

Concours BCPST 2014 Épreuve écrite de sciences de la Terre

-

Rapport du jury

- Armelle Baldeyrou-Bailly, *professeur agrégé, Université de Strasbourg*
- Pierre Barré, *chargé de recherche CNRS, ENS Paris*
- Sylvain Bernard, *chargé de recherche CNRS, Muséum National d'Histoire Naturelle*
- Olivier Dequincey, *professeur agrégé, ENS de Lyon*
- Laurent Remusat, *chargé de recherche CNRS, Muséum National d'Histoire Naturelle*
- Alexandre Schubnel, *chargé de recherche CNRS, ENS Paris (responsable d'épreuve)*
- Gérard Vidal, *maître de conférence, ENS de Lyon*

Remarques générales

Le sujet de cette année traitait du manteau terrestre, en essayant d'aborder des problématiques d'horizons divers, c'est à dire à la fois minéralogiques, géochimiques, géodynamiques et géophysiques. Il s'agissait de faire en sorte que les candidats mobilisent leur réflexion en faisant appel à des pans de savoirs qui étaient aussi bien au programme des Sciences de la Terre que de Physique et de Chimie.

De ce fait, le sujet permettait de traiter les deux grandes parties de manière indépendante et, même s'il était recommandé de le traiter de manière chronologique cela ne devait pas interdire aux candidats de lire d'abord l'ensemble du sujet afin d'avoir une vue d'ensemble, de repérer les parties qui leur paraissaient plus faciles, soit parce qu'elles l'étaient ou parce qu'elles correspondaient à des thématiques qu'ils maîtrisaient mieux. On insiste donc ici à nouveau sur la nécessaire lecture de toutes les questions du sujet, car même si le candidat ne traite pas une question, des informations utiles pour la suite du sujet peuvent être introduites dès l'énoncé. Par ailleurs, le sujet est construit dans une logique de progression, et ainsi, dans une même question, les questions précédentes peuvent aider à traiter les suivantes, et bien souvent vice et versa.

Le sujet était un peu long si bien que la dernière partie (calcul du nombre de Rayleigh du manteau terrestre), bien qu'abordée par presque tous les candidats, a souvent été traitée à la hâte. Néanmoins, les meilleures copies correspondent à des candidats ayant traité tout le sujet, et plus de 75% des questions. L'orthographe, le style et la qualité des figures ont compté sur la note finale (<5%) mais d'une manière générale, les meilleures copies étaient aussi bien souvent les mieux écrites et les plus soignées.

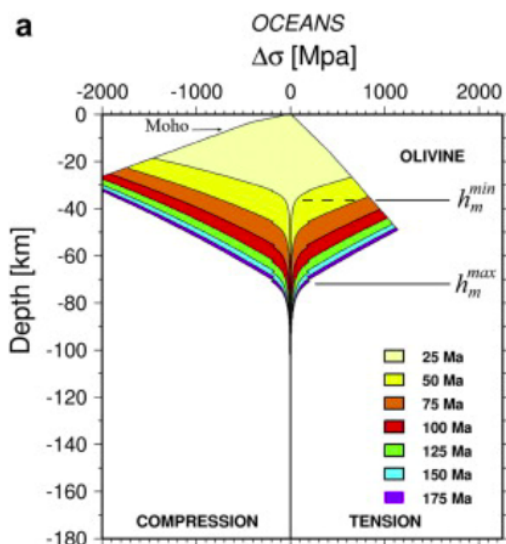
Remarques spécifiques à chacune des deux parties

Partie I – Impact de la minéralogie sur les structures et la dynamique du manteau terrestre

Cette première partie traitait du rôle fondamental joué par l'olivine sur les structures et la dynamique du manteau terrestre.

1.1 Il s'agissait de reconnaître une péridotite, ce qu'a fait l'immense majorité des candidats. En revanche, si une bonne majorité savent que la péridotite est constituée d'une association de pyroxène et d'olivine, rares sont les candidats qui en connaissent les phases accessoires alumineuses (spinelle, feldspath plagioclase, grenat, phlogopite), et aucun n'a pensé à la phase carbonée qu'est le diamant. Le calcul de profondeur, parce que les candidats confondent souvent densité et masse volumique, a généré des erreurs (dans environ 50% des cas), alors qu'il suffirait que le candidat retienne que $1\text{GPa} \approx 30\text{km}$.

1.2 Cette question faisait apparaître la notion d'anisotropie, et le lien entre anisotropie cristalline, mécanique et anisotropie des ondes sismiques. On remarque que la rhéologie de la croûte est toujours aussi mal comprise, et la majorité des candidats représentent dans un schéma contrainte – profondeur appris par cœur qu'ils ne comprennent pas. Or, dans l'idéal, pour la croûte océanique, on s'attendrait au schéma de gauche. En revanche, les candidats ont pour la plupart bien décrit les microstructures et compris que dans le manteau sub-océanique, les cristaux d'olivine



étaient « alignés ». L'extrapolation au mouvement des plaques a été plus difficile, avec l'essentiel des candidats qui donnait un mouvement de la plaque pacifique perpendiculaire à ce qu'il est véritablement (vers le nord-est-sud ouest), c'est à dire perpendiculairement à la direction des vitesses rapides de l'olivine.

1.3 Cette question portait sur la circulation hydrothermale et l'altération de l'olivine en serpentine, la réaction red-ox associée et la production d'hydrogène. Cette question a été une des plus discriminantes du sujet et seuls les meilleurs candidats ont su équilibrer la réaction correctement. En revanche, si la plupart ont compris que l'oxydation du fer permettait la libération d'hydrogène, une poignée de copies seulement a réussi à associer cela aux circulations hydrothermales dans les fumeurs noirs, et à la chaîne spécifique de vie chimio-trophique.

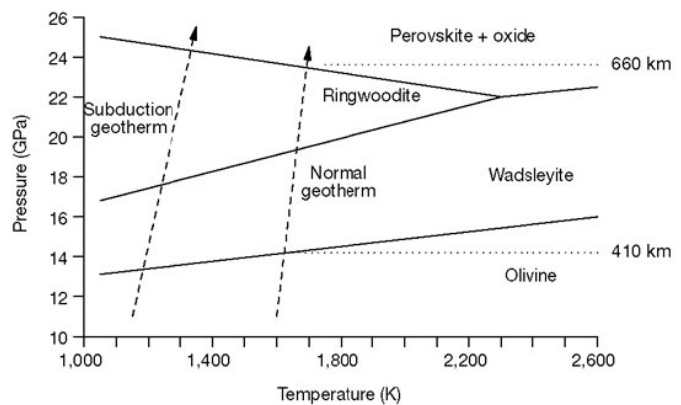
1.4 On remarquera que l'essentiel des candidats savent que les argiles et les micas sont des phyllosilicates, mais de nouveau, seule une poignée de candidats a réussi à équilibrer la réaction. Par ailleurs, le possible lien entre déshydratation de la

serpentine et sismicité profonde, qu'il était possible de faire en remarquant que les séismes semblaient s'aligner le long d'un isotherme qui correspond approximativement à la température de déshydratation, n'a que trop rarement été fait, souvent parce que les candidats se contentent restituer un cours plutôt que d'analyser le document qui leur est présenté.

1.5 Cette question traitait du modèle de vitesse/densité PREM, et tentait de faire comprendre aux candidats comment celui-ci avait été obtenu. L'essentiel des candidats connaissent les formules des vitesses de propagation des ondes de volume, et ont compris que les sauts de vitesse correspondaient aux transformations minérales profondes de l'olivine en wadsleyite puis perovskite (renommée depuis l'été dernier bridgmanite). Que leur augmentation continue correspond à l'augmentation de densité liée à la pression croissante leur a été plus difficile à formuler. Enfin, si l'existence d'une LVZ asthénosphérique est bien assimilée, son origine (température qui localement s'approche de celle du solidus) reste floue.

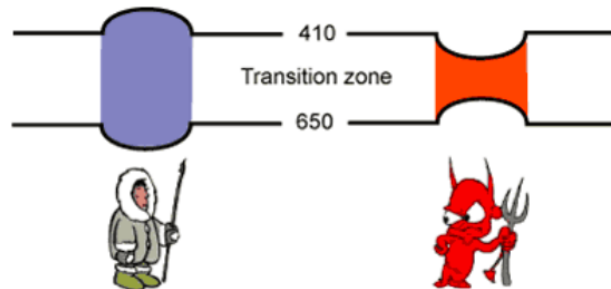
1.6 Comme on pouvait s'y attendre, lorsqu'il s'agit de mobiliser

des connaissances de physique au programme, mais hors programme sciences de la terre, les choses se compliquent. Seules les meilleurs copies ont réussi à produire un diagramme pression-température avec des pentes de Clapeyron et des points d'ancrage en pression (profondeur) et



température correcte comme celui-ci. C'est dommage, car les réponses aux deux questions suivantes, ainsi qu'à la question 1.10, dépendaient d'une réponse correcte à ce stade, ce qui a éminemment favorisé les meilleurs candidats, qui pour l'essentiel, ont été capables de mobiliser leur savoir et leurs connaissances de physique au service de la géophysique.

1.7 Conséquence de la question précédente, cette question a certainement été la plus mal traitée du sujet. Si les candidats savent tous qu'Hawaï est un point chaud, et presque tous que le volcanisme associé est calco-alcalin, le lien entre pente de Clapeyron, topographie des



discontinuités sismiques et anomalie thermique n'a pas été compris, même par les meilleurs candidats. On attendait le schéma suivant, qui découle directement du diagramme PT ci-dessus. Et qui aurait permis aux candidats de discuter la

topographie des transitions et donc la nature de l'anomalie thermique sous Hawaï, le plus célèbre point chaud de la planète.

- 1.8 De nouveau, cette question a été relativement mal traitée, car visiblement, la notion de métastabilité d'une phase pour des raisons cinétiques (ici l'olivine trop froide pour se transformer en wadsleyite) est une notion qui faisait appel à des connaissances de chimie que les candidats, même les meilleurs, n'ont pas su mobiliser. En revanche, nombreux sont ceux qui ont compris le lien potentiel entre les transformations de l'olivine et la sismicité dans la zone de transition du manteau.
- 1.9 Moins d'un candidat sur deux a traité cette question qui impliquait du calcul et visait à faire réfléchir les candidats sur quelques aspects fondamentaux de la mécanique de la source sismique. Trop rares sont les candidats qui savent manipuler les unités à bon escient et donc qui se sont rendus compte que les N.m étaient aussi des Joules. Et donc que la magnitude était une mesure de l'énergie, une notion qui pourtant devrait relever de la culture générale. Enfin, le calcul de la taille de la source sismique impliquait de savoir calculer correctement le module de cisaillement à partir de la figure 5, ce que seuls de rares candidats ont réussi à faire sans se tromper. Au final, il fallait conclure de l'exercice que le glissement de 1m engendré par le séisme, n'avait pu faire fondre au maximum qu'une épaisseur de 10m de péridotite, ce qui est à relativiser au vu des 25000km² de la surface de glissement du séisme. Malheureusement, les erreurs d'unité accumulées par les candidats à chacune des étapes de ce calcul ont le plus souvent donné lieu à des résultats exotiques, qui n'ont que trop rarement été mis à l'épreuve d'un véritable sens physique.
- 1.10 La tomographie sismique reste très mal connue, même si on notera une amélioration au cours des dernières années. On trouve encore trop souvent la restitution de cours théoriques sur la prospection sismique réflexion/réfraction offshore, si bien que pour nombre de candidats les images tomographiques profondes ont été obtenues par des bateaux de prospection sismique. Les anomalies de vitesse sismique des images tomographiques sont souvent interprétées en terme de variations de température directement, en non pas en terme de variation de vitesses par rapport à PREM, puis par extrapolation, de densité et donc de température. Enfin, les deux images tomographiques ont souvent été mal interprétées. En effet, comme la transition olivine gamma -> perovskite (bridgmanite) + magnésowüstite est endothermique, la transition de phase dans le panneau plongeant plus froid doit se faire à une pression plus élevée que dans le manteau environnant. Il y a donc une diminution de l'écart de densité entre panneau plongeant / manteau à 670 km (transition de phase dans le manteau, mais pas dans le panneau plongeant) ce qui tend à augmenter la « flottabilité » du panneau plongeant et entraîne sa stagnation à 670 km, comme démontré par le fait que la subduction américaine plus chaude traverse la limite manteau supérieur - manteau inférieur sans stagner, au contraire de la subduction japonaise.
- 1.11 La structure octaédrique de la perovskite (bridgmanite), minéral pourtant le plus abondant à l'échelle de la planète, est le plus souvent inconnue. La post-perovskite, dont la découverte en 2005 est une révolution récente de la

minéralogie du manteau a souvent été placée à la frontière manteau – noyau, où elle devrait être, mais de temps en temps, et par absence de réflexion, dans le noyau, pourtant ferreux.

- 1.12 Cette question qui récapitulait les résultats obtenus sur les liens potentiels entre sismicité profonde et transitions de phases a constitué un bonus pour les meilleurs candidats arrivés jusque là.

Partie II – La convection mantellique

Nous avons constaté dans cette partie, qui était plus physique et calculatoire, la difficile percolation des connaissances d'une discipline vers l'autre. L'analyse dimensionnelle est un exercice difficile pour la plupart des candidats, car ils maîtrisent mal la dimension des paramètres, même les plus courants comme la masse volumique. Les dimensions de la planète, et notamment la profondeur des discontinuités internes restent trop souvent fantaisistes.

- 2.1 L'analyse dimensionnelle est un exercice difficile pour la plupart des candidats, car ils ne maîtrisent pas la dimension des paramètres même les plus courants comme la masse volumique. La signification physique du nombre de Rayleigh (poussée d'Archimède/forces de frottement visqueuses) n'est quasiment jamais maîtrisée.
- 2.2 La question demandait une intégration simple qui montrait que, si la densité est constante, le moment d'inertie normalisé d'un corps sphérique en rotation est indépendant du rayon et égal à 0,4. Seule la Lune s'approchant de cette valeur, on devait déduire que les planètes telluriques étaient toutes différenciées. Le calcul de la densité moyenne du manteau a généralement laissé place à un nombre trop important d'erreurs de calcul, généralement liées à une mauvaise maîtrise des dimensions utilisées (km au lieu de m, densité au lieu de kg/m^3 , etc.).
- 2.3 Si les candidats ont bien retenu où le flux de chaleur était maximal sur terre (frontières de plaques, volcans), ils semblent avoir oublié où il était minimal, c'est à dire sous les océans et les cratons ou boucliers continentaux. Cette dernière notion est par ailleurs assez mal comprise.
- 2.4 Cette question très calculatoire a généralement été bien réussie par les candidats qui ont décidé d'y répondre. Rares sont ceux qui sont arrivés au bout du calcul cependant, qui montrait que le flux de chaleur a dû être divisé par au moins 2 au cours des 4 derniers milliards d'années.
- 2.5 Cette question, bien que rarement traitée, a été bien comprise par ceux qui en ont eu le temps. La notion de constante de relaxation, ou tangente à l'origine est maîtrisée. Malheureusement, les erreurs de calculs liées encore une fois à une mauvaise utilisation des dimensions (km au lieu de m, densité au lieu de kg/m^3) a empêché l'essentiel des candidats de trouver la bonne valeur pour la viscosité du manteau supérieur, c'est à dire de l'ordre de 10^{19} Pa.s.
- 2.6 Du fait de l'accumulation des erreurs de calculs à presque chacune des étapes

précédentes, il semble qu'aucun candidat ne soit arrivé à une valeur correcte pour le nombre de Rayleigh du manteau, autre qu'une valeur apprise par cœur auparavant. Plus surprenant, la dernière question qui demandait de faire preuve d'esprit critique et de souligner les limites du calcul (choix d'une densité constante pour le manteau; propriétés physiques de l'olivine et pas des phases HP, répartition homogène d'U et de Th, et donc production de chaleur interne répartie de façon homogène; viscosité calculée avec méthode du rebond, donc au mieux pour l'asthénosphère; incertitudes sur la concentration d'U et de Th dans le manteau liées à la méthode de calcul et à la mesure difficile du flux de chaleur en surface, etc.) ne semble avoir motivé que peu de candidats. A leur décharge, bien peu étaient arrivés jusque là.