noyau à 2900 km de profondeur environ. La disparition des ondes S permet de dire que le compartiment situé en dessous est liquide.
- La discontinuité de Lehman sépare le noyau externe (liquide) du noyau interne solide (la graine) présente à une profondeur de 5100 km.

Ces études montrent que la Terre est solide jusqu'à 2900 km de profondeur.

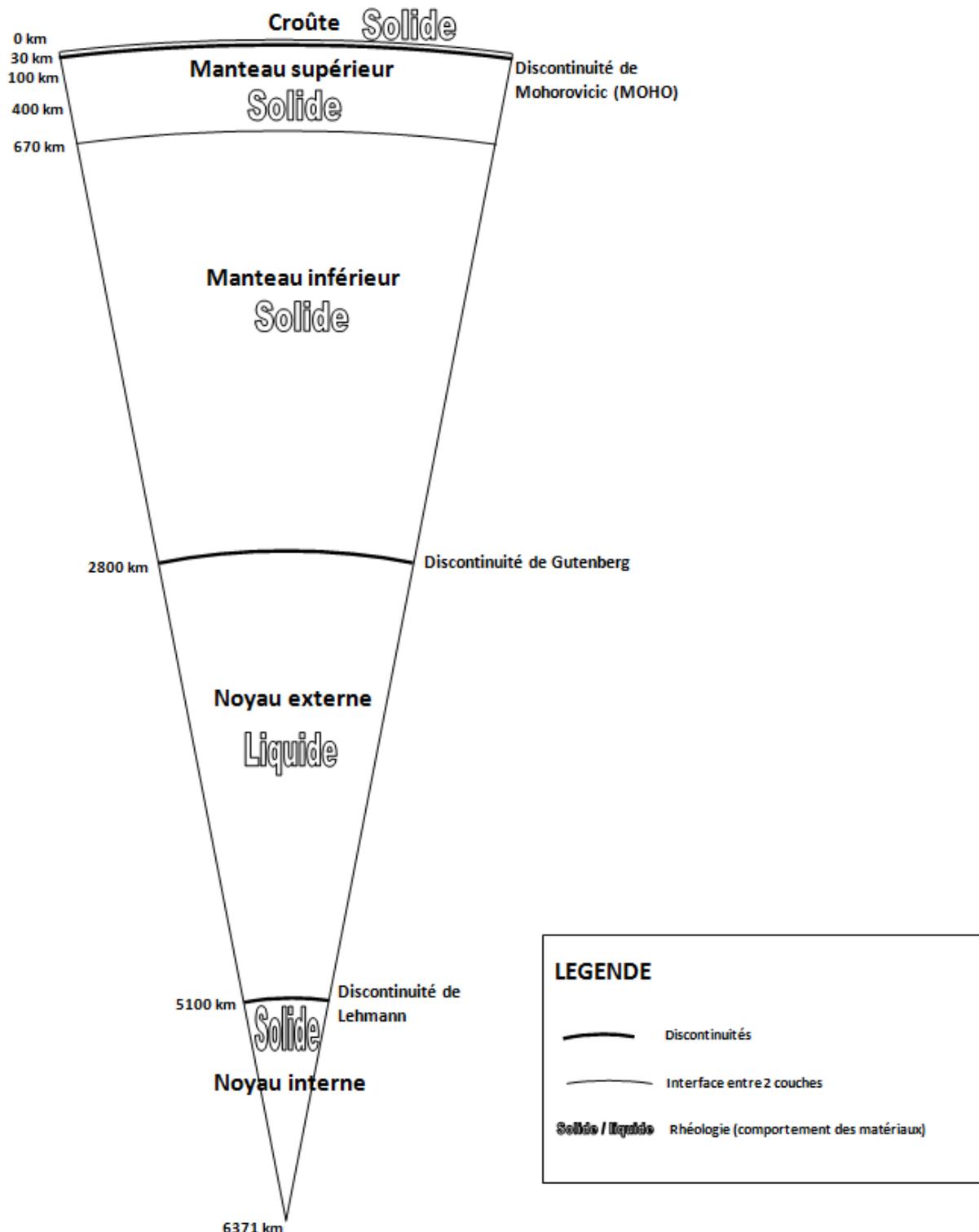
3- Les différentes enveloppes et leur constituants

L'identification des 3 discontinuités terrestres permet de décrire les 4 enveloppes principales de la Terre :

- La croûte (de 0 à 30 km) qui est solide cassante et composée de roches comme les granites (dans la croûte continentale) ou les gabbros (croûte océanique).
- Le manteau supérieur (30 à 670 km) et le manteau inférieur (670 km à 2900 km) qui sont solides et composé de péridotite. Les manteaux supérieur et inférieur sont délimités par une limite moins bien définie qui n'est pas considérée comme une discontinuité (c'est une zone de transition).
- Le noyau externe (2900 à 5100 km) qui est liquide et composé de fer et de nickel.
- Le noyau interne ou graine (5100 à 6400 km) qui est solide et également composé de fer et nickel.

Conclusion :

L'étude des ondes sismiques (changement de trajectoire, changement de vitesse...) a permis de constituer le modèle PREM (*Preliminary Reference Earth Model*) qui définit l'existence de 4 enveloppes concentriques principalement solides, séparées par 3 discontinuités.



Document 3 : Structure générale du globe montrant les discontinuités et principales enveloppes

Comment expliquer l'activité interne de la Terre malgré une structure solide jusqu'à 2900 km de profondeur ?

II. Les lithosphères continentales et océaniques

TP2 - Les domaines continentaux et océaniques

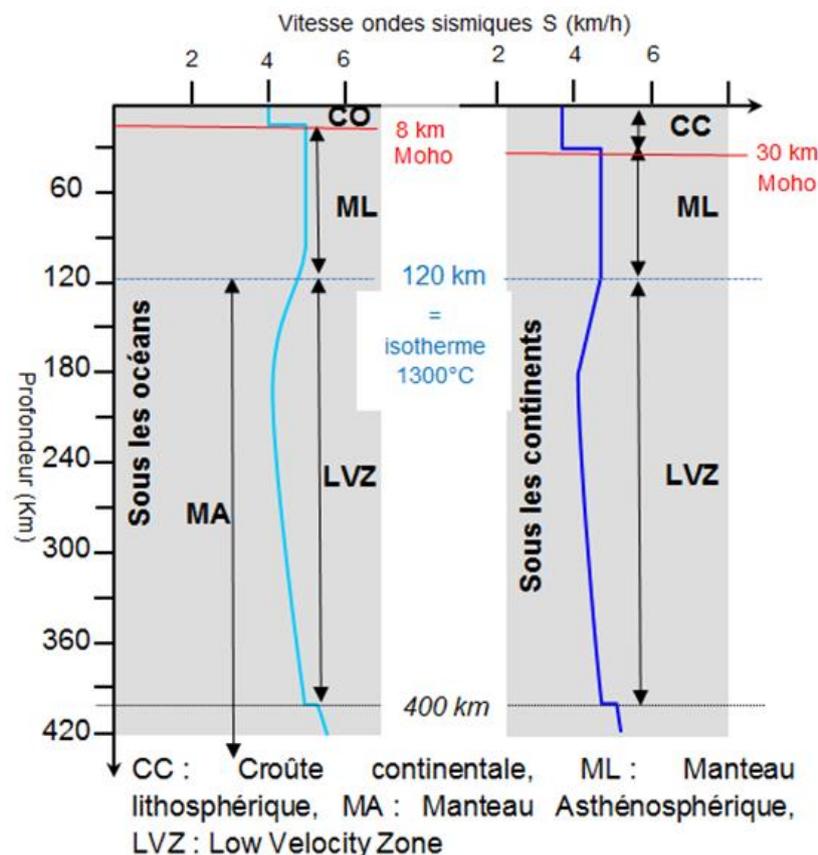
1- L'identification de la lithosphère et de l'asthénosphère

L'analyse fine des études de sismique réflexion ont montré qu'il existe une zone de moindre vitesse des ondes sismiques entre 100 et 400 km de profondeur. Celle-ci ne correspond à aucune limite ou discontinuité : on l'appelle LVZ (Low Velocity Zone). La diminution de vitesse dans cette zone permet de dire que la péridotite est plus « molle » : on parle de compartiment ductile.

Cette observation a permis d'identifier 2 enveloppes fonctionnelles (et non plus structurales) :

- La lithosphère (entre 0 et 100 km env.) est composée de la croûte et du manteau lithosphérique. La lithosphère est solide cassante qui forme une plaque. La lithosphère se termine par une limite thermique : l'isotherme 1300°C.
- L'asthénosphère (de 100 à 670 km) est composée d'une partie du manteau supérieur (sans le manteau lithosphérique). La partie supérieure de l'asthénosphère est la LVZ (100 à 400 km env) qui est « molle » et qui permet à la lithosphère de se déplacer sur l'asthénosphère.

Remarque : l'épaisseur de la lithosphère est généralement de 120 km mais elle peut être variable : elle est plus importante dans les chaînes de montagnes, plus faible au niveau des dorsales.



Document 4 : Vitesses des ondes sismiques dans la lithosphère et l'asthénosphère

2- Composition des lithosphères continentale et océanique

La lithosphère peut être différenciée en 2 domaines selon le type de croûte :

- le domaine continental contient la croûte continentale (30 km d'épaisseur) composée principalement de granite, une roche magmatique plutonique constitué de quartz, feldspath et mica noir (biotite).
- le domaine océanique contient la croûte océanique (8 km d'épaisseur) composée principalement du basalte, une roche magmatique volcanique (petits cristaux + pâte), mais aussi du gabbro, une roche magmatique plutonique (gros cristaux). Ces 2 roches contiennent du feldspath et du pyroxène : elles proviennent d'un même magma.

Remarque : les croûtes comprennent également d'autres roches diverses comme :

- les roches sédimentaires qui se forment suite à l'érosion et la formation de particules (sédiments) qui se déposent et forment des strates (couches). Ex ! calcaires, marnes, grès...
- les roches métamorphiques qui se transforment à l'état solide à cause de variations de pression et de température. Ex : métagabbros (voir chapitre 4).

Le manteau (lithosphérique et asthénosphérique) est composé du même type de roche : la péridotite (roche mantellique) composée de pyroxène et d'olivine.

Remarque : selon la profondeur (pression) et la température, la péridotite subit des changements de structure de l'olivine (ringwoodite, pérovskite ...). C'est le passage de l'isotherme 1300°C qui rend la péridotite ductile et permet la formation de la LVZ.

3- La distribution bimodale des altitudes

Au début du XXème siècle, Alfred Wegener a identifié que la Terre présentait 2 types d'ensembles caractérisés par leur dualité altitudinale :

- le domaine continental d'env +100m mais variant de -50m à + 8800m.
- le domaine océanique d'env. -4000m mais variant entre 0 et - 11000m (fosse).

Ces différences d'altitude s'expliquent par les différences de densités des roches :

- Le granite composant le domaine continental a une densité d'environ 2,7
- Les basaltes et gabbros (domaine océanique) ont une densité de 2,9 à 3.
- La péridotite a une densité de l'ordre de 3,2 à 3,3.

Ainsi, le domaine océanique est plus dense et s'enfonce plus dans le manteau asthénosphérique (et la LVZ) que le domaine continental, ce qui explique les différences d'altitude.

CONCLUSION :

Ainsi, la surface terrestre est composée d'enveloppes fonctionnelles : la lithosphère forme des plaques solides cassantes qui « flottent » sur le sommet de l'asthénosphère ductile (LVZ). Ceci permet la mobilité horizontale des plaques : c'est la tectonique des plaques.

- [Exo - Exercice sur le calcul de la profondeur du Moho](#)
- [Exo - Triangulation et localisation d'un séisme](#)
- [DM1 : Structure de la Lune](#)

III. Les propriétés géothermiques de la Terre

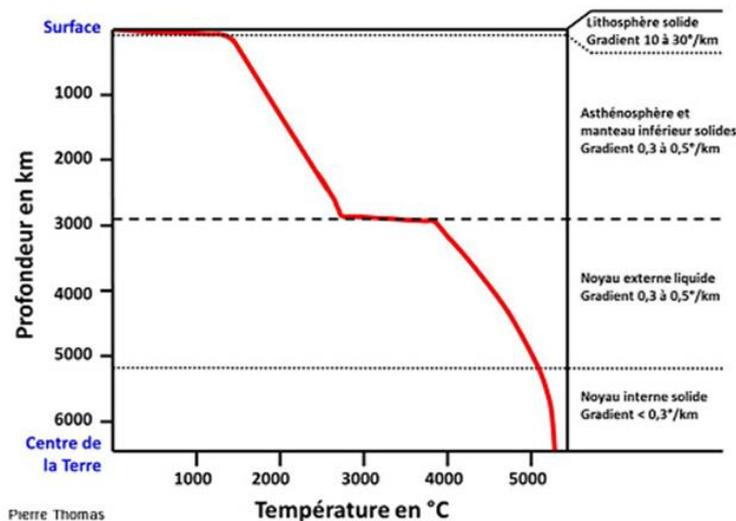
TP3 - Propriétés géothermiques de la Terre

1- Géotherme, gradient et flux géothermiques

Le gradient géothermique correspond aux variations de température en fonction de la profondeur au sein du globe ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$). Exemple : Le gradient géothermique de la croûte continentale est de $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (cohérent avec l'observation dans les mines). Me gradient n'est pas aussi fort dans toutes les couches terrestres (voir graphique).

Le flux géothermique correspond à l'énergie dissipée par la surface terrestre. Il dépend du gradient géothermique mais également de la conductivité thermique des roches. Le flux géothermique moyen est de l'ordre de $87\text{mW}/\text{m}^2$. Il est variable selon le contexte (ex : volcan et flux très important).

Le géotherme correspond au gradient et au flux géothermique d'un contexte géologique particulier : ex géotherme continental, géotherme de subduction.



Document 5 : Graphique de l'évolution de la température en fonction de la profondeur

2- Les échanges de chaleur par convection et conduction

La production de chaleur au sein du globe se fait principalement par la radioactivité (90%) dont les réactions ont lieu dans toutes les enveloppes. Ainsi, le centre de la Terre est plus chaud car il évacue moins la chaleur.

Les transferts thermiques terrestres sont réalisés par 2 mécanismes principaux :

- La conduction est un transfert de chaleur de proche en proche sans déplacement de matière. L'efficacité de ce transfert dépend du gradient géothermique (différence de température) et de la conductivité thermique des roches. Ce transfert est globalement assez peu efficace. Si la conduction est importante, le compartiment est très peu homogène en température (croûte).
- La convection correspond à un transfert de chaleur par déplacement des matériaux dont la température varie peu. 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 (voir 1S) et ont mis en évidence des flux de matière circulaires formant des cellules de convection. Ce transfert d'énergie est très efficace. Si la convection est importante, le compartiment est plus homogène en température (manteau).

3- Des anomalies par rapport au modèle PREM

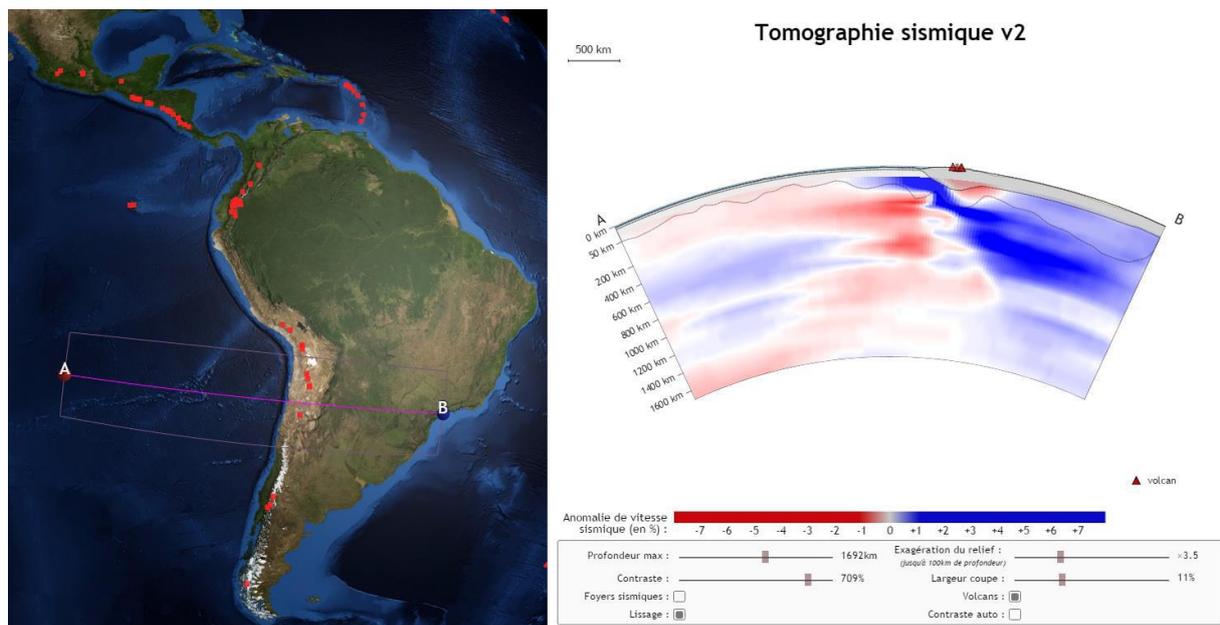
L'étude des ondes sismiques a permis de réaliser un modèle théorique de structure et de composition de la planète Terre : c'est le modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model).

Néanmoins, on peut repérer des anomalies de vitesse par rapport au modèle théorique. Ces anomalies prouvent que les enveloppes terrestres ne sont pas homogènes et sont en lien avec des anomalies thermiques qui font varier la vitesse des ondes. Lorsque les vitesses des ondes diminuent, le compartiment est moins dense ou plus chaud.

Les principales anomalies identifiées sont les suivantes :

- Des anomalies de haute température sont constatées au niveau des dorsales et des points chauds. Ces types d'anomalies montrent généralement une colonne chaude ascendante (convection).
- Des anomalies de faible température sont constatées au niveau des zones de subduction. Dans ce cas, la plaque océanique plongeante froide s'enfonce dans le manteau (convection).

Les anomalies thermiques sont donc en lien avec le contexte géologique et l'activité interne. On peut également constater que les cellules de convection du manteau sont associées aux mouvements des plaques tectoniques.



Document 6 : Capture d'écran du logiciel Tectoglob3D montrant les anomalies de vitesse des ondes P au niveau de l'Amérique du Sud (contexte de subduction).

CONCLUSION :

Les enveloppes terrestres évacuent la chaleur de différentes manières (convection et conduction). Les mouvements de convection du manteau sont associés à des contextes géodynamiques précis et semblent en lien avec la tectonique des plaques.

Source :
Schéma bilan BELIN

Modèle de la structure de la Terre

