

THÈME : LA DYNAMIQUE INTERNE DE LA TERRE

Chapitre : La structure de la Terre

La Terre est la 3^{ème} planète tellurique (rocheuse) du système solaire. 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 explorer et comprendre la structure du globe terrestre ?

I. Les apports de l'étude des roches de surface sur la connaissance du globe







A) Les différences d'altitudes entre le domaine océanique et le domaine continental

L'étude des différentes altitudes à la surface de notre planète révèle une grande diversité : l'Everest culmine à 8848 m et la fosse des Mariannes, la zone la plus profonde des océans, s'enfonce à 11 000 m. On distingue clairement des classes d'altitudes typiquement océaniques et des classes d'altitudes typiquement continentales. L'altitude moyenne des continents est de 300 m, tandis que la profondeur des océans est de 4500 m. La distribution bimodale des altitudes est une conséquence d'un contraste géologique très net entre les domaines continentaux.

B) Composition et densité des roches crustales

Le fond des océans est recouvert d'une couche de sédiments relativement fine (entre 0 et 2000 m d'épaisseur). En dessous, se trouve la croûte océanique, constituée en général de 2 roches, le basalte et le gabbro. Il s'agit de deux roches magmatiques, issues du refroidissement et de la solidification du magma. Cependant, ces deux roches présentent des textures différentes : alors que le gabbro est entièrement constitué de cristaux de grande taille au contact les uns avec les autres (texture grenue), le basalte présente peu ou pas de grands cristaux, mais une grande quantité de petits cristaux (les microlites) dispersés dans un matériau minéral non cristallisé (amorphe). La texture du basalte est qualifiée de microlitique.

La surface des continents présente une grande diversité de roches : des roches sédimentaires, des roches magmatiques et des roches métamorphiques. Cependant, les forages révèlent que la roche la plus représentative de la croûte continentale est le granite (texture grenue).

	Roches de la croûte océanique		Roche représentative de la croûte continentale
	Basalte 	Gabbro 	Granite 
Structure	Microlitique (la roche contient des minéraux invisibles à l'œil nu et du verre)	Grenue (roche entièrement cristallisée dont tous les minéraux sont visibles à l'œil nu)	
Composition minéralogique (lame mince)	 Verre Olivine Feldspath plagioclase Pyroxène	 Pyroxène Feldspath plagioclase	 Feldspath plagioclase Mica Orthose Quartz
Densité	> densité du granite		< densité du basalte et du gabbro

Document 1 : Tableau illustrant le contraste géologique entre l'océan et les continents.

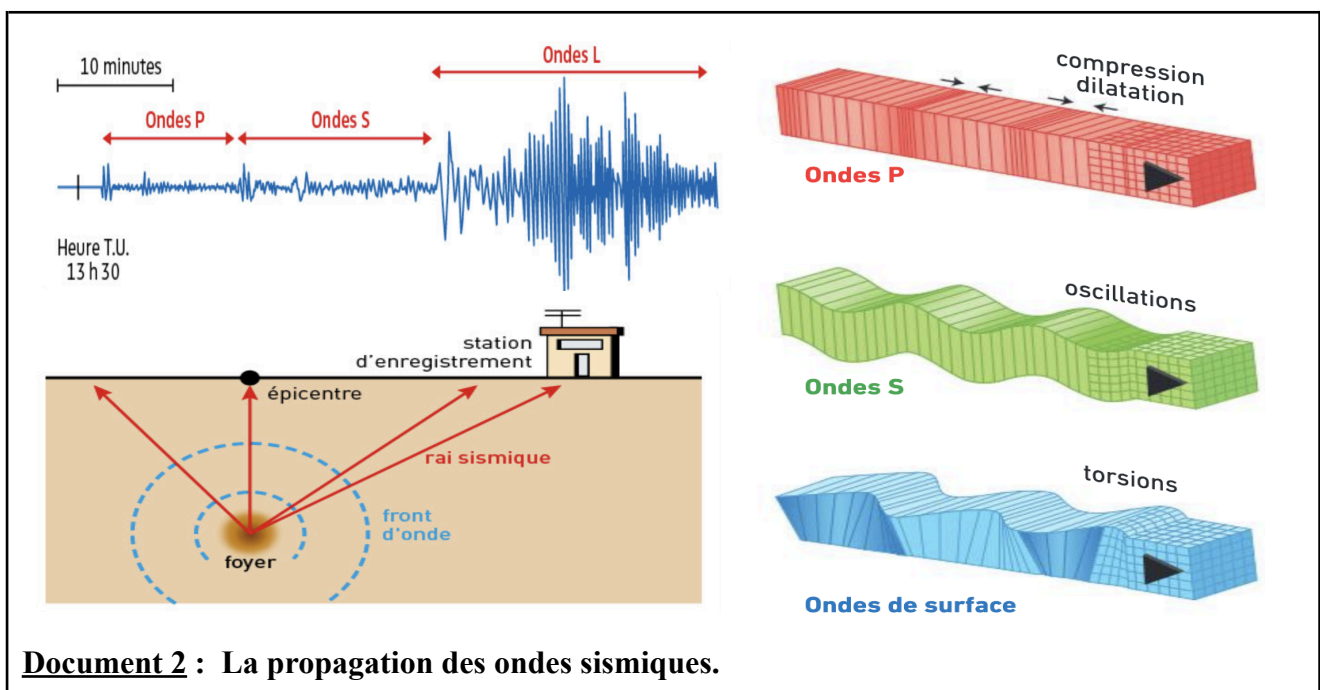
Bilan : La répartition bimodale des altitudes à la surface du globe met en évidence un contraste de relief entre les domaines océaniques et continentaux. La croûte océanique est constituée de basalte et de gabbro. Sa densité est de 2,9. La croûte continentale est constituée en surface d'une diversité de roches dont des roches magmatiques, métamorphiques et sédimentaires. La densité moyenne de la croûte continentale est évaluée à 2,7.

II. Les apports des études sismologiques sur la connaissance du globe terrestre

A) Séismes et propriétés des ondes sismiques

Un séisme résulte de la libération brutale d'énergie lors de la rupture des roches soumises à des fortes contraintes. L'énergie libérée au foyer du séisme se dissipe sous forme d'ondes sismiques, se propageant à l'intérieur des roches et à leur surface. Ces ondes, émises dans toutes les directions, peuvent être enregistrées à une très grande distance du foyer du séisme par un sismomètre. Il est possible de caractériser plusieurs types d'ondes sismiques :

- Les ondes de volume se propagent à l'intérieur du globe terrestre. Parmi elles, on distingue les ondes P (premières), les plus rapides, qui se propagent à travers les solides et les fluides et les ondes S (secondes) qui se propagent que dans les milieux solides.
- Les ondes de surface ne se propagent que dans les couches superficielles de la Terre, ce sont les moins rapides mais les plus dévastatrices.

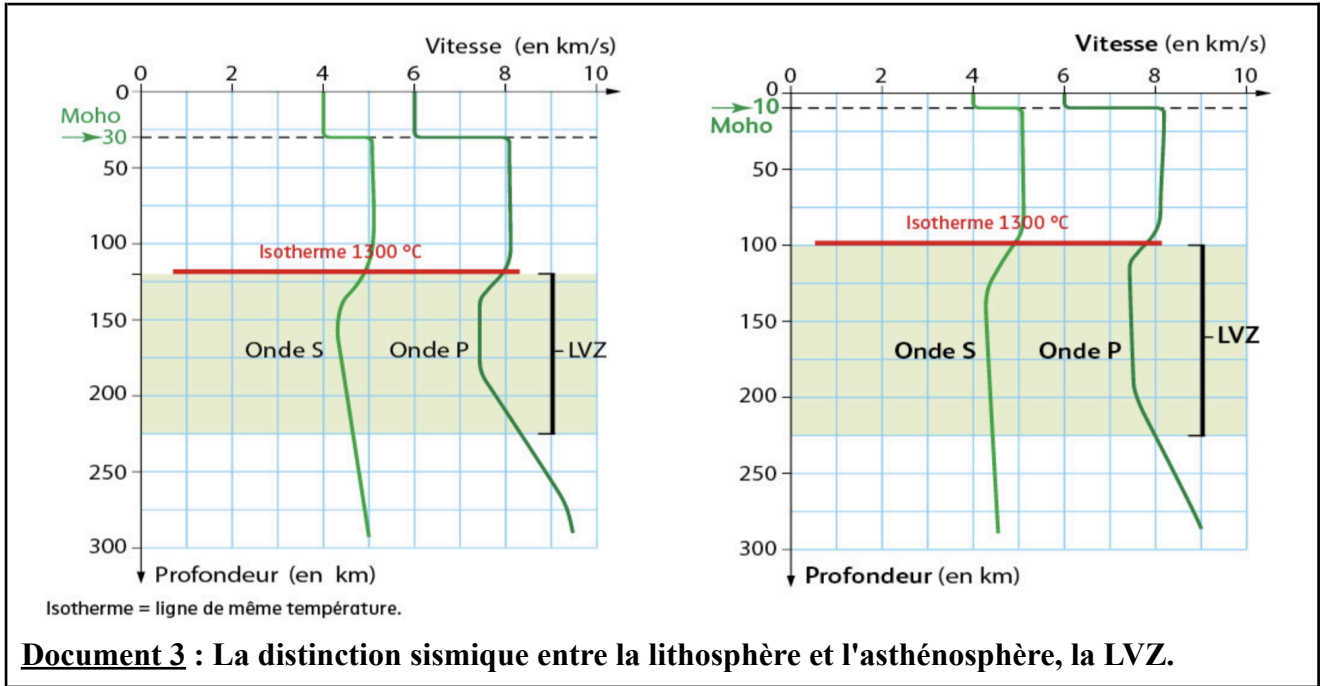


B) Ondes sismiques et structure superficielle du globe terrestre

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 (loi de Snells-Descartes). Parfois, la limite entre deux milieux est brutale : on parle de discontinuité sismique.

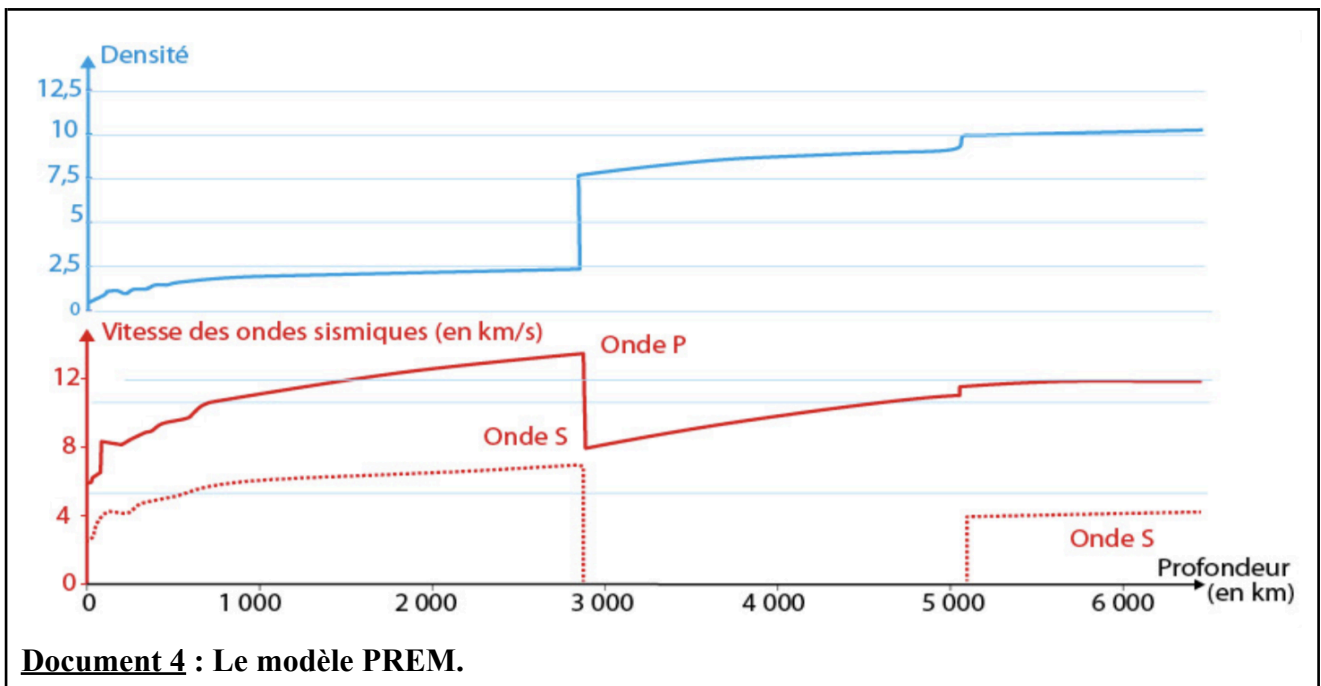
Ces observations ont permis à Mohorovicic de mettre en évidence la discontinuité séparant la croûte du manteau, appelée Moho. En effet, celui-ci est constitué d'une roche de plus forte densité (3,3), la péridotite. La croûte continentale est plus épaisse (30 km) que la croûte océanique (7 km).

Entre 120 et 220 km de profondeur, les ondes sismiques sont légèrement ralenties sans qu'il y ait de véritable discontinuité sismique. Cette zone correspond à la LVZ, partie supérieure de l'asthénosphère, particulièrement ductile et déformable, surmontée par la lithosphère, rigide et cassante.



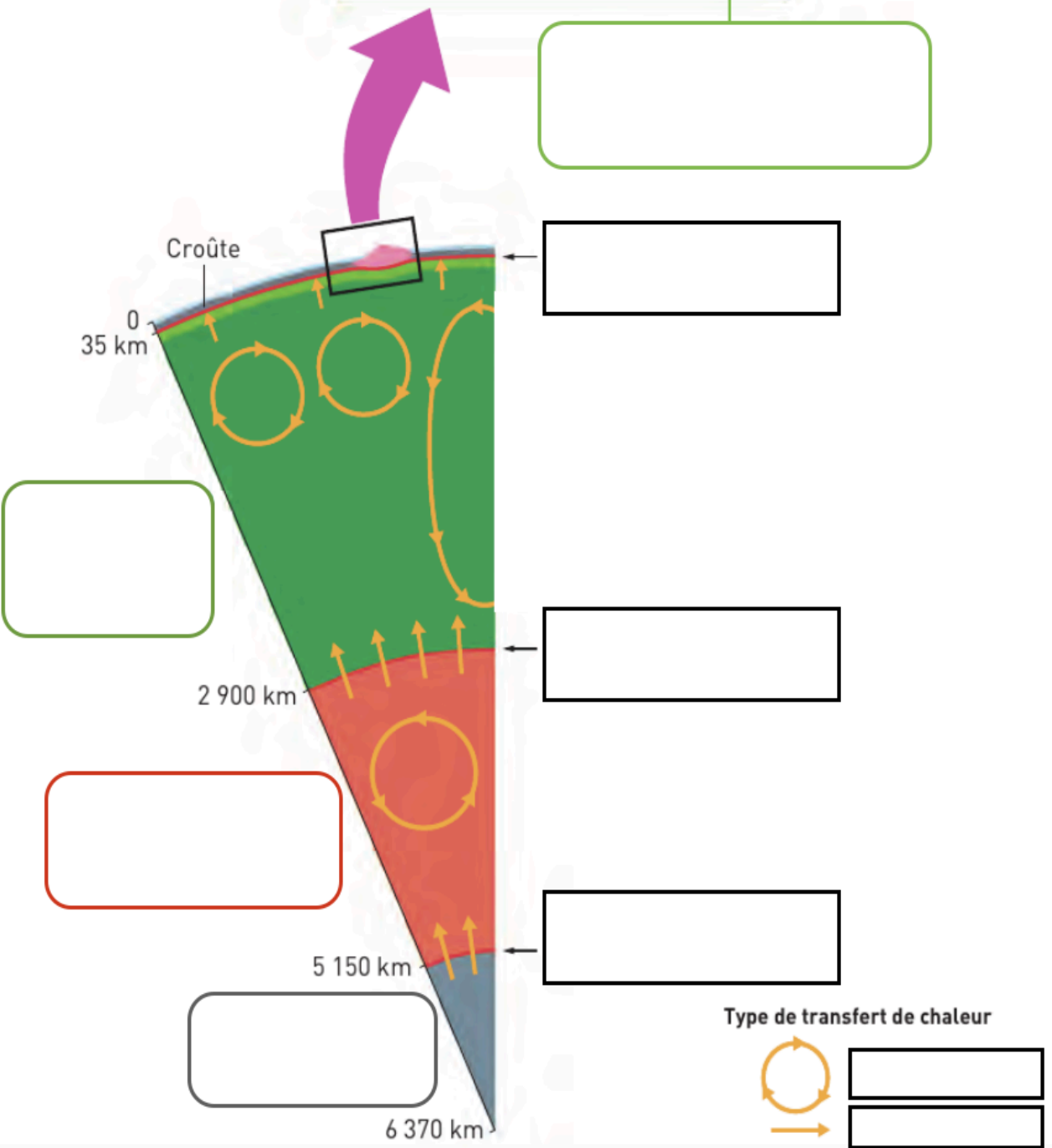
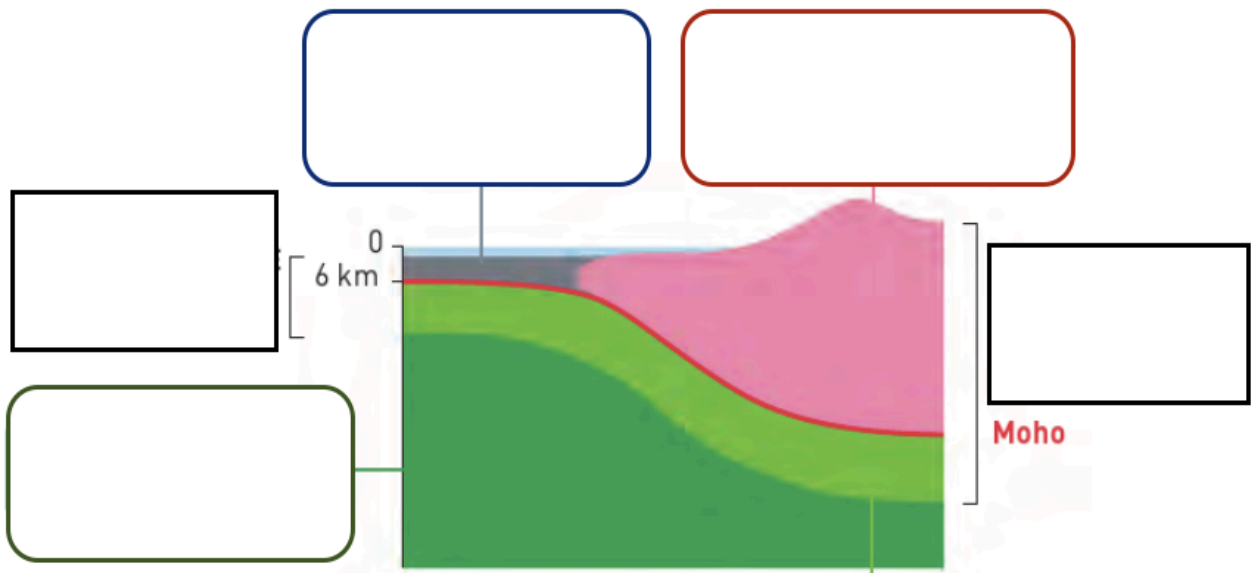
C) Ondes sismiques et structure profonde du globe

Quel que soit le lieu du séisme, il existe une zone d'ombre sismique entre 104° et 142° par rapport à l'épicentre. Elle s'explique si l'on admet l'existence d'une discontinuité séparant le manteau du noyau appelé discontinuité de Gutenberg, située à 2900 km de profondeur. En dessous, les ondes P ralentissent brutalement et les ondes S sont stoppées, mais réapparaissent à 5100 km. La discontinuité de Lehman, située à 5100 km de profondeur, sépare le noyau externe liquide et le noyau interne solide. Les études sismiques ont conduit les géologues à proposer un modèle sismique du globe appelé modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model).



D) Le modèle radial de la Terre

Le modèle PREM permet ainsi de construire un modèle concentrique de la structure interne de la Terre.



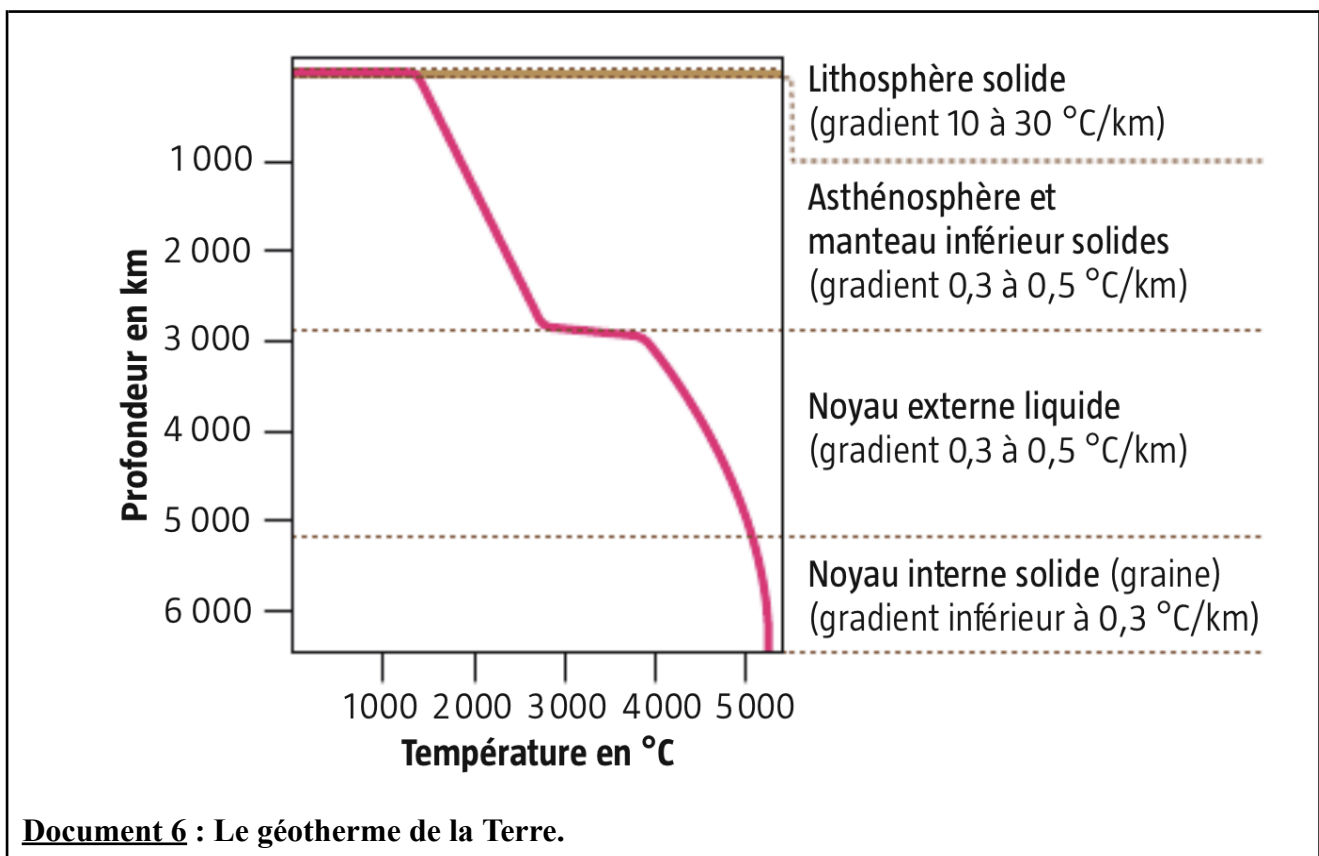
Document 5 : Le modèle radial de la Terre.

Bilan : L'étude de la propagation des ondes sismiques révèle d'importantes discontinuités sur lesquelles les ondes se réfléchissent ou se réfractent en changeant de vitesse. Elle permet de construire un modèle du globe en plusieurs couches, le modèle PREM. La croûte océanique ou continentale, est limitée à sa base par la discontinuité de Mohorovicic, ou Moho. Le manteau, entièrement solide, est situé entre le Moho et la discontinuité de Gutenberg à 2900 km de profondeur. Il est constitué de roches denses à l'état solide, les péridotites, dans lesquelles les ondes se propagent à une vitesse plus grande que dans la croûte. A plus de 2900 km, se trouve le noyau, liquide dans sa partie externe et solide dans sa partie interne.

III. Les apports des études thermiques sur la connaissance du globe terrestre

A) L'augmentation de la température à l'intérieur du globe terrestre

L'étude des températures au fond des forages montre une augmentation de la température des roches avec la profondeur. En moyenne, cette augmentation est de 30°C par km. On parle alors de gradient géothermique. Ce gradient est presque toujours positif, et révèle l'existence d'une énergie thermique à l'intérieur du globe terrestre.



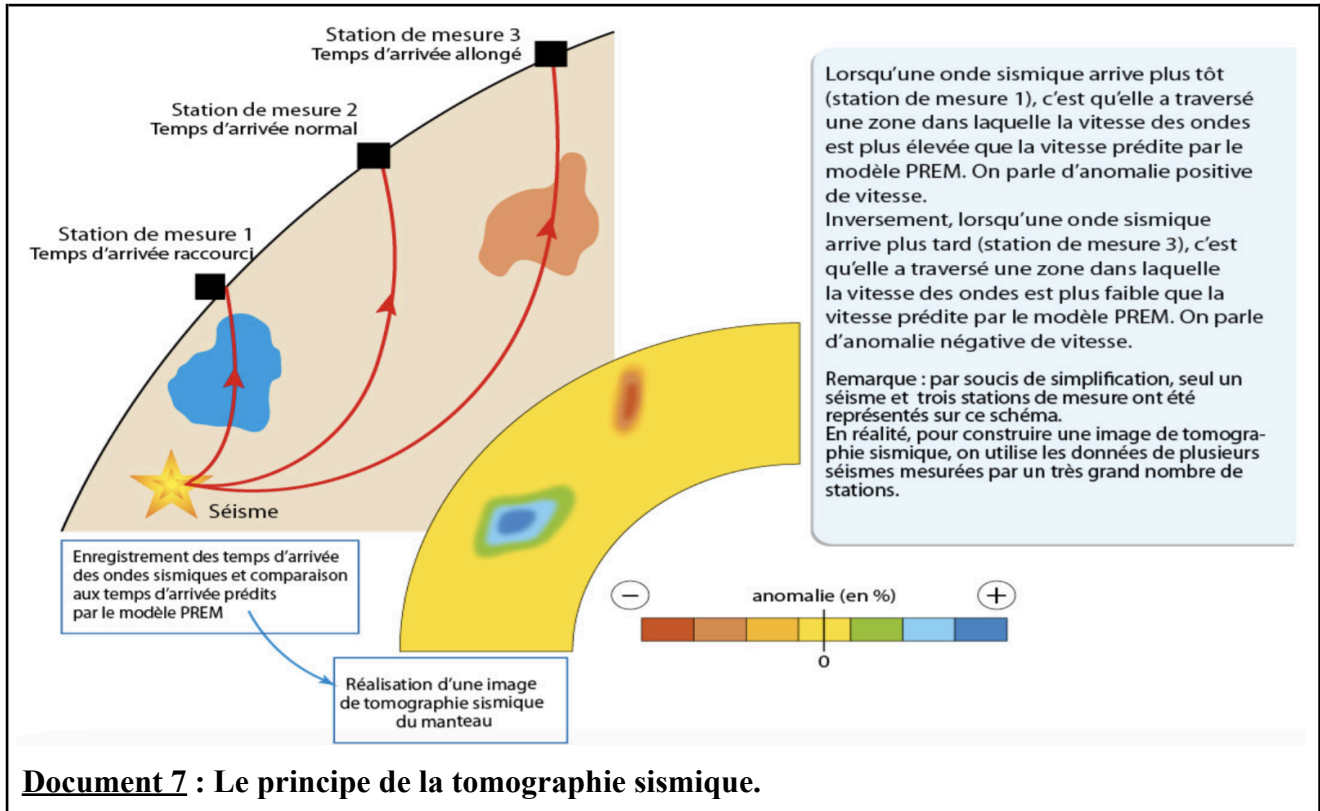
B) Le modèle thermique de la Terre

Le géotherme terrestre montre des variations importantes du gradient géothermique en fonction des couches traversées. Cela s'explique par deux modes de transfert d'énergie thermique :

- Dans la lithosphère rigide, l'énergie thermique ne peut s'évacuer que par conduction thermique, déplacement de chaleur de proche en proche sans déplacement de matière.
- Dans l'asthénosphère, le gradient géothermique est nettement plus faible. Cela s'explique par un transfert d'énergie thermique par convection, déplacement de chaleur avec déplacement de matière. Des boucles de circulation de matière, appelées "cellules de convection" se mettent en place à grande échelle au sein du manteau et du noyau externe, assurant un transfert d'énergie thermique efficace.

C) Les hétérogénéités du manteau terrestre

La propagation des ondes sismiques dans la Terre présente des anomalies de vitesse (positive ou négative) par rapport au modèle PREM. La tomographie sismique mesure et cartographie ces anomalies explicables par des hétérogénéités physiques, chimiques et thermiques au sein du manteau. Les ondes sismiques sont accélérées au niveau de zones froides alors qu'au niveau des zones plus chaudes, moins rigides, les ondes sont ralenties.



Document 7 : Le principe de la tomographie sismique.

Dans les zones de subduction, une anomalie thermique négative correspond à l'enfoncement de la lithosphère, plus froide, dans l'asthénosphère. Au niveau des zones volcaniques de point-chaud, il est possible de détecter une anomalie thermique positive à l'intérieur du manteau. Il s'agit d'un panache de matériel chaud provenant du manteau profond et remontant localement par convection thermique.

Bilan: La température croît avec la profondeur. Le tracé représentant l'évolution de la température en fonction de la profondeur est appelé géotherme. Le profil du géotherme est propre à chaque enveloppe terrestre. Cela s'explique par des mécanismes de transfert thermique différents : par conduction dans la lithosphère et par convection dans l'asthénosphère. Ces mouvements convectifs chauds ascendants, froids et descendants, sont mis en évidence grâce à la tomographie sismique : on observe des anomalies de vitesse des ondes par rapport au modèle PREM ce qui permet de révéler des hétérogénéités thermiques au sein du manteau dans certaines régions du globe (fosses océaniques, volcans de point chaud).

Schéma bilan :

Modèle de la structure de la Terre

