

Concours section : AGRÉGATION EXTERNE SCIENCES DE LA VIE TERRE
Epreuve matière : Connaissances générales secteur C
N° Anonymat : N250NAT1020076

Nombre de pages : 20

13.02 / 20

Epreuve - Matière : 103-3762 Session : 2025

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuillet officiel, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Remplir soigneusement le cadre relatif au concours OU à l'examen qui vous concerne.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuillet officiel.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) sur le nombre total de pages que comporte la copie (y compris les pages vierges).
- Placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre de numérotation des pages.

Secteur C

Le géotherme

terrestre

A. 120

Introduction

L'étude de l'intérieur de la planète a été un sujet mystérieux pendant de nombreuses années, inspirant des histoires telles que "Voyage à l'intérieur de la Terre" de Jules Verne. Les progrès techniques, notamment en géophysique et géochimie, ont permis de nombreuses découvertes ce siècle dernier, malgré l'inaccessibilité des profondeurs (Forage maximum en Russie d'environ 14 km).

Dans l'imaginaire collectif, dérivé des différentes croyances humaines, les profondeurs terrestres sont synonymes de chaleur intense (enfer). Mais alors, qu'en est-il de l'étude de la température des différents constituants terrestres en fonction de leurs profondeurs? Les scientifiques se sont donc penchés sur le tracé d'une courbe représentant la température des constituants terrestres en fonction de leurs profondeurs, c'est le géotherme.

La planète Terre est une planète tellurique, constituée d'enveloppes concentriques : les croûtes, continentales et océaniques, le manteau supérieur, le manteau inférieur, le noyau externe, liquide et le noyau interne, solide.

La mise en évidence de ces enveloppes n'est pas le sujet ici, nous nous demanderons plutôt ce qui détermine le géotherme de notre planète, comment les scientifiques ont réussi à le construire et enfin en quoi il a permis

de réaliser de nouvelles découvertes en l'utilisant comme outil dans l'étude de la Terre. Nous commencerons donc par réaliser un bilan radiatif de la planète, puis nous exposerons la méthodologie employée pour tracer le géotherme terrestre et enfin nous verrons quelques utilisations de ce géotherme dans l'étude des mécanismes de la Terre.

Commençons donc par réaliser un état des lieux de l'énergie générée par notre planète.

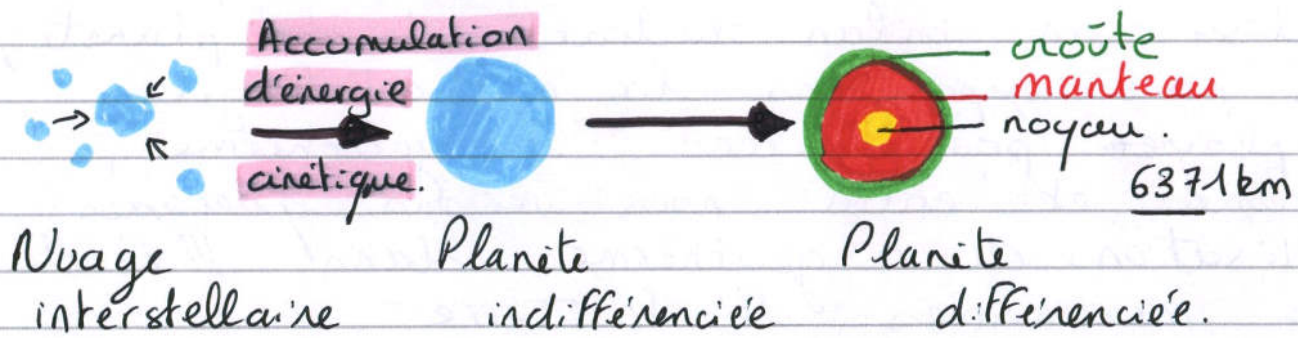
I La Terre, une machine thermique.

A- Bilan radiatif de la planète.

Le constat est indéniable, la planète Terre produit de la chaleur. On peut le mettre en évidence au niveau des zones volcaniques, des sources géothermiques (Islande). En moyenne, la planète émet 44 TW (térawatts). L'origine de cette énergie provient de trois sources :

- Il y a $4,55 \text{ Ga}$ (Milliards d'années), la planète se forme par accretion d'un nuage interstellaire. Les particules entrent en collision et accumulent alors de l'énergie cinétique pour former notre planète (dans un premier temps avec des couches non différenciées puis du fait de la force centrifuge, les éléments les moins denses se trouveront en surface pour constituer la croûte et les

éléments les plus denses iront en profondeur et constitueront le noyau. Entre nous nous avons le manteau.



Schema illustrant la formation de la Terre

En plus de l'énergie cinétique, la planète va également accumuler de l'énergie provenant de la désintégration radioactive, (Un élément père se désintègre en élément fils au cours de temps) mécanisme exergonique.

Ici cela concerne les éléments ayant un temps de demie vie court puisqu'on est au début de la vie de la planète, par exemple le Thorium.

Ces deux sources d'énergie se dissipent sous forme de chaleur encore aujourd'hui à hauteur de 16 TW sur les 44 TW émis au total.

- Dans un second temps, une grande part de l'énergie radiative terrestre vient de la désintégration radioactive d'éléments au temps de demie vie beaucoup plus long, encore en cours de désintégration comme par exemple l'Uranium ou le potassium.

Cela représente 26 TW sur les 44 TW.

- Enfin, une partie de l'énergie dégagée par la planète vient de la cristallisation du noyau externe liquide, réaction

13.02 / 20

Epreuve - Matière : 103 - 3762 Session : 2025

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuillet officiel, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Remplir soigneusement le cadre relatif au concours OU à l'examen qui vous concerne.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuillet officiel.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) sur le nombre total de pages que comporte la copie (y compris les pages vierges).
- Placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre de numérotation des pages.

également ~~exergonique~~.

Bien entendu, les valeurs données ne sont que des moyennes, il existe des zones où la valeur est plus importante, par exemple les dorsales océaniques et à l'inverse, des zones moins actives comme les boucliers continentaux.

Maintenant que nous avons vu l'origine de l'énergie thermique émise par la Terre, voyons comment cette dernière peut elle être évacuée.

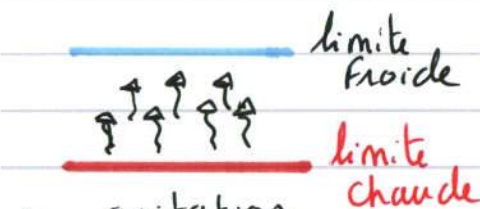
B- Evacuation de l'énergie thermique Terrestre.

Il existe trois mécanismes permettant d'évacuer cette énergie :

- La conduction
- La convection
- Le Rayonnement.

Il n'y a que les deux premiers mécanismes qui concernent la planète Terre.

13.02 / 20



↑↑ agitation
moléculaire
Fort qui se
transmet à
la couche froide



↑ Déplacement
de matière

Si la température
est grande, la densité
sera moindre le déplacement terrestre
de matière se fera vers
le haut. Inversement par
le froid.



↑ Photons

↳ Impossible
pour les
couches

car
opaques.

CONDUCTION

CONVECTION

RAYONNE- MENT.

Schema illustrant les transferts de
chaleur. existants.

Sur Terre, on peut déterminer s'il y a
convection grâce au nombre de Rayleigh
qui dépend de la conductance de
matériel, de la différence de température,
de l'épaisseur de la couche notamment.
Si ce nombre est supérieur à 2000, alors
il y a convection.

S'il est très supérieur à 2000 alors on pourra
parler de convection chaotique.

Lorsqu'on fait ce calcul pour les
enveloppes terrestre, on a de la convection

.6.1.20

pour le manteau et pour le noyau externe.
La croûte et la graine (noyau interne) vont dégager la chaleur via le mécanisme de conduction.

Notons également que la conductivité thermique n'est pas la même en fonction de la roche traversée.

Par exemple la conductivité est basse pour les roches du noyau et de la croûte* (Fe/Si et Granite/Granodiorite).

On peut calculer cette conductivité grâce à la loi de Ferrier.

Cette évacuation de chaleur est à l'origine des mouvements convectifs au sein du manteau et donc de la dynamique des plaques lithosphériques. On en voit les manifestations en surface de part l'activité volcanique mais aussi par les séismes provoqués par la rupture de roches ayant accumulées trop d'énergie (mouvements des plaques).

Maintenant que nous avons étudié l'origine de la chaleur et son mode de transmission au sein du globe, nous allons étudier la mise place du géotherme par les scientifiques.

Légendes

- croûte océanique
- croûte continentale
- Manteau lithosphérique supérieur
- Manteau asthénosphérique supérieur
- Manteau inférieur
- Noyau externe
- Noyau interne (= graine)
- Point chaud (origine profonde)

Radioactivité



Origine de l'énergie thermique de la planète

Cristallisation du noyau liquide



Accrétion primaire et radioactivité courte.

Convection



conduction



couches limites

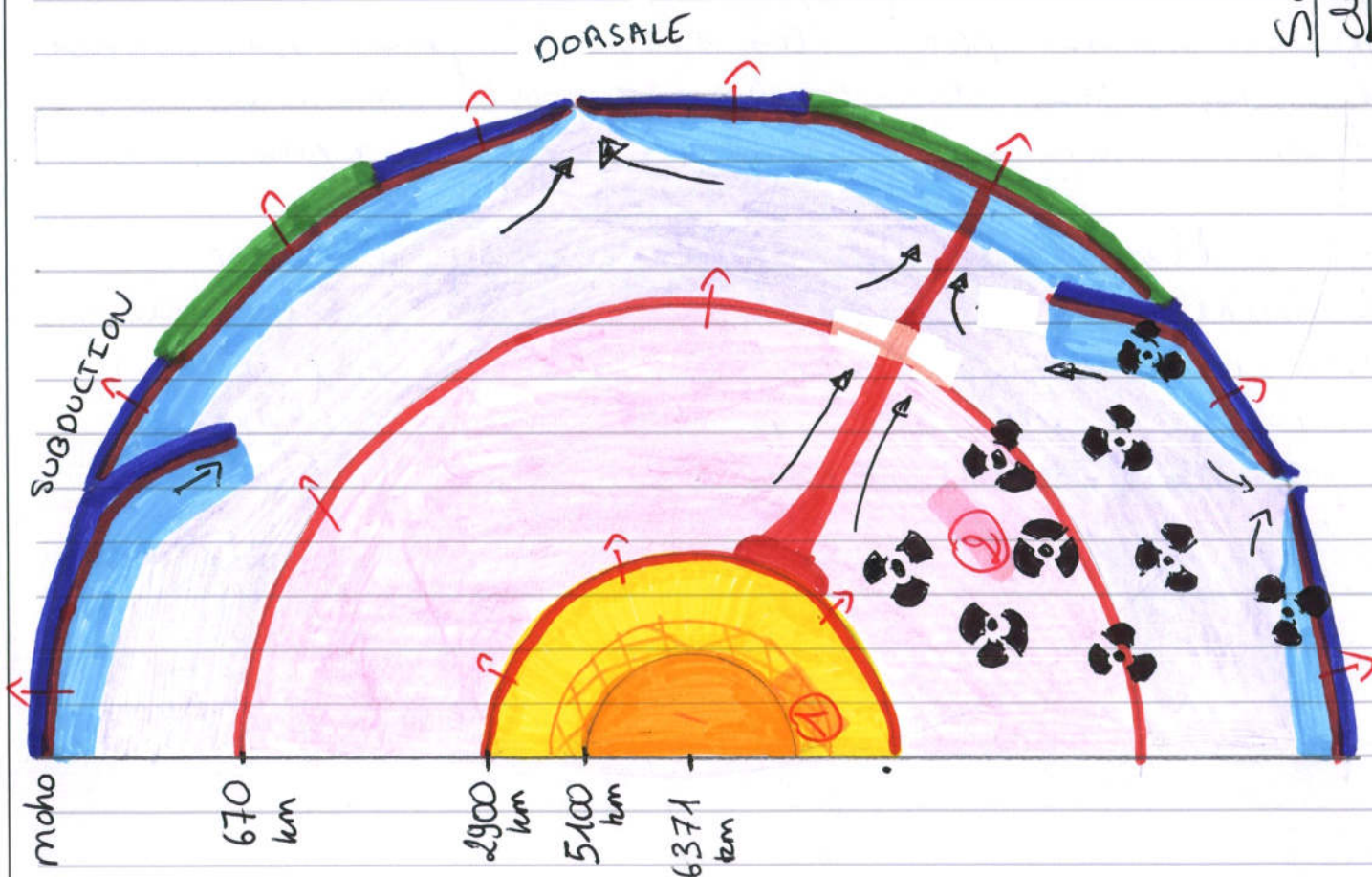


Schéma bilan, origine et évacuation de l'énergie thermique de la Terre.

13.02 / 20

Epreuve Matière : 103 - 3762

Session : 2025

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuillet officiel, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Remplir soigneusement le cadre relatif au concours OU à l'examen qui vous concerne.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuillet officiel.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) sur le nombre total de pages que comporte la copie (y compris les pages vierges).
- Placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre de numérotation des pages.

II- Le tracé du géotherme terrestre.

N'ayant pas accès à de grandes profondeurs, les scientifiques ont construit le géotherme à partir de point d'ancrage.
Nous allons, après avoir tracé ce géotherme, expliquer comment et grâce à quelles techniques ils ont été déterminés.

A- Premier point d'ancrage

Il se situe environ à 100 km (entre 100 et 120 km) et correspond à la limite entre le manteau lithosphérique supérieur et le manteau asthénosphérique supérieur.

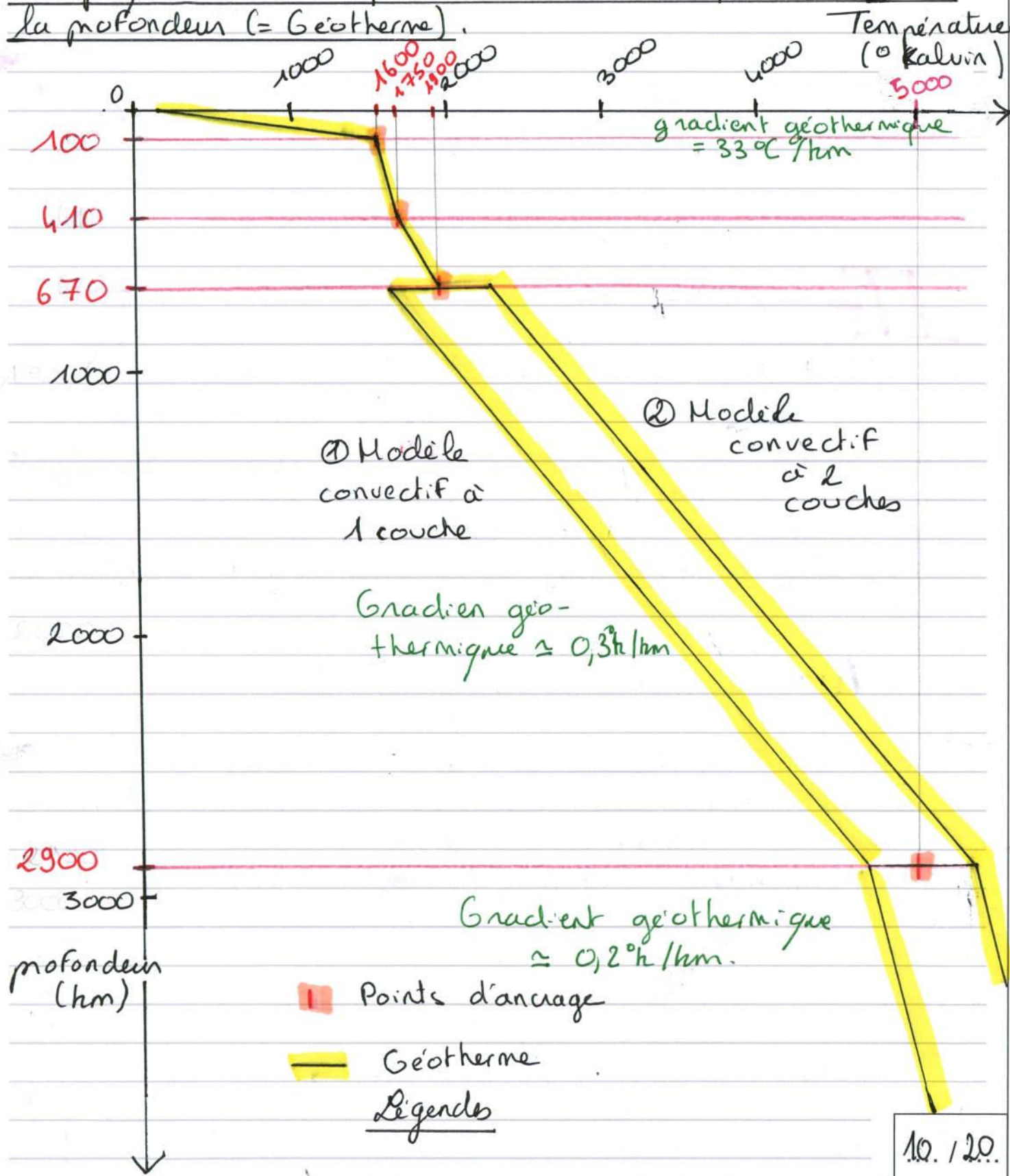
Cette limite c'est la LVZ ou low velocity zone. ou la vitesse des ondes sismiques est anormalement faible.

Ceci est expliqué par un manteau qui est proche du solidus (donc la Fusion partiel) et qui est dit ductile ce qui ralentit

9/20

13.02 / 20

Graphique de la température estimée en fonction de la profondeur (= Géotherme).



10. / 20.

la vitesse des ondes sismiques.

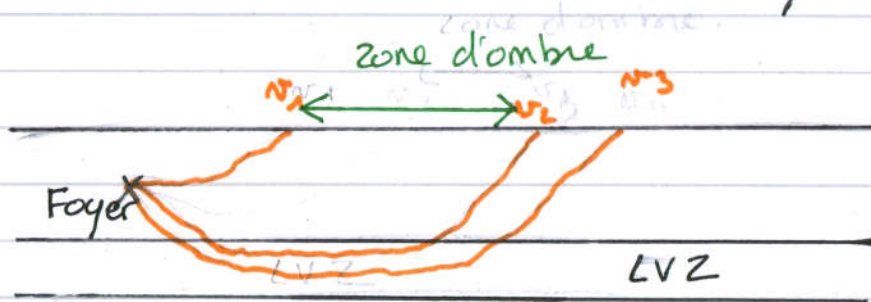
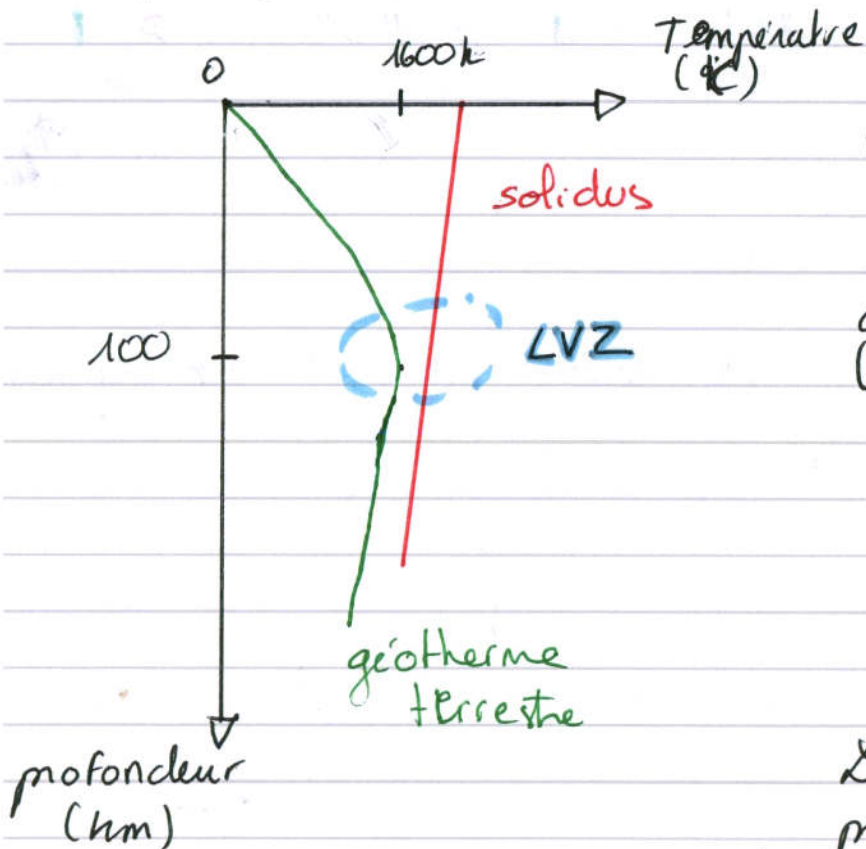


Figure
représentant
la zone
d'ombre
générée par
la LVZ.

Elle a été mise en évidence par l'enregistrement d'ondes sismiques grâce à des sismogrammes. On remarque que 'une zone n'enregistre aucunes ondes du fait du passage dans une zone de viscosité différente c'est la LVZ.



Cette viscosité est due au rapprochement du géotherme terrestre avec le solidus (température à laquelle on passe d'un solide à une fraction contenant du liquide et une fraction solide.)

Les roches à cette profondeur pouvant être traitées dans des enclaves de basalte ou au niveau de complexes ophiolitiques, il est possible en laboratoire de lui exercer la pression régnant à 100km de profondeur et de faire varier la température jusqu'au début de la fusion partielle. C'est ainsi qu'on obtient un premier point d'ancrage à environ

1600 °K.

B- Les points d'ancrage 2 et 3.

Ces deux points reposent sur l'étude de la cristallisation du minéral "olivine" présent dans le manteau.

L'olivine change de phase (un arrangement minéralogique), il y a compaction, augmentation de la densité avec l'augmentation de la pression.

Les deux changements de phase correspondent:

→ au passage de l'olivine α à l'olivine β à 410 km de profondeur.

Détermination de la profondeur grâce à un saut de vitesse à cette profondeur des ondes sismiques. (Modèle PREM)

→ au passage de l'olivine γ à la bridgmanite à 670 km de profondeur (idem, saut de vitesse sur les enregistrements des ondes sismiques.)

Afin d'obtenir les températures comme point d'ancrage, les scientifiques vont avoir recours à une presse à diamant.

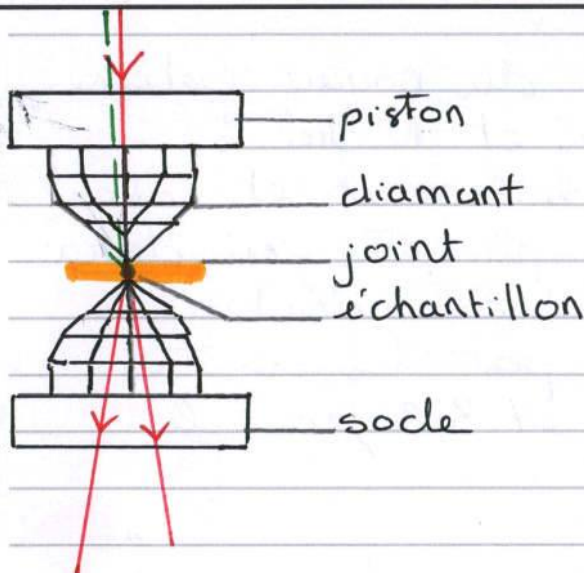
13.02 / 20

Epreuve - Matière : 103 - 3762

Session : 2025

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuillet officiel, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Remplir soigneusement le cadre relatif au concours OU à l'examen qui vous concerne.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuillet officiel.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) sur le nombre total de pages que comporte la copie (y compris les pages vierges).
- Placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre de numérotation des pages.



→ Rayon X
--- Rayon laser

Schéma du fonctionnement d'une enclume à diamant.

L'échantillon d'olivine est placé dans l'enclume au niveau du joint. Le piston permet de resserrer les deux pointes de diamant et appliquer la pression aux profondeurs déterminées grâce au modèle PREM (Preliminary reference earth model). On pourra valider le changement de phase grâce à la diffraction du rayon X caractéristique en fonction de l'olivine α , β , γ ou bridgmanite. Le Rayon laser permet ensuite de contrôler la température et ainsi en faisant varier que ce paramètre, on note la valeur à laquelle le changement de phase se fait.

Cela permet de mettre en évidence deux nouveaux point d'ancrage de

13/20

13.02 / 20

géotherme : à 410 km de profondeur, on note une température de 1750°K . et à 670 km, on note une température de 1900°K .

C- Quatrième et dernier point d'ancrage.

Il correspond à la limite du noyau externe constitué principalement de fer et Nickel.

(Etude de Chondrite pour le déterminer et calcul de la densité totale de la planète qui devra compenser la faible densité des couches superficielles (2,7 et 2,9 pour les croûtes continentales et océanique et 3,3 pour le manteau).

En laboratoire, on détermine la température de fusion de ces éléments ce qui nous permet d'obtenir le dernier point d'ancrage de 5000°K à 2900 km de profondeur.

Maintenant que nous avons établi la fabrication du géotherme, voyons quelques applications de ce dernier à de nouvelles découvertes.

III- Utilisation du géotherme en sciences de la Terre.

A- La tomographie sismique.

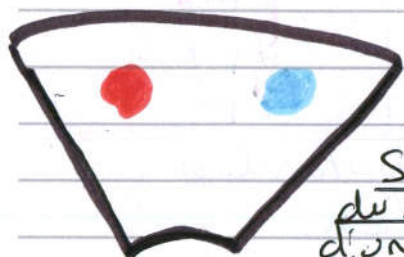


Schéma
du résultat
d'une tomogra-
phie sismique.

La tomographie sismique repose sur la comparaison de la vitesse des ondes sismiques réelles et celle théoriques. On constate par endroits des anomalies :

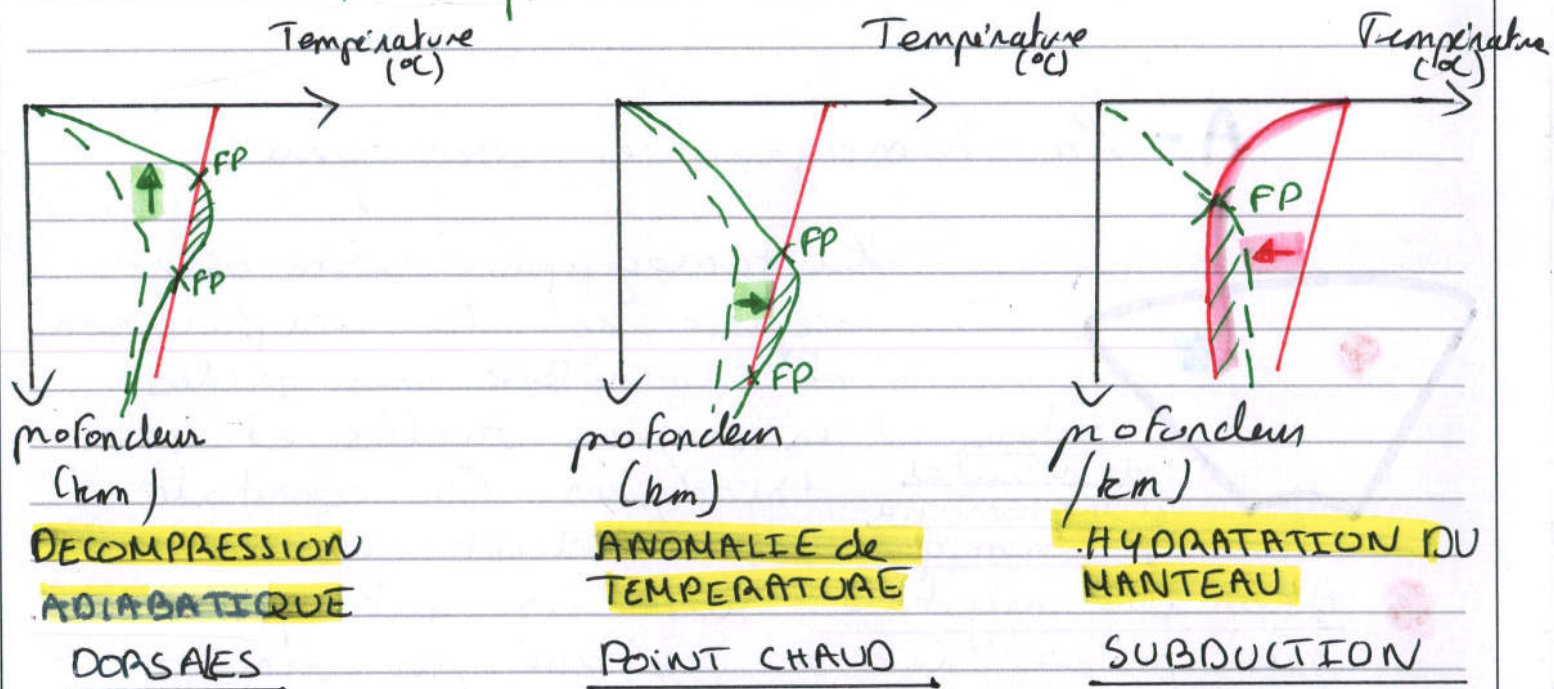
Anomalie négative : la vitesse est plus faible que prévue. Ceci est expliqué par une zone anormalement chaude. Par exemple, on a mis en évidence la remontée de panache mantellique chaud. *

Anomalie positive : la vitesse est plus grande que prévue. Ceci est expliquée par une zone anormalement froide donc plus dense qui permet aux ondes d'aller plus vite. Par exemple, on a mis en évidence les lithosphère océanique en subduction dans le manteau.

* Cela a permis de mettre en évidence une origine profonde du manteau pour les points chaud (couche D'') alors que pour les dorsales, l'origine est plus superficielle (200 km).

Voyons maintenant comment le gradient géothermique permet de travailler sur l'explication de la formation des magmas.

B - Zone particulière du géotherme recoupe le solide



Magma type **MORB**
Midge ocean ridge basalt

Magma type **OIB**
Ocean island basalt

Magma type **AIB** arc island basalt.

Légendes :

— solide
— solide hydraté

--- Géotherme normal (Modèle PREM)

— Géotherme anormal à quelques points précis de la planète (Fusion partielle (FP) possible)

Grâce à l'étude du géotherme, on peut expliquer les trois contextes de fusion.

- Dorsale : suite à un étirement, on a la croûte qui s'affine, diminution de la pression remontée rapide sans perte de chaleur (adiabatique) qui explique un géotherme particulier.

On retrouve une signature spécifique des 3 types de magmas formés du fait de la présence plus ou moins importante d'éléments magmatophiles (incompatibles avec le résidu) 16/20.

13.02 / 20

Epreuve - Matière : 103 - 37 62

Session : 2025

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuillet officiel, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Remplir soigneusement le cadre relatif au concours OU à l'examen qui vous concerne.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuillet officiel.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) sur le nombre total de pages que comporte la copie (y compris les pages vierges).
- Placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre de numérotation des pages.

cristallin.

On peut réaliser les même étude mais avec la croûte pour l'anatexie cristalline (augmentation pression et température du fait d'une orogénèse!).

Conclusion.

Nous avons vu au cours de ce travail que la planète Terre est une machine thermique. Nous avons vu les origines de cette énergie thermique et comment elle est véhiculée au sein de la planète puis nous avons vu comment l'Homme a tenté de déterminer le géotherme terrestre enfin nous avons vu que ce graphique a été utile à de nombreux faits scient. Finalement l'étude de l'énergie produite par la Terre est un enjeu contemporain des plus intéressants de nos jours... En effet une mise énergétique se profile avec la pénurie d'énergie fossile, il est temps de l'étendre

17/20

13.02 / 20

le savoir faire et d'exploiter l'énergie thermique de la Terre comme d'autres le font déjà comme l'Islande qui est autonome énergétiquement aujourd'hui.

De plus, le dégagement de cette chaleur par convection et conduction doit être au cœur de nos préoccupations car elle explique la mobilité des plaques lithosphériques qui génère des contextes générant des risques pour l'humanité.

Bien comprendre la planète Terre nous permettra d'y vivre plus longtemps sans l'abîmer.

18 / 20

