

TD3 : De la chaleur interne aux images du manteau : ce que révèle l'intérieur de la Terre

Depuis l'Antiquité, l'Homme cherche à comprendre ce qui se cache sous ses pieds. Pendant longtemps, l'intérieur de la Terre est resté inaccessible, alimentant mythes et spéculations : monde souterrain en fusion, enfer brûlant ou globe entièrement incandescent. Ce n'est qu'à partir du XIX^e siècle, avec le développement de la géologie et de la physique, que les premières mesures objectives apportent un éclairage nouveau. Les mineurs et les forages profonds montrent alors que la température augmente avec la profondeur : la Terre est chaude, et cette chaleur est interne.

Au début du XX^e siècle, les géologues établissent le **gradient géothermique**, c'est-à-dire le taux d'augmentation de la température avec la profondeur, évalué en moyenne à environ **30 °C par kilomètre** dans la lithosphère. Si cette augmentation était constante jusqu'au centre de la Terre, la température interne dépasserait largement 100 000 °C. Or, les estimations issues de la géophysique indiquent une température centrale comprise entre **5 000 et 6 000 °C**. Cette contradiction majeure révèle que la propagation de la chaleur à l'intérieur du globe n'est pas uniforme.

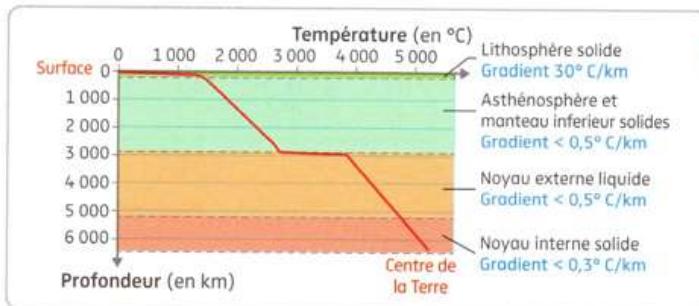
Parallèlement, l'étude des séismes révolutionne la connaissance de la Terre profonde. En analysant le temps de propagation des ondes sismiques, les scientifiques élaborent au XX^e siècle un modèle de référence, le **modèle PREM**, décrivant la structure interne et la vitesse théorique des ondes sismiques. Cependant, les mesures réelles montrent des écarts : certaines ondes arrivent plus tôt, d'autres plus tard que prévu. Ces **anomalies de vitesse** traduisent des variations de température, de densité et de comportement des matériaux en profondeur.

Ces deux constats : variation du gradient géothermique et anomalies sismiques, conduisent les géoscientifiques à proposer un modèle dynamique de l'intérieur de la Terre, fondé sur les **modes de transfert thermique** et la **convection du manteau**, moteur de la tectonique des plaques.

Comment les transferts de chaleur à l'intérieur de la Terre permettent-ils d'expliquer à la fois les variations du gradient géothermique et les anomalies de vitesse des ondes sismiques observées par rapport au modèle PREM ?

(documents issus du Nathan, Ed.2019, pp.166 à 169)

Document 1 : Evolution du gradient géothermique



a Évolution du géotherme (courbe rouge) et gradients géothermiques dans les différentes enveloppes de la Terre (indications à droite).

Géotherme : évolution de la température de la Terre en fonction de la profondeur.
Gradient géothermique : taux d'augmentation du géotherme (en degrés par kilomètre).

Document 2 : Le comportement rhéologique des matériaux :

- La rhéologie décrit le comportement des matériaux (leur déformation) lorsqu'ils sont soumis à une contrainte.
- Pour les matériaux solides, on distingue les comportements :
 - élastique** : lorsqu'un matériau se déforme de façon réversible (retour à la forme initiale à l'arrêt de la contrainte) ;
 - plastique (ou ductile)** : lorsqu'un matériau se déforme de façon irréversible sans casser ;
 - rigide (ou fragile)** : lorsqu'un matériau se déforme de façon irréversible en cassant.
- Pour les gaz et les liquides, le comportement est qualifié de **fluide** : le matériau s'écoule lorsqu'il est soumis à une contrainte.
- Le comportement fluide permet un déplacement très rapide de la matière, le comportement plastique, associé à une faible viscosité, permet également un déplacement de la matière mais celui-ci est très lent.



b Les comportements rhéologiques.

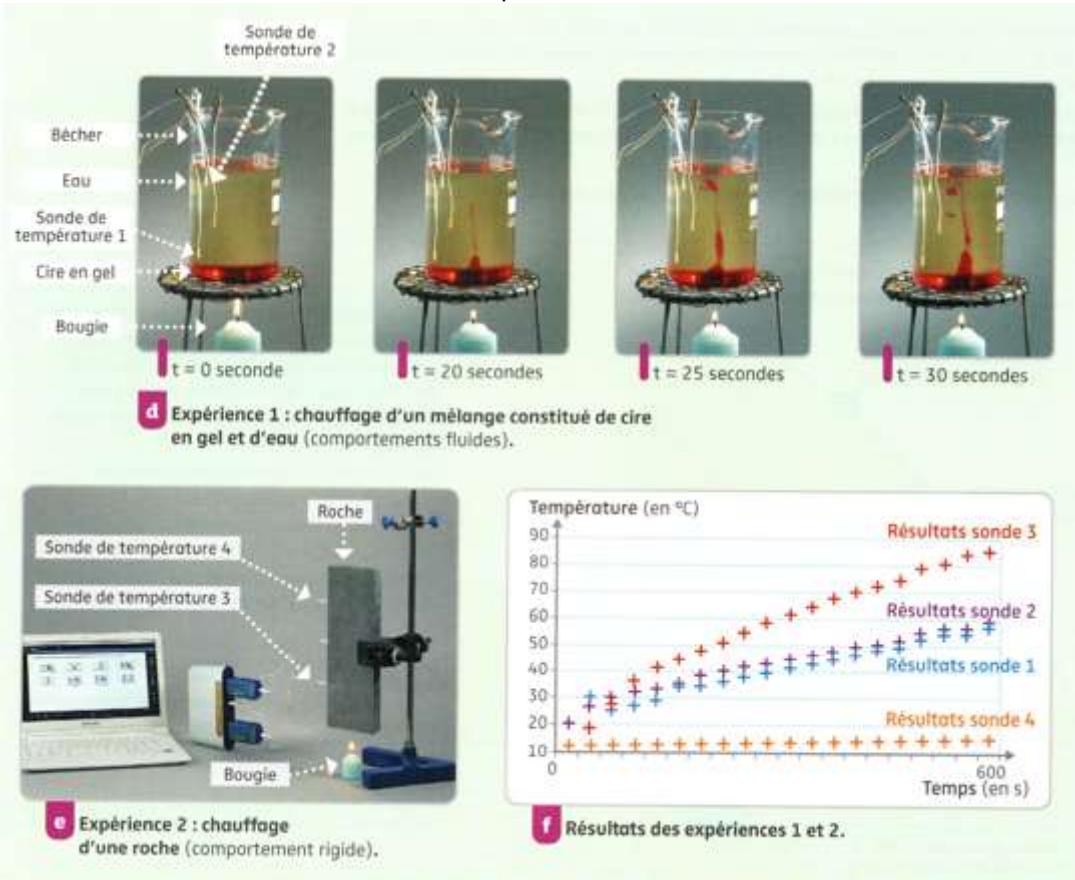


- La lithosphère se caractérise par un comportement rigide, l'asthénosphère et le manteau inférieur ont un comportement plastique.
- Le noyau externe étant liquide, son comportement est fluide.

c Les comportements rhéologiques des différentes enveloppes terrestres.

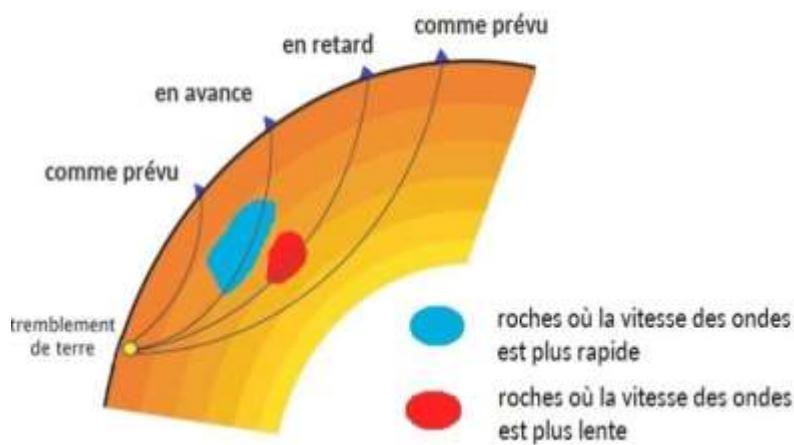
Document 3 : mode de transfert thermique :

La conduction est un mode de transfert de chaleur sans déplacement de matière
 La convection est un mode de transfert de chaleur avec déplacement de matière.



Document 4 : Principe de la tomographie sismique :

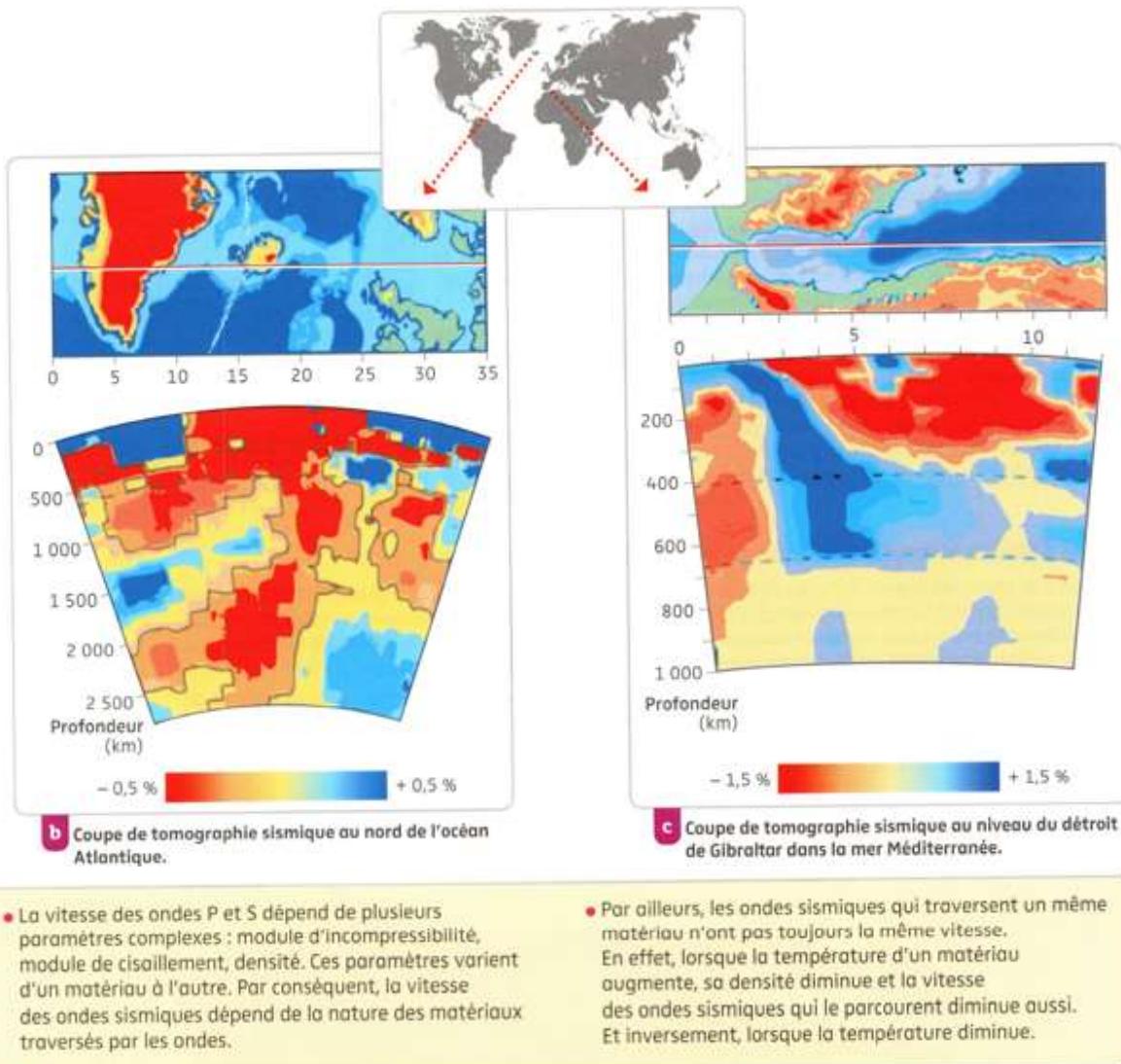
Arrivées des ondes sismiques aux stations d'enregistrement



Lorsqu'une onde sismique arrive plus tôt (station 2), c'est qu'elle a traversé une zone dans laquelle la vitesse des ondes est plus élevée que la vitesse prédictive par le modèle PREM. On parle d'anomalie positive.

Inversement lorsqu'une onde sismique arrive plus tard (station 3), elle a traversé une zone dans laquelle la vitesse devient plus faible que celle prédictive par le modèle. On parle d'anomalie négative de la vitesse

Document 5 : Les anomalies de vitesse des ondes sismique



1. Comprendre l'origine des variations du gradient géothermique : (doc.1)

- Définir le gradient géothermique.
- Décrire l'évolution de la température de la surface vers le centre de la Terre.
- Montrer que le gradient géothermique n'est pas constant selon la profondeur et préciser dans quelles enveloppes il est élevé ou faible.

2. Relier gradient géothermique et propriétés des matériaux : (doc.2) :

- Définir la notion de comportement rhéologique.
- Associer à chaque enveloppe terrestre (lithosphère, asthénosphère, manteau inférieur, noyau externe) son comportement rhéologique.
- Expliquer en quoi ces comportements influencent la manière dont la chaleur se transfère en profondeur.

3. Identifier les modes de transfert thermique internes (doc.3) :

- Comparer les résultats des expériences réalisées dans un matériau rigide et dans un matériau fluide.
- Identifier le mode de transfert thermique dominant dans chaque cas.
- Relier ces modes de transfert aux différences de gradient géothermique observées dans la lithosphère et le manteau.

4. Expliquer les anomalies de vitesse des ondes sismiques (doc.4 et 5) :

- Définir une anomalie de vitesse des ondes sismiques par rapport au modèle PREM.
- Expliquer l'origine des anomalies positives et négatives de vitesse observées dans le manteau.
- Montrer que ces anomalies sont compatibles avec l'existence de mouvements de convection mantellique.

Bilan :

Rédiger une réponse structurée montrant comment les transferts thermiques internes permettent d'expliquer à la fois :

- les variations du gradient géothermique,
- et les anomalies de vitesse des ondes sismiques révélées par la tomographie.