

Epreuve - Matière :103.....3.7.62.....

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.

Le géotherme terrestre

De nombreuses représentations graphiques et témoignages écrits témoignent du fait que l'Humanité a longtemps cru que le centre de la Terre était une boule de lave ou animée par un feu intérieur, souvent associé à l'enfer dans la religion chrétienne par ailleurs. Bien que cette croyance subsiste encore parfois dans l'opinion publique, la réception d'ondes S en Europe de seismes japonais nous démontre expérimentalement que l'intérieur de la Terre est solide, les ondes S ne circulant pas dans les liquides. Cette croyance non basée sur des faits illustre notre difficulté à comprendre les processus internes de la Terre du fait que l'observation directe est très limitée. À titre d'exemple, la Terre a un rayon de 6400 km et le forage le plus profond réalisé atteint 11 km, soit à peine 0,2% de la profondeur totale. L'exploration de la Terre profonde nécessite donc des méthodes de mesures indirectes dont certaines seront présentées dans cet exposé. En particulier, bien que le volcanisme et les sources hydrothermales laissent à penser que l'intérieur de la Terre est chaud, on peut appliquer ces méthodes pour construire le géotherme terrestre, c'est-à-dire la courbe qui relie la température à la profondeur dans la Terre. Cependant, les phénomènes géologiques mentionnés (volcanisme et hydrothermalisme) sont pas répartis de manière homogène à la surface

de la Terre, ce qui témoigne de l'existence à ces endroits de contextes thermiques particuliers. Dès lors on peut se demander : comment construire le géotherme terrestre sachant que la communauté scientifique n'a ^{un} accès direct qu'au 11 premiers km dans la Terre ? Peut-on réellement parler du géotherme terrestre ou existe-t-il des variations spatiotemporelles de ce dernier et quelles sont les conséquences de ces variations ? ^{expérimentalement}

Dans cet exposé nous nous attacherons tout d'abord à construire le géotherme terrestre moyen, avant de voir en quoi il témoigne du refroidissement de la planète Terre. Enfin, nous étudierons ses variations spatiales et temporelles au cours des temps géologiques.

Dans cet exposé on considèrera principalement le géotherme, c'est-à-dire le gradient thermique à l'intérieur de la Terre et non des enveloppes externes.

I la construction expérimentale du géotherme terrestre moyen.

① mise en évidence de la structure en enveloppes concentriques de la Terre : le modèle PREM.

La forme sphérique (à premier ordre) est connue depuis l'Antiquité, cependant, la structure interne du globe n'a été mise en évidence expérimentalement que lors du dernier siècle. La sismologie, étude des ondes sismiques et de leur propagation, a permis de mettre en évidence des discontinuités sismiques majeures dans le globe, où le changement des ondes changeent brusquement (par exemple la vitesse des ondes P augmente d'un coup de 6 m.s^{-1} à 8 m.s^{-1} à 30 km sous un continent). La sismique réflexion qui utilise des ondes provoquées par des canons vibrants ou de la dynamique permet de mettre en évidence avec la réception des ondes avec des géophones et le traitement du signal, une discontinuité importante (beaucoup de réflecteurs) à 4-8 km sous la surface des océans à 30 km sous un continent dans une zone géologiquement active, qui correspond au Moho limite croûte manteau. L'étude des ondes P et S de séismes naturels a aussi permis de mettre en évidence la discontinuité de Gutenberg à 2900 km (zone d'ombre entre 105° et 142° par rapport à l'épicentre) et de Lehman (réception d'ondes ^{mineures} réfléchies ou la grille dans cette zone) comme le montre la figure 1.

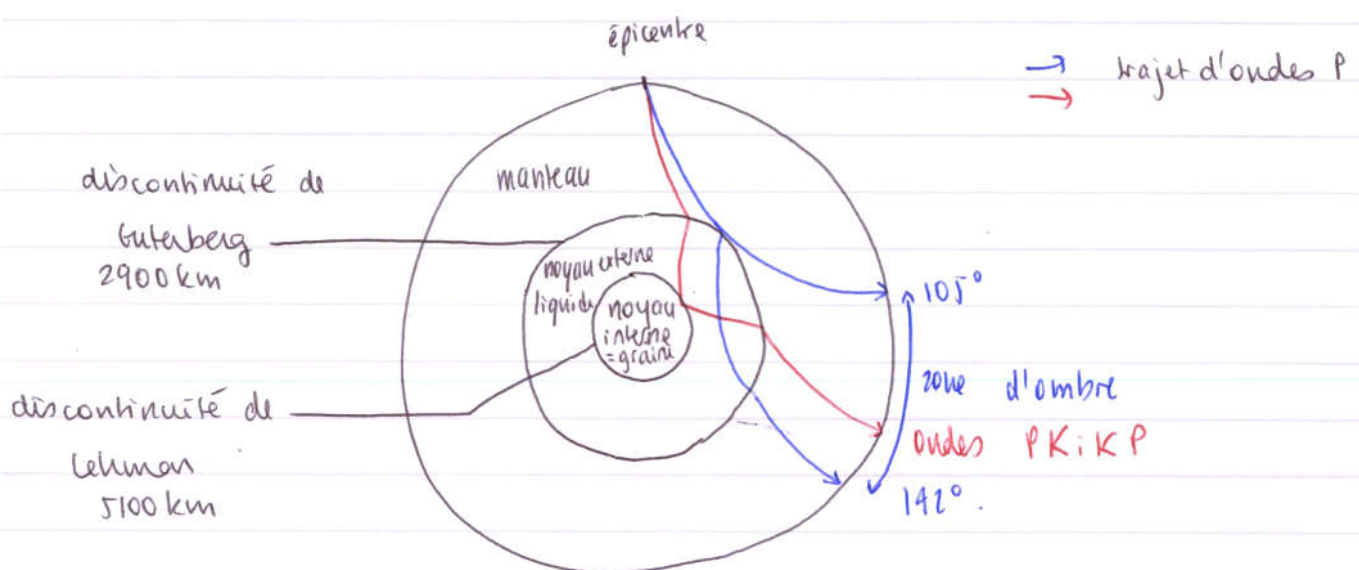


figure 1: mise en évidence des discontinuités majeures du globe grâce à la sismologie.

Les études ainsi que d'autres complémentaires (pétrologie notamment) permettent donc d'établir le modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model), modèle de la Terre en couches concentriques aux pétrologies et/ou propriétés distinctes séparées par des discontinuités majeures :

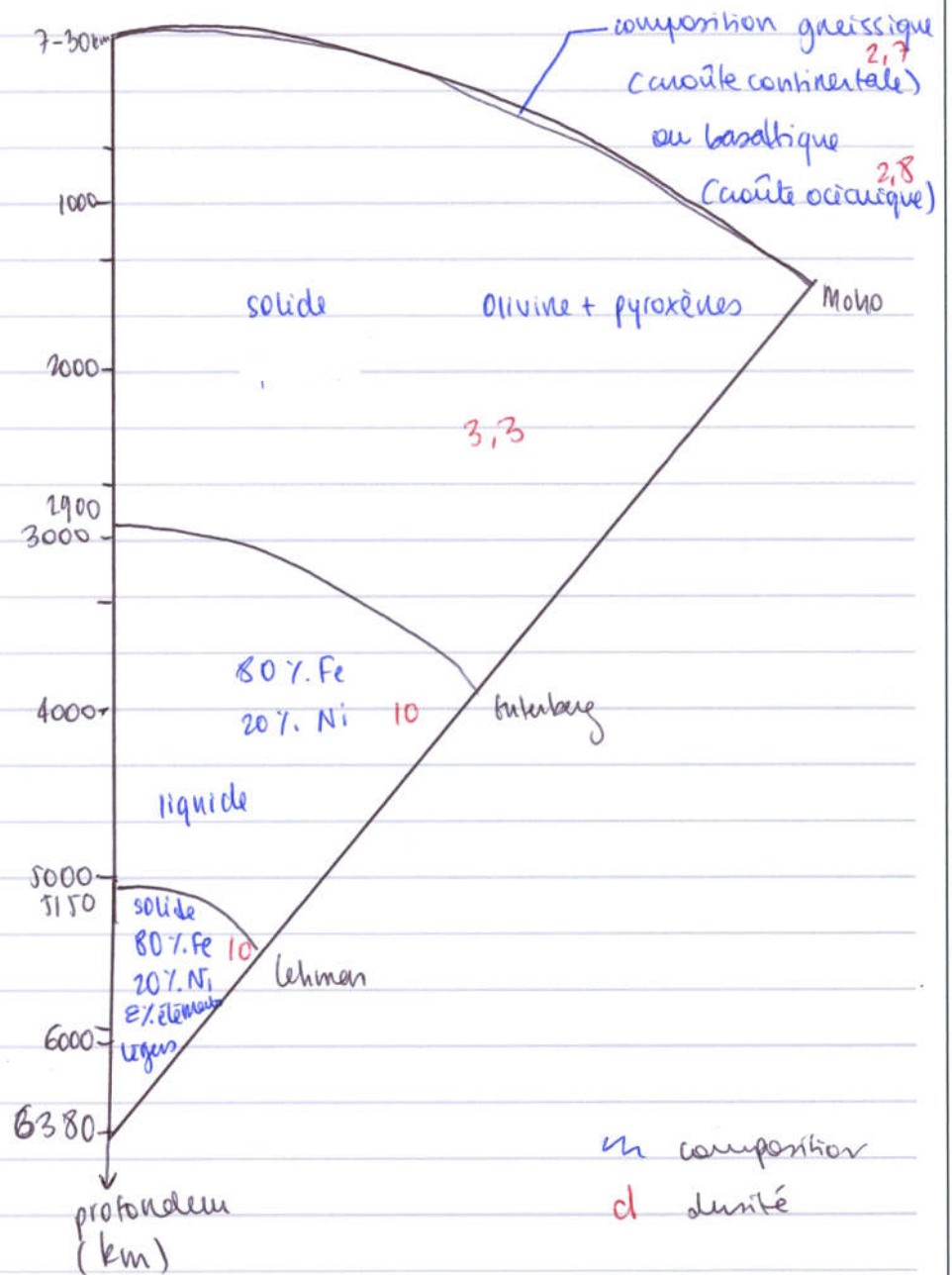


Figure 2 : modèle PREM de la structure interne du globe.

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.

⑥ Les points d'ancrage du géotherme terrestre

Connaissant la structure et composition de la Terre au premier ordre avec le modèle PREM, l'établissement du gradient thermique interne, le géotherme, nécessite des points d'ancrage. Tout d'abord, à la surface de la Terre, on mesure une température moyenne de 15°C , qui peut aussi être mesurée par mesure ^{satellite} ~~Volu~~ rayonnement tellurique et extrapolation grâce à la loi de Stefan Boltzman :

$$I = \sigma T^4$$

σ = constante de Stefan Boltzman

I = intensité du rayonnement incident mesurée (W)

T = température (K)

Figure 3: loi de Stefan Boltzman du rayonnement d'un corps noir.

Ensuite, comme mentionné précédemment, la mesure de la température en fonction de la profondeur dans les forages réalisés (notamment par les compagnies pétrolières) à la surface de la Terre permettent de tracer directement le géotherme sur la première dizaine de kilomètres de profondeur.

Pour ce qui concerne les plus de 99% de profondeur restant, les données sont indirectes et extrapolées à partir de modèles. Elles présentent donc des incertitudes. Dans le manteau supérieur, la sismologie identifie des légères discontinuités de vitesses sismiques à 400 et 670 km. Les discontinuités sismiques peuvent en théorie être dues à des changements pétrologiques (changements de composition chimique, comme dans le cas de la discontinuité de Mohorovičić) ou minéralogique (transition d'un minéral à un autre de même composition, réaction polymorphique comme le géobasomètre quartz-coesite) - ce constat a été confronté à des études de pétrologie expérimentale en presse piston-cylindre ou enclume à diamant (pour les très hautes pressions). Dans ces expériences, un échantillon centimétrique ou millimétrique ^(enclume à diamant) de roche est porté à des conditions (pression, température) contrôlées ^{puis trempées} afin d'en étudier les conséquences. Les expériences menées sur un cristal d'olivine montre des changements de phases (réactions polymorphiques) dans des gammes de pression correspondant aux profondeurs identifiées en sismologie (400 et 670 km). Les discontinuités sismiques sont donc interprétées comme des transitions de phase de l'olivine et le traçage expérimental des pites de Clapeyron (droite d'équilibre de la réaction dans un diagramme (P, T)) permet de déduire la température (avec une certaine incertitude) aux profondeurs de 400 km et 670 km comme le montre la figure 4 :

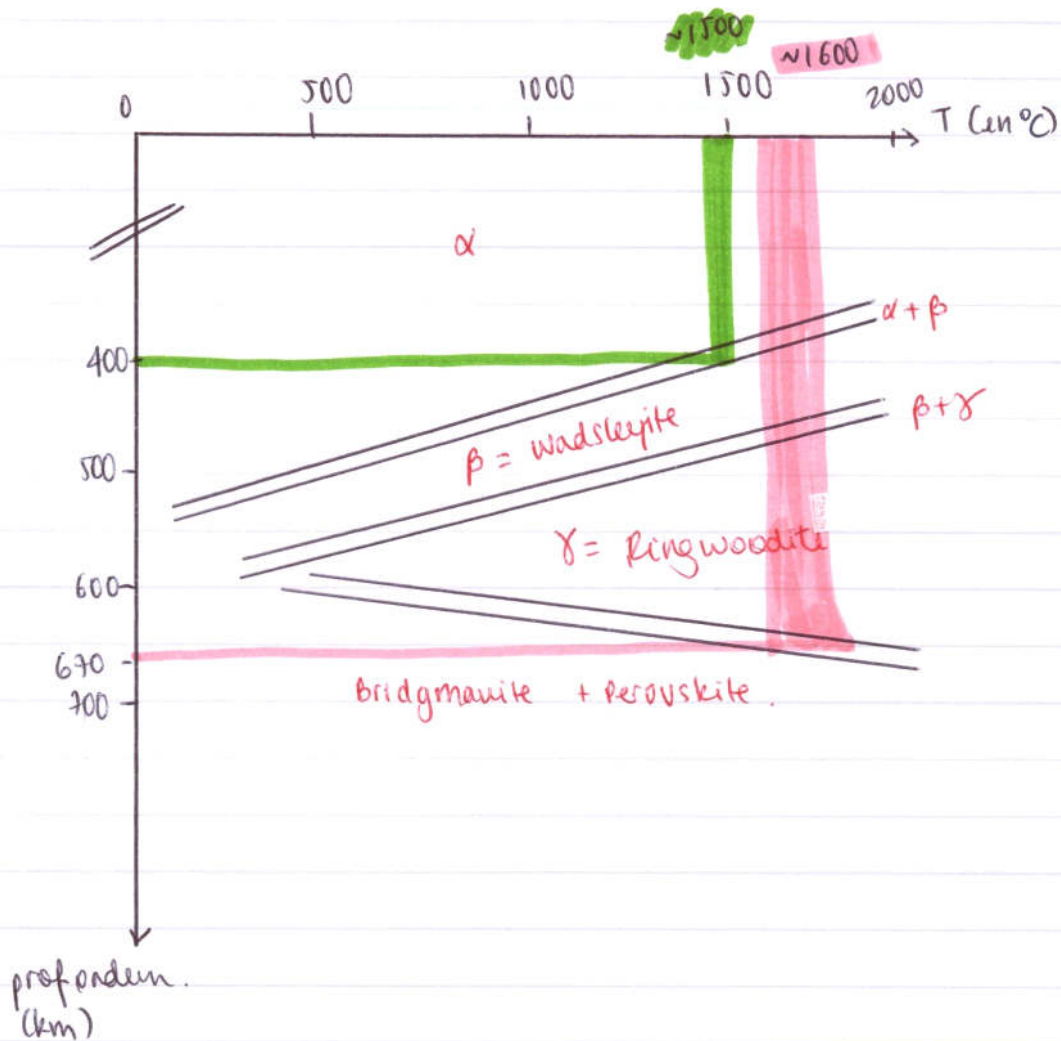


Figure 4: Travaux de Green et Ringwood: diagramme de changements de phase de l'olivine et détermination de 2 points d'ancrage du géotherme.

Enfin, un autre point d'ancrage est la discontinuité de Lehmann qui sépare le noyau externe liquide du noyau interne solide. Les travaux de Birch (détermination expérimentale d'une relation de proportionnalité entre Vitesse des ondes P dans un matériau et masse volumique du matériau) ont permis de déterminer que le noyau est composé à 80% de Fer (+20% de Nickel et un peu d'éléments légers comme le Soufre). Sous l'hypothèse simplificatrice d'un noyau entièrement fait de fer, on peut déduire que l'interface noyau liquide - solide est à 500 K, la température de changement d'état (solidification ici) étant à température constante à pression constante. Dès lors, avec l'ensemble de ces points d'ancrage représentés dans la figure 7 (par des $\star$), on contraint le géotherme interne moyen.

© Relier les points d'ancrage fonde les lois physiques tributaires des propriétés des enveloppes internes.

on a mis en évidence une hétérogénéité thermique dans le globe. Or, lorsqu'il y a une hétérogénéité thermique, les transferts de chaleur sont thermodynamiquement spontanés et peuvent se réaliser sous trois modes :

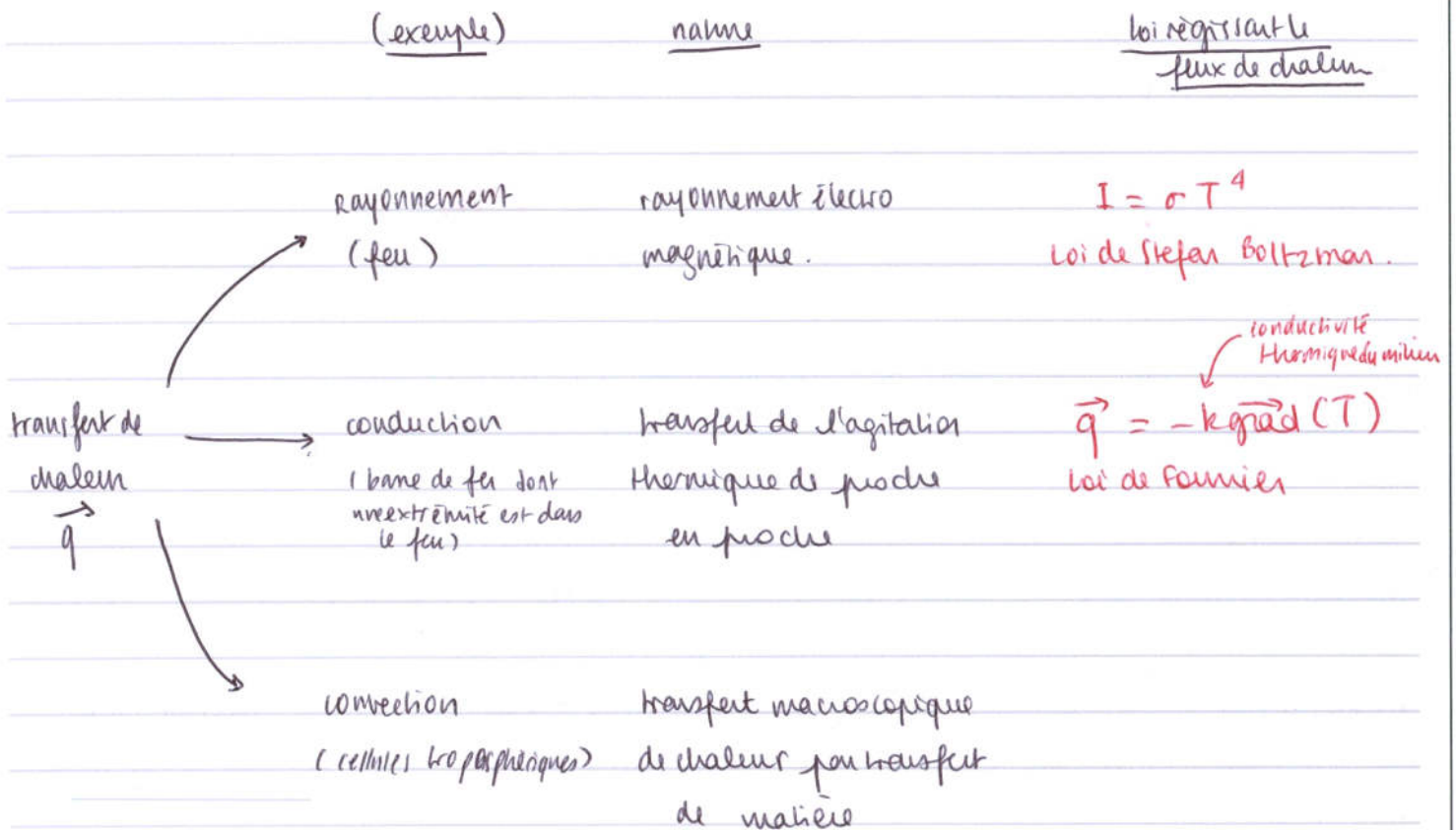


Figure 5: modes de transfert de chaleur

Au sein de la Terre, le rayonnement n'est pas possible car le milieu est opaque. Il reste donc la conduction et la convection. La convection n'est possible que si le milieu peut fluier et est soumis à un gradient de densité (souvent un gradient thermique). La capacité à convec-tionner est décrite mathématiquement par le nombre de Rayleigh :

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.

adimensionné

$$Ra = \frac{\alpha \rho g \Delta T d^3}{\eta K}$$

$Ra < 1000 \rightarrow$ pas de convection

$Ra \in (1000; 2000] \rightarrow$ ondulations

$Ra > 2000 \rightarrow$ convection

Figure 6: Nombre de Rayleigh et signification des termes de l'équation

α coefficient de dilatation thermique

ΔT gradient de température (K)

ρ masse volumique ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

g accélération gravitationnelle ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
~9.81

d distance (m)

η viscosité dynamique (Pa.s)

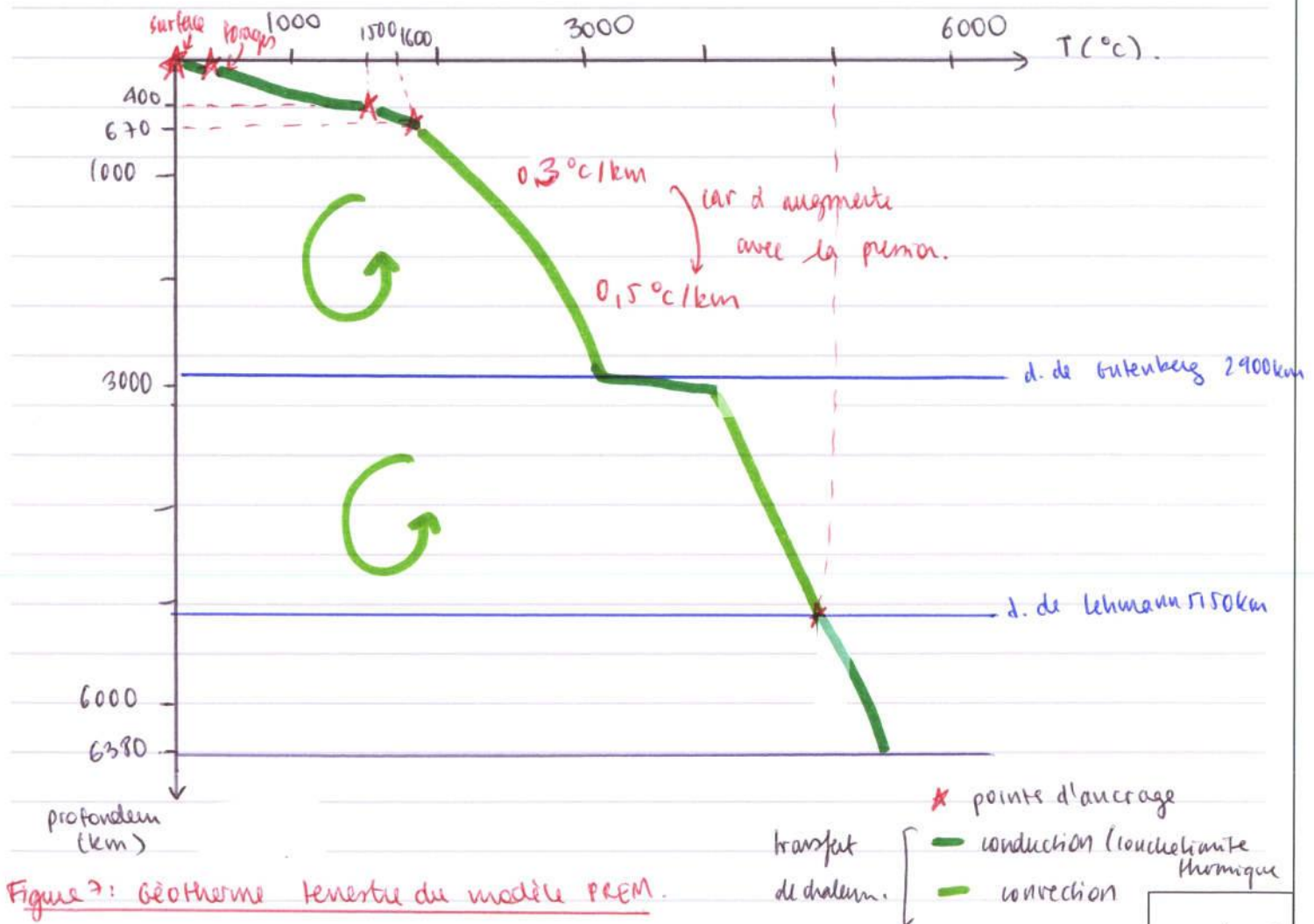
K coefficient de diffusion thermique

Dans le cas du manteau, on connaît ρ ($\rho_{\text{manteau}} = \text{densité}_{\text{manteau}} \times \text{prof}^{\uparrow 3,3}$)
 d l'entre les discontinuités de Gutenberg et le Moho $2900 - 30 = 2870 \text{ km}$ et g .
 On peut mesurer en laboratoire K et α . Quant à ΔT , on a les points d'ancrage
 du géotherme - Et η peut être déduit par la confrontation de
 modèles numériques de rebond isostatique post fonte de glacier à des
 données de terrain (comme le soulèvement de la Scandinavie). Ainsi, on obtient
 un Ra de $10^6 - 10^8$ pour le manteau, ce qui démontre qu'il convecte.
 Or, un matériau en convection en laboratoire présente un gradient
 thermique nul au cœur et avec un fort gradient aux couches
 limites thermiques. Cependant, cela ne prend pas en compte l'augmenta-
 tion de pression avec la profondeur dans le manteau. Ainsi,
 le gradient thermique dans un matériau ^{en convection} soumis à un gradient

de pression est isentropique et présente une augmentation de température avec la profondeur.

De la même manière, le noyau externe convecte ^{intense} (notamment du fait que la viscosité est proche de celle de l'eau), tandis que ^{dans} la gaine solide le transport de chaleur se fait par conduction - De même, aux interfaces immiscibles (discontinuité de ~~but~~ Gutenberg séparant les éléments sidérophiles et le fer des éléments silicatés), le transfert se réalise par conduction.

Ainsi, avec toutes ces informations et données expérimentales, on peut contraindre le géotherme terrestre moyen :



⑤ le géotherme présente des variations spatiales en fonction des contextes géodynamiques.

Les anomalies de vitesses des ondes sismiques et leur étude (tomographie sismique) peuvent nous renseigner sur les propriétés des matériaux, qui dépendent parfois de la température. Par exemple, sous l'île de la Réunion, on observe une forte anomalie négative (les ondes sont plus lentes que ce qui est attendu compte tenu du modèle PREM). Ceci est interprété comme un panache mantellique, i.e. une remontée ^{locale} de matériel chaud asténoosphérique en surface. Localement, on a donc un géotherme différent du géotherme moyen d'un modèle PREM, lié à un contexte géodynamique local. Ainsi, l'étude (représentée en figure 8)

du géotherme local / régional peut être informatif quant à la géodynamique régionale. En effet, d'une manière similaire, on observe sous le Japon une anomalie positive en tomographie sismique liée à la présence d'une plaque lithosphérique océanique froide subductant sous l'archipel (cf. figure 8 pour le géotherme local).

Il n'y a donc pas un géotherme terrestre mais des géothermes terrestres, dépendant du contexte géodynamique régional et dont l'étude peut nous aider à comprendre les ^{processus de} géodynamiques interne de la Terre.

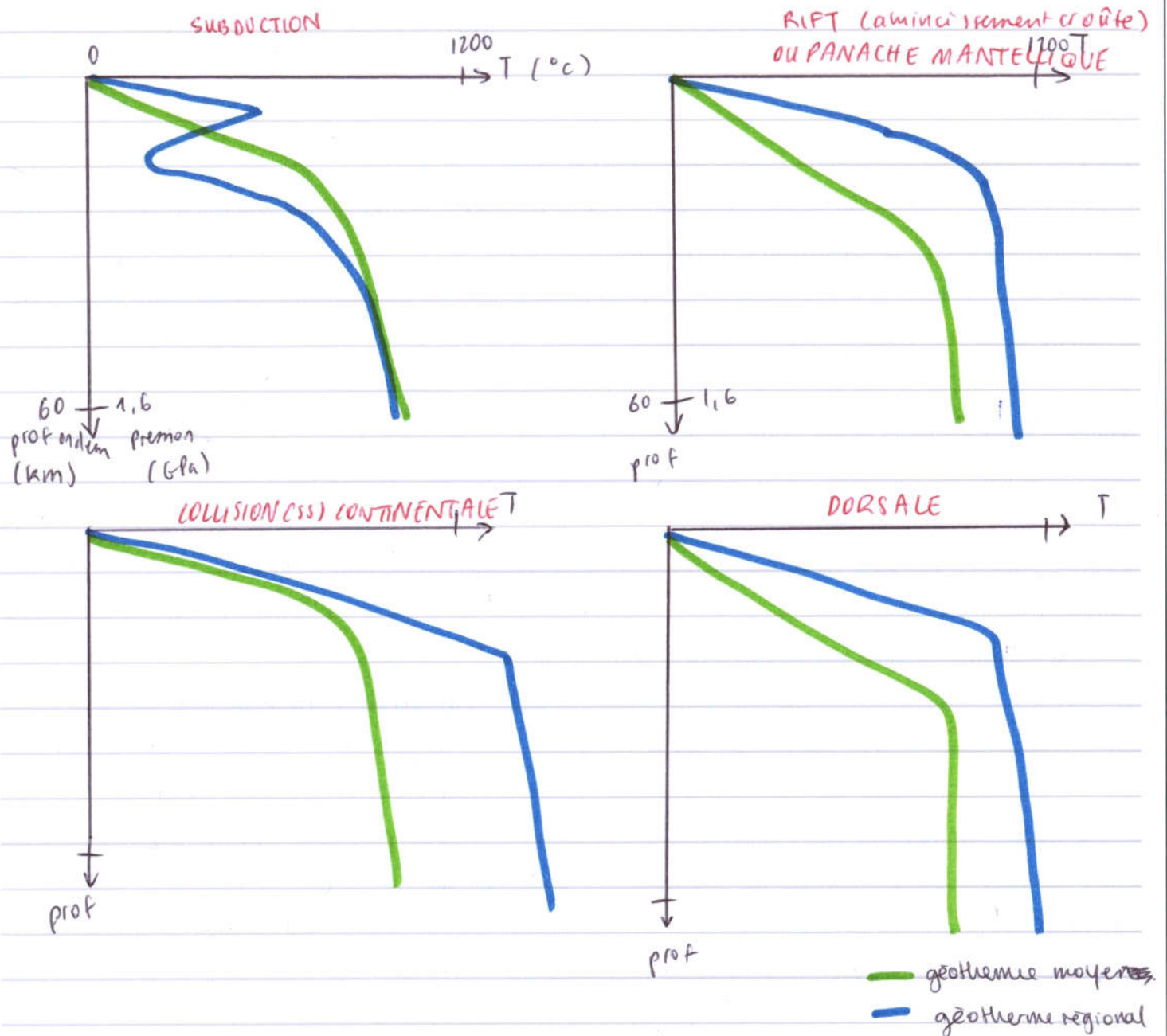


Figure 8: diversité des géothermes régionaux en fonction du contexte géodynamique

Ainsi, on a pu mettre en évidence grâce à une combinaison de méthodes directes et indirectes le géotherme terrestre et ses variations. Cependant, comme mentionné précédemment, un gradient thermique n'est thermodynamiquement pas stable dans le temps donc il témoigne du refroidissement de la Terre. Quelles sont les sources de ^{cette} chaleur qui est dissipée ?

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 géotherme terrestre : l'expression du refroidissement de la Terre.

Ⓐ Les sources de chaleur à l'intérieur du globe : le rôle principal de la radioactivité.

Les éléments chimiques sont définis par leur numéro atomique Z (nombre de protons dans le noyau, et d'électrons gravitant autour si l'atome est électriquement neutre). Cependant, pour un même nombre de protons, un atome peut avoir un nombre de neutrons différent. Les atomes possédant le même nombre de protons mais des nombres différents de nucléons sont dits isotopes. Certains isotopes sont stables ($^{12}_6\text{C}$ et $^{13}_6\text{C}$ pour le carbone par exemple) et d'autres instables ($^{14}_6\text{C}$ pour le carbone). Les isotopes instables ^{sont dits radioactifs et} se désintègrent spontanément selon différentes modalités (radioactivité α , β^- , β^+ ou γ) qui libèrent toutes de l'énergie sous la forme d'un rayonnement électromagnétique. Les isotopes majeurs (en quantité) sur Terre sont actuellement le ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K . On estime que leur désintégration libère au total une puissance thermique de 20 TW (dont 7 TW par la croûte qui est plus concentrée mais moins volumineuse que le manteau). La radioactivité constitue l'énorme majorité de la chaleur produite par le globe. À cela s'ajoute 1 TW de chaleur latente de cristallisation du noyau et 1 TW de ségrégation gravitationnelle ^{de chaleur d'accrétion initiale} du noyau et du manteau, et la chaleur de marées. Ainsi, il y a 22 TW d'énergie thermique produite par la Terre et responsable de

l'existence du gradient thermique.

② Le bilan thermique de la Terre met en évidence tout simplement

Le gradient thermique négatif avec l'éloignement du centre de la Terre met en évidence que la chaleur interne de la Terre est dissipée. Pour quantifier ces pertes, on peut mobiliser la loi reliant l'âge d'une dorsale à son flux thermique développée par Fournier et confirmée par des données expérimentales :

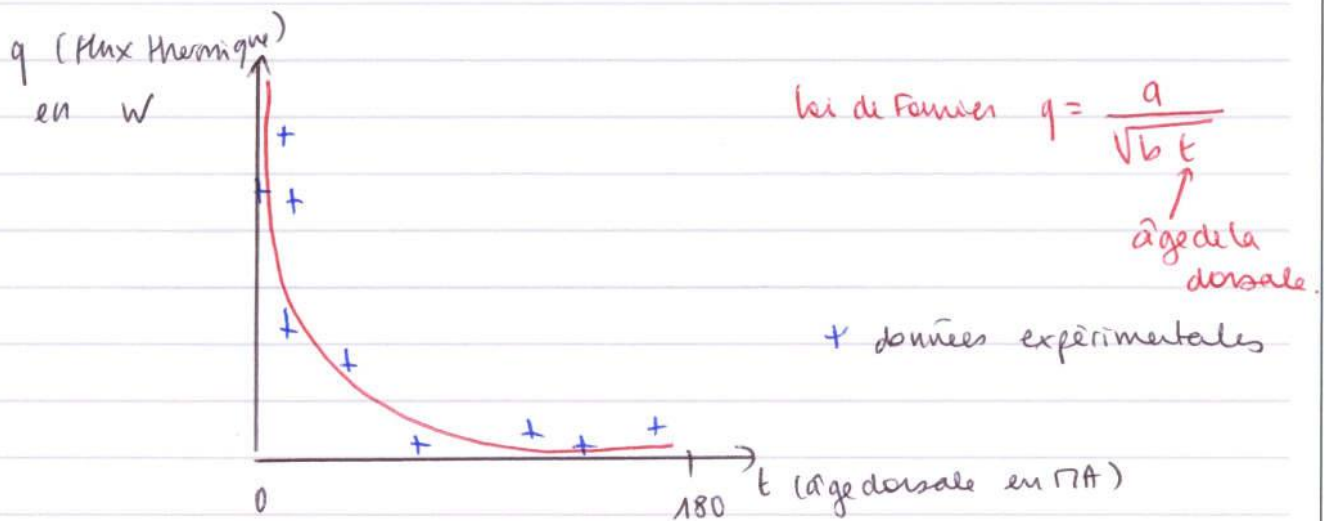


Figure 9 : loi de Fournier et confrontation aux données mesurées de l'évolution du flux thermique d'une dorsale en fonction du temps depuis sa cristallisation.

or, on peut obtenir l'âge des fonds océaniques grâce aux anomalies magnétiques enregistrées par les minéraux ferromagnétiques dans les basaltes de la croûte océanique. On peut donc déduire de la carte des fonds océaniques le flux océanique de chaleur lié aux dorsales. Il vaut 29 TW. À cela s'ajoute les penachées

mantelliques (3 TW) - Quant aux domaines continentaux, le flux est estimé à partir de mesures du gradient thermique et de la conductivité thermique à des localités précises, ce qui permet de calculer le flux par conduction selon la loi de Fourier (c.f. figure 5). Les données ponctuelles sont ensuite extrapolées pour calculer le flux surfacique continental. Il est estimé à 14 TW.

Ainsi, on peut établir le bilan thermique de la Terre, dont le géotherme terrestre est l'expression :

Production de chaleur	en TW
Radioactivité	20
dont cristale (7 TW)	
Chaleur de cristallisation	1
Autres sources	1
	<u>1</u>
	+ 22
Pertes de chaleur	
océaniques → dorsales	- 29
→ points chauds	- 3
continentales	<u>- 14</u>
	- 46
TOTAL	<u>- 25 TW</u>

Figure 10 : Bilan thermique de la Terre : mise en évidence de son refroidissement

© cas de l'atmosphère et l'hydrosphère: gradients thermiques des enveloppes externes

Les ballons sondes munis de capteurs thermiques ainsi que les satellites à lidar permettent de déterminer l'évolution de la température avec l'altitude:

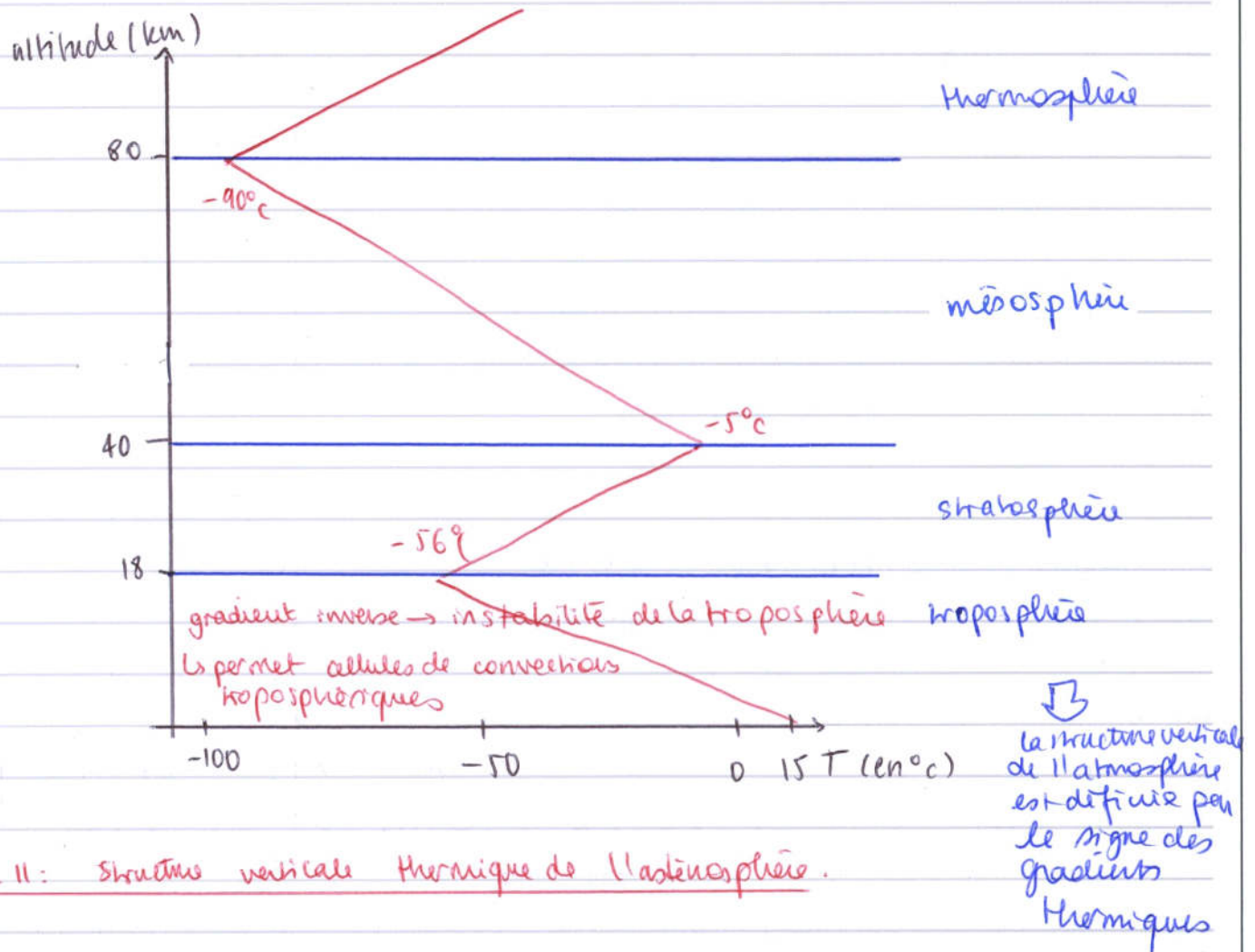


Figure 11: Structure verticale thermique de l'atmosphère.

Quant à l'hydrosphère, les 100 premiers mètres sont mélangés par le couplage mécanique avec les courants atmosphériques, donc la température est relativement constante à une latitude donnée (entre 0 et 30°C). Ensuite des thermomètres portés par des sous-marins et submersibles montrent que la température décroît avec la profondeur et peut atteindre des températures légèrement négatives (-2°C) au niveau du plancher océanique. Cependant, contrairement au géotherme interne, la source de chaleur n'est pas la radioactivité mais l'énergie solaire, ce qui explique par ailleurs que les variations

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.

du gradient thermique sont ^{principalement} latitudinales, tout comme les variations d'insolation.

Au cours de cette deuxième partie, nous avons vu que le géotherme trouvait son origine dans le refroidissement de la planète Terre. Par comparaison, les gradients thermiques des enveloppes externes sont elles induites par la réception de l'énergie solaire et la dynamique de ces enveloppes. Ayant compris l'origine du géotherme moyen, on peut dès lors s'interroger sur les processus responsables des variations autour du thème constatées en partie I ⑥, ainsi que les conséquences de ces variations spatiales du géotherme. De plus, la planétologie comparée nous laisse à voir des corps célestes où il n'y a pas d'activité magmatique qui est une expression d'une dissipation de l'énergie thermique du globe. On peut donc aussi s'interroger sur les variations temporelles du géotherme (dans le passé et le futur) et de ses conséquences sur les ^{processus de} géodynamique interne.

III Les variations spatiotemporelles du géotherme terrestre et les conséquences en terme de géodynamique interne.

① La variation spatiale du géotherme terrestre en fonction du contexte géodynamique est responsable de la localisation et dynamique du magmatisme sur Terre.

① cas particulier de la Low Velocity Zone (LVZ)

Les études de sismologie montrent un ralentissement des ondes P et S sismiques très localisé à des profondeurs de 600-700 km. En confrontant le tracé du géotherme moyen à celui du solidus (courbe au delà de laquelle on observe une fusion partielle de la roche) de la péridotite (roche moyenne du manteau), on observe qu'à cette profondeur les deux courbes sont proches :

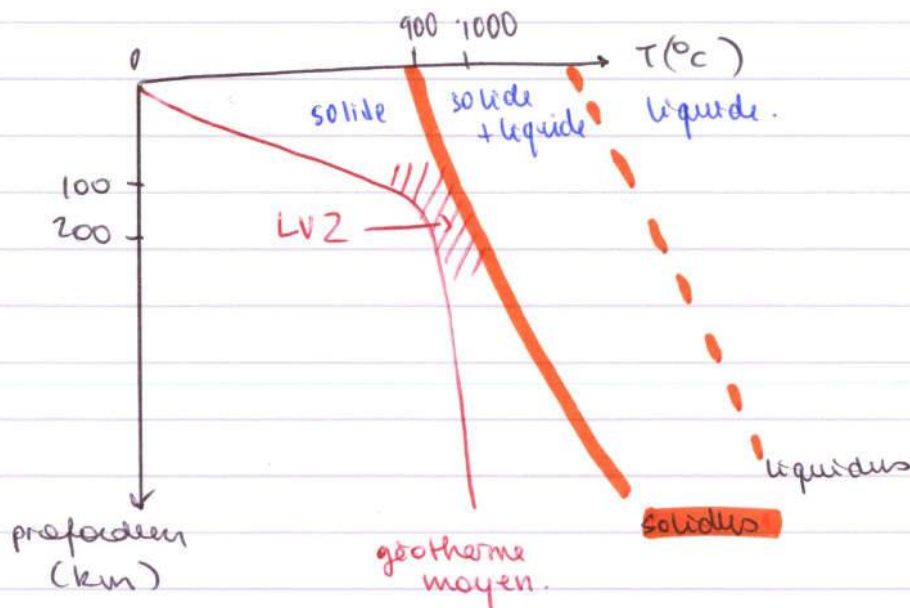


Figure 12: Proximité du solidus et du géotherme au niveau de la LVZ.

cette proximité laisse supposer qu'il pourrait y avoir localement un peu de fusion partielle du manteau ce qui pourrait expliquer le ralentissement local des ondes sismiques.

② le géotherme local peut autoriser la fusion partielle du manteau en croisant le solidus par décompression adiabatique, échauffement isobare ou hydratation des solides.

La production de magma (roche en fusion) nécessite la fusion (au moins partielle d'une roche). Or, étant donné le géotherme moyen, cela ne devrait pas arriver car le géotherme ne croise jamais le solidus. La production de magma est donc une anomalie à la surface de la Terre et nécessite un contexte particulier autorisant la fusion partielle (cela peut être une modification du géotherme ou du solidus). Or, nous avons vu que certains contextes géodynamiques présentent un géotherme différent de celui moyen. Par exemple, au niveau d'un point chaud, il y a une remontée de matière chaude (donc décompression adiabatique des roches) qui par contact conduisent une partie de leur chaleur et cuisent les roches autour (échauffement isobare). Ainsi, cet exemple montre comment un contexte géodynamique local (point chaud) conditionne le géotherme local (remontée du géotherme) et autorise le croisement avec le solidus et donc la fusion partielle. Les autres contextes sont représentés sur la figure suivante :

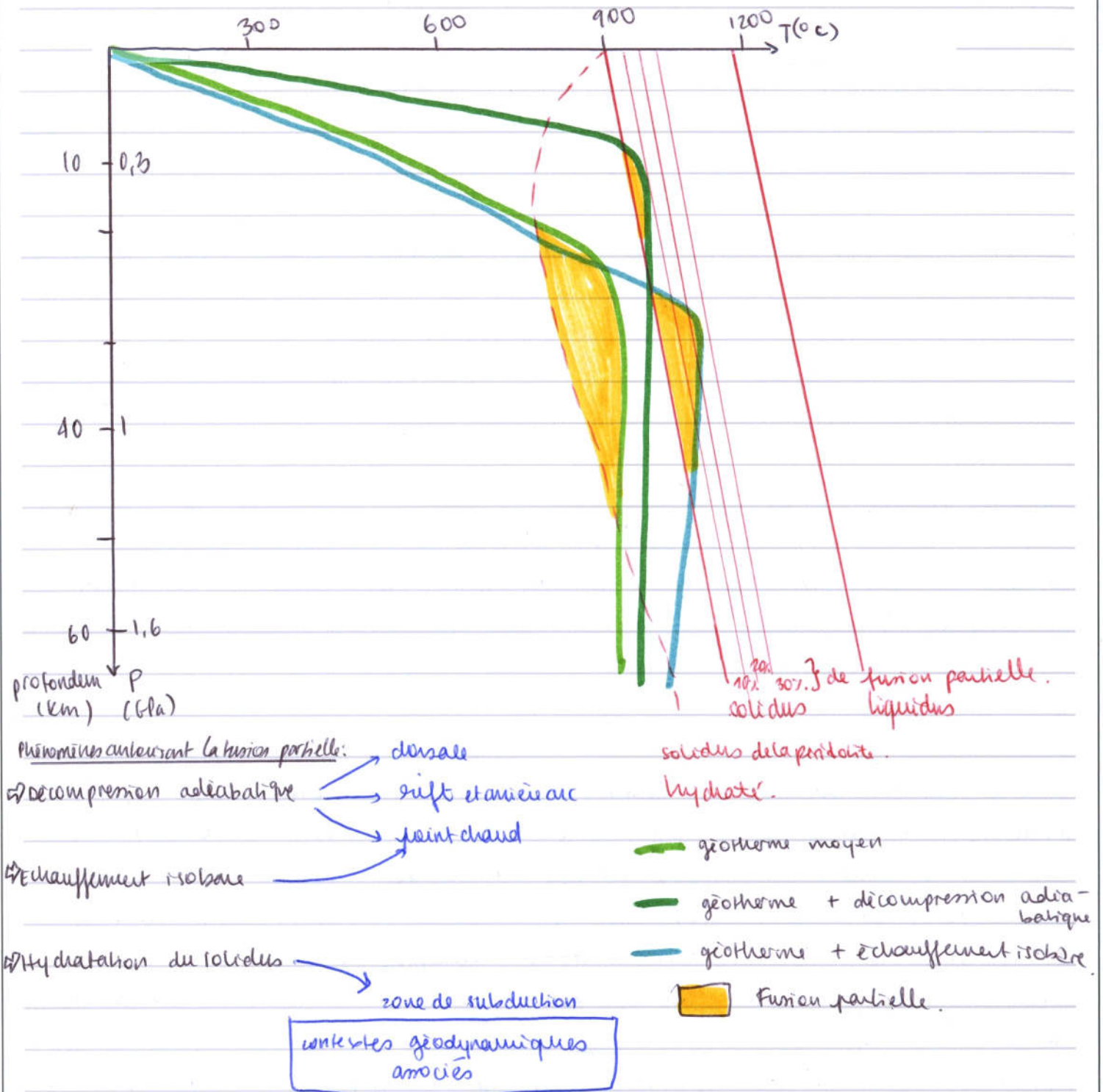


Figure 13: phénomènes permettant la fusion partielle et contextes géodynamiques où ces phénomènes ont lieu.

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.

③ le contexte géodynamique local et son géotherme associé conditionnent aussi les propriétés de l'expulsion du magmatisme.

③ le cas particulier de la collision continentale et l'évolution d'un géotherme au cours du temps à l'échelle d'une orogénèse

La collision continentale au sens strict (quand les deux masses continentales sont en collision et que le raccourcissement provoque un écaillage crustal) est aussi un contexte géodynamique compressif où le géotherme local permet la fusion partielle (de la croûte continentale et non le manteau cette fois ci) - on retrouve ainsi des migmatites (gniss avec des leucosomes de composition plagioclases + muscovite et des mélanosomes de composition fensse gneissienne biotite + pyroxènes) dans les Alpes centrales (granite de Bergell). Cependant, quand les forces de volumes deviennent supérieures aux forces aux limites, les chaînes de collision s'effondrent - cette dynamique extensive des massifs anciens, comme on peut le voir dans le Massif Central (failles normales des Limagnes) conduit à une décompression adiabatique du manteau sous-jacent (changement de géotherme mais qui permet aussi la fusion partielle) et on retrouve alors aussi des produits magmatiques, comme les granites du Velay dans le Massif Central. 21. / 23.

Central. Ainsi, ce cas particulier de la collision continentale permet d'illustrer que le contexte géodynamique local et son géotherme associé permet aussi la fusion de la croûte continentale et que l'évolution temporelle du contexte influe sur le géotherme et donc les conséquences en terme de géodynamique interne, ici le magmatisme.

④ le contexte géodynamique local et son géotherme associé conditionnent aussi les propriétés de l'expression du magmatisme.

À l'île de la Réunion, qui est un point chaud, le Piton de la Fournaise produit des laves mafiques très fluides et pauvres en SiO_2 . Au contraire, les granites du Velay ou du morvan, issus de la décompression du manteau suite à l'effondrement gravitaire tectonique du Massif Central, sont des roches leucocrates acides riches en SiO_2 et plutôt visqueuses formant des protrusions plutôt que des coulées fluides type aa. Dès lors, on voit que le géotherme local conditionne le taux de fusion partielle (cf. ~~schéma~~ figure 13) et en cela la composition du magma (la fusion partielle fractionnant les ^{éléments} compatibles et incompatibles). Ainsi, dans le cas du point chaud de la Réunion, le taux de fusion partielle est fort (10-15%), les incompatibles et la silice sont donc ^{plus} dilués qu'à faible taux de fusion. La viscosité (et donc le dynamisme éruptif) étant tributaire de la proportion en SiO_2 de la lave, le géotherme local conditionne le mode d'expression du magma -

⑥ Le gradient de température dans le noyau externe est responsable du champ magnétique terrestre (CMT)

Ille même avec une boussole permet de mettre en évidence l'existence d'un CMT dipolaire dont le nord magnétique est au niveau du nord géographique. Comme mentionné précédemment, le noyau externe est une enveloppe de fer et nickel (donc des éléments métalliques conducteurs) en convection du fait d'un gradient thermique (5000K à la limite de Lehman et 4000K à celle de Gutenberg). Cependant, la Terre, comme toutes les planètes de système solaire, est en rotation sur elle-même et subit donc une force axifuge. La combinaison de la convection du noyau et de la force axifuge qui est responsable de la déviation de toute particule de fluide à la surface de la Terre (Force de Coriolis) fait qu'on suppose que les mouvements de fer et nickel liquide sont tourbillonnants (cf. Figure 14) - Or, une boucle de courant électrique induit un champ magnétique qui peut à son tour mettre en mouvement le fluide conducteur. Ce mécanisme de géodynamo auto-entretenue est le modèle supposé pour expliquer le CMT.

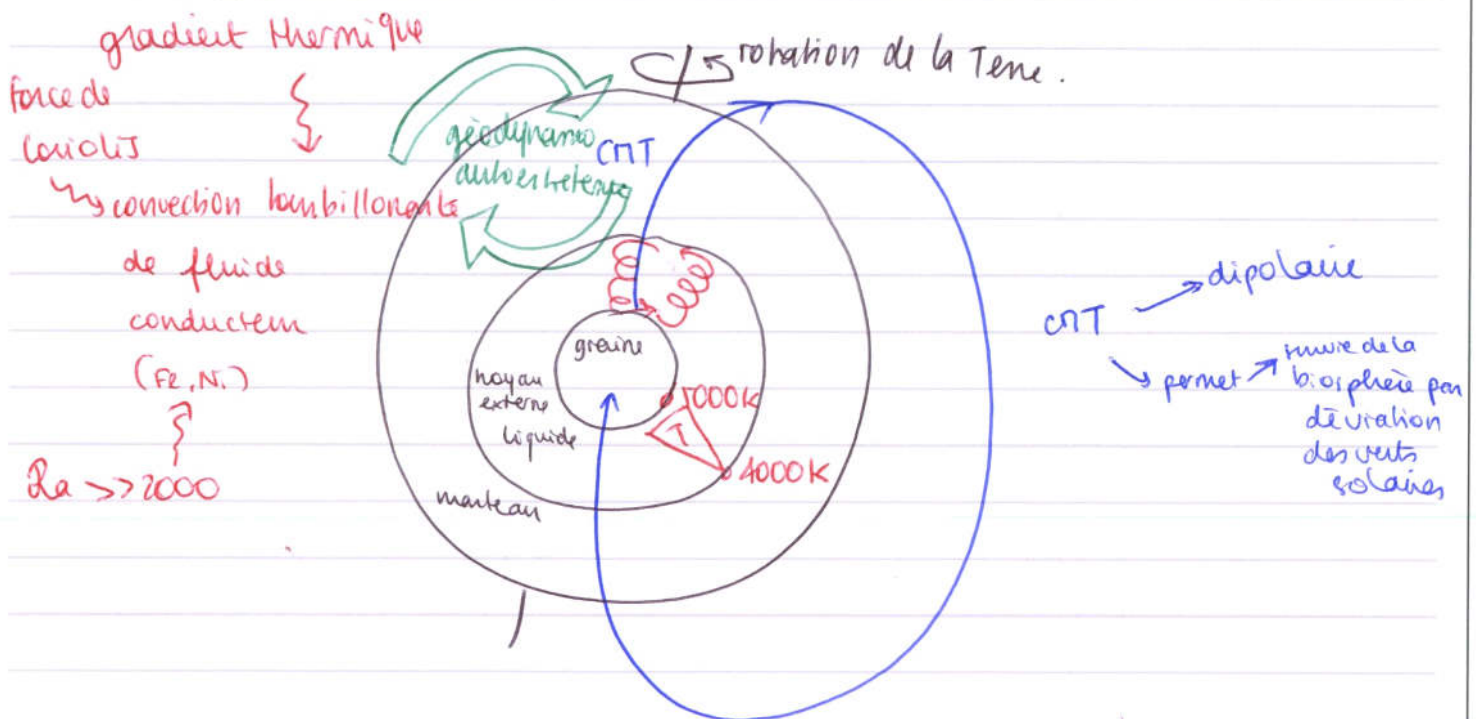


Figure 14: modèle de la géodynamo auto-entretenue : gradient thermique responsable de la convection du noyau et donc de l'existence du CMT.

c) Variations du géotherme au cours des temps géologiques et les conséquences sur la géodynamique interne

On trouve dans le crâton Archéen de Barbertown (3,5 Ga) des roches ultramafiques avec des cristaux d'olivine présentant une structure spinifex (en aiguilles) pouvant s'expliquer par le refroidissement rapide d'une lave très chaude. Ces roches datées de l'Archéen (4-2,5 Ga) sont des komatiites, roches ultrabasiques ne pouvant être formées que par fusion partielle à très haut taux de fusion partielle ^(20-60%) de péridotite. De la même manière, les roches du Tenaite Throldemite Group (TTG) sont des granodiorites faibles en potassium dont la pétrologie expérimentale montre qu'elles ne peuvent être formées que pour de faibles taux de fusion partielle de métagabbros. Les indices pétrologiques nous montrent que le géotherme moyen terrestre n'a sûrement pas toujours été celui actuel. On suppose qu'à l'Archéen, la production de chaleur était 3 fois supérieure, notamment du fait de la désintégration radioactive d'isotopes à courte durée de vie aujourd'hui éteints comme l'aluminium 26 (^{26}Al). Le géotherme était donc différent. Or, la température est un des facteurs majeurs de contrôle de la rhéologie, comme le montre l'expérience en presse piston cylindre suivante.

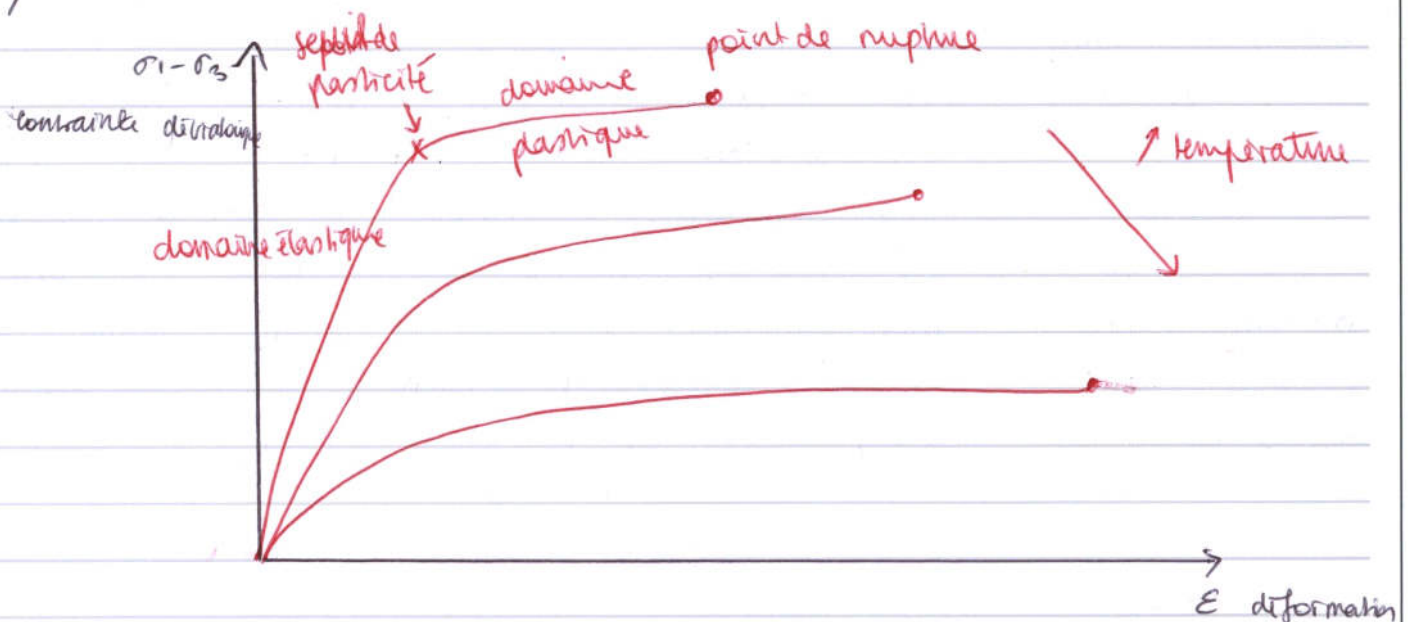


Figure 15: Influence de la température sur la rhéologie d'une péridotite.

Concours section : AGRÉGATION EXTERNE SCIENCES DE LA VIE TERRE
Epreuve matière : Connaissances générales secteur C
N° Anonymat : N250NAT1021774

Nombre de pages : 28

19.96 / 20

Epreuve - Matière : 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.

Ainsi, les modèles numériques nous permettent de ~~mettre en évidence~~
d'émettre l'hypothèse que le géotherme archien avait pour
conséquence que le régime de dissipation de la chaleur
n'était pas une technique des plaques comme on la
connaît actuellement mais une technique des plaques molles

25 / 28

Pour conclure, un ensemble de méthodes indirectes développées par la communauté scientifique nous permettent de déduire l'évolution de la température en fonction de la profondeur dans la Terre (le géotherme) - ~~Il n'existe pas~~ Il n'existe pas un géotherme terrestre mais un géotherme moyen (modèle PREM) qui est variable ~~aux~~ selon le contexte géodynamique en particulier dans les zones tectoniquement actives : aux limites de plaques et au niveau des points chauds - Les variations spatiotemporelles du géotherme sont l'expression de la géodynamique du globe et de son évolution au cours de l'histoire géologique de la Terre. On peut mentionner que d'autres corps célestes ont un gradient thermique interne. Par exemple, le soleil a une température de surface de l'ordre de 5000K et un cœur à 10000K. La nucléosynthèse stellaire, tributaire d'un apport énergétique important est donc plus importante au cœur qu'en périphérie. Les ^{processus internes} ~~dynamiques~~ du corps est encore une fois conditionnée par son gradient thermique -

