

Banque BCPST Inter-ENS/ENPC/Mines - Session 2023

Rapport relatif à l'épreuve écrite de Sciences de la Terre

Écoles concernées : ENS de Lyon, ENS Paris, ENS Paris-Saclay, ENPC, École des Mines de Paris

Coefficient de l'épreuve (en % du total d'admission) :

- ENS de Lyon : option sciences de la Terre 13,2 % - option biologie 6,6 %
- ENS Paris : option sciences de la Terre 3,5 % - option biologie 1,4 %
- ENS Paris-Saclay : 3,1 %
- ENPC-Mines : 3,8 %

Membres du jury : Alexandre Aubray, Armelle Baldeyrou-Bailly, Sylvain Bernard, Kristel Chanard, Olivier Dequincey, Stéphanie Durand, Patrick Meunier, Sylvain Michel.

Remarques générales

Le sujet étant un peu plus court que certaines années, un candidat ne pouvait donc pas esquiver les questions sur lesquelles il était moins à l'aise car il devait nécessairement y revenir à la fin pour "gagner des points", contrairement à ce qui peut arriver avec un sujet plus long pour lequel des choix "stratégiques" peuvent être opérés, toutes les questions ne pouvant de toute façon pas être traitées dans les temps impartis. De ce fait, les bonnes copies sont celles pour lesquelles ont été correctement abordées et traitées aussi bien les questions de cours que les parties calculatoires, avec nécessité de savoir s'exprimer à l'écrit et par des schémas, parfois explicitement demandés.

Sur l'ensemble des candidats, toutes les questions ont été abordées et des réponses correctes proposées au moins quelques fois.

Une faible qualité de rédaction a trop souvent été relevée par les correcteurs. Rappelons qu'une bonne syntaxe et une orthographe correcte aident à comprendre le propos et que, dans le doute, un correcteur considère la réponse comme fautive ou pour le moins incomplète (lorsque semble émerger un mot-clé approprié). Les copies bien présentées (titres, couleurs, mise en exergue des points et résultats importants, écriture lisible) sont très rares, les copies lisibles restent heureusement nombreuses, mais on déplore un nombre important de copies peu lisibles du fait souvent cumulatif de la syntaxe approximative, de l'orthographe optionnelle, de la propriété oubliée et, parfois, de la mauvaise maîtrise du sujet traité. Trop de réponses "contradictoires" sont aussi proposées ; ce n'est pas au correcteur de choisir la bonne réponse parmi celles proposées ou de choisir entre le mot-clé proposé et la définition qui ne lui correspond pas, mais c'est au candidat de ne donner que la bonne, ou du moins une seule, réponse. Dans le doute, le correcteur est de toute façon marqué par les mauvaises impressions.

Concernant les parties de cours, nécessitant la rédaction d'une explication, on peut rappeler que, souvent, un bon dessin ou un schéma clair permettent de présenter rapidement la réponse et que, même incomplet, il est plus facile à analyser qu'une page entière de texte embrouillé.

Pour ce qui est des calculs, on trouve encore des erreurs d'unité (pour les formules thermodynamiques on utilise les degrés K et pas °C pour être certain de ne pas se tromper – même si parfois ça marche quand même en gardant des °C, les masses volumiques sont en kg/m³...) et/ou de conversion. Autre bizarrerie, la notation " $\alpha \times 360/2\pi$ " pour "montrer" que " α " est en degrés ! Non ! Les angles sont en radians (on applique alors les formules "classiques") et, une fois le résultat obtenu, on convertit en degrés. Parfois, lorsqu'un résultat numérique est très vraisemblablement faux, le candidat prend le temps de le noter... mais pas de rechercher l'erreur. Heureusement,

certains ont le bon réflexe ; on a alors généralement une partie barrée (plus ou moins proprement) et l'exercice est recommencé et finalement réussi.

Remarques et éléments de réponse, partie par partie

1- Sismicité martienne

Il apparaît que la zone d'ombre reste obscure pour bon nombre de candidats. Cette zone d'ombre est parfois une discontinuité en profondeur « entre le noyau et le manteau », dans laquelle les ondes P ne passent pas ou qui est liquide... Si la zone d'ombre reste le plus souvent localisée à la surface de la Terre, sa définition (absence d'ondes directes) reste souvent floue et des schémas incompréhensibles ou n'illustrant pas le propos sont trop fréquents. Rarement, la nécessité d'une baisse de vitesse est rappelée. En effet, une forte discontinuité avec hausse de vitesse n'entraîne pas de zone d'ombre mais une zone de chevauchement. Les questions suivantes ont perturbé certains candidats mais on trouve généralement des réponses satisfaisantes. Ainsi, la distinction entre une date " t_1 " et une durée " t_1-t_0 " est assez souvent comprise. Pour la suite, on s'intéressait à 2 ondes de surface de même direction mais de sens opposés. Il a été généralement bien compris que l'une avait parcouru αR et l'autre $(2\pi-\alpha)R$. La différence de temps d'arrivée donnait la relation désirée entre temps d'arrivée, rayon, vitesse et distance épacentrale. Après une première application numérique, la troisième onde, ayant fait un tour de Mars en plus par rapport à la première, permettait de déterminer le temps mis par l'onde de surface pour faire un tour de Mars et donc de préciser la vitesse de l'onde de surface puis d'affiner le calcul de la distance épacentrale. Pour ce qui est des événements anthropiques et naturels susceptibles de générer des ondes de surface, la chute accidentelle ou provoquée d'un satellite et celle d'une météorite étaient des exemples attendus. Les propositions d'utilisation de camions vibreurs, de bombes (parfois nucléaires), de forages... ainsi que de séismes de subduction, tectonique des plaques, volcanisme... sont certainement dues à une certaine méconnaissance de la présence humaine limitée sur Mars et de la dynamique martienne en général.

Les trois premières questions sur la profondeur de la limite manteau-noyau ont été généralement réussies, à condition de partir sur un schéma initial "classique" clair (un triangle isocèle dont la hauteur est H). En exprimant simplement les relations distance-durée-vitesse pour les ondes P, S et ScS on obtenait les relations demandées pour arriver aux applications numériques donnant une profondeur H de l'ordre de 1400 km. Après une question de géométrie, il fallait expliquer que les mesures combinées d'une même valeur puis l'accumulation de mesures d'une même valeur recherchée permettaient, ici, une meilleure connaissance du profil de vitesses avec la profondeur. Comme dans le premier exercice, on part d'une vitesse ou d'un profil cohérents puis on affine ensuite. La comparaison des profils de vitesse des ondes P et S sur Terre et sur Mars a souvent été partielle. Certains ont décrit avec détail le profil terrestre sans tenter de retrouver des équivalences avec le profil martien, alors que d'autres se sont limités, pour le profil terrestre, à ce que l'on retrouvait sur le profil martien. La mise en évidence d'un noyau au moins partiellement liquide sur Mars a été bien repérée, mais le doute sur le passage d'un manteau à olivine à un manteau à bridgmanite a beaucoup moins été relevé. Par la suite, le calcul de la pression à la base des manteaux terrestres et martiens n'était possible qu'en déterminant la valeur de g sur Mars... Sinon, on obtenait une pression martienne largement suffisante alors qu'on n'a, avec les calculs demandés, que 20 GPa à la base du manteau martien contre 30 GPa à la base du manteau supérieur terrestre.

Quelques candidats ont bien expliqué que la perte de chaleur dépendait du rapport surface / volume, et que pour deux corps de composition équivalente et donc montrant a priori des productions de chaleur volumiques équivalentes, le corps le plus petit se refroidissait plus vite. Les questions sur les températures à la limite noyau-manteau ou au centre de Mars n'étaient que des exercices de lecture de courbe et de raisonnement simple, à condition, pour la première, d'avoir

déterminé correctement la pression à la base du manteau martien. Pour ce qui est du calcul des masses volumiques des noyaux, si le mode de calcul général a souvent été facilement trouvé (on a la masse de la planète à laquelle on retranche la masse du manteau dont on connaît la masse volumique, on obtient facilement la masse du noyau dont on connaît ou détermine le rayon...), la mise en application a perdu de trop nombreux candidats. Une erreur fréquente fut de prendre la profondeur du sommet du noyau pour le rayon du noyau ou pour le "rayon du manteau"... d'où des déterminations erronées des volumes du manteau et du noyau. La plus faible densité du noyau martien pouvait alors faire penser à une plus grande présence d'éléments légers par rapport au noyau terrestre. Ces éléments légers étant aussi plus "fusibles", on pouvait alors proposer que le noyau martien a une température de fusion plus faible, ce qui diminue les températures déterminées auparavant.

2- Aux limites des plaques

Cette partie basée sur un extrait de carte géologique du monde testait les connaissances basiques de lecture de carte et de géographie très générale, même si la question plus "pointue" sur l'astroblème de Chicxulub n'a eu que peu de réponses correctes (même si les simples évocation de "météorite" et de fin des dinosaures ou de 66 Ma suffisaient). Un peu moins d'un quart des candidats a pu donner au moins 5 noms de plaques corrects sur les 7 demandés... et un sur cinq n'a même pas essayé de répondre à cette question. Si certaines plaques n'étaient pas attendues dans cette partie du monde (Philippines, australienne, apulienne, eurasiennne...), d'autres propositions ont surpris (Yucatan, mexicaine, hawaïenne, atlantique, indo-pacifique, Cordillère des Andes...). L'étude rapide de la plaque caraïbe a souvent permis de parler de volcanisme, même s'il fut parfois associé au « point chaud des Antilles ». Cette partie a, de fait, été assez discriminante.

3- Ça pousse et ça casse

Le lien entre contraintes et déformations n'a pas soulevé d'enthousiasme particulier. Des cartes et schémas de piètre qualité ont souvent été proposés. Une carte avec un trait simple indiquant un chevauchement sans que celui-ci ne soit "visible" autrement, ou des coupes proposant la simple topographie comme illustration de la déformation évoquée ont été trop nombreux. Heureusement des schémas bien orientés, propres, montrant des décalages ou des déformations... ont rapporté les points mérités pour cette partie pour laquelle la rigueur et la lisibilité étaient attendues et nécessaires.

4- Eau et magmatisme

La mise en place des basaltes en coussins reste un concept vague pour beaucoup. Cela se retrouve dans les schémas proposés dans lesquels on trouve rarement la face "bombée" vers le haut, les pédoncules vers le bas et le sens d'écoulement "perpendiculaire à la coupe". Une dorsale indienne proche de La Réunion est parfois inventée pour expliquer les coussins sur les plages. Il s'agissait simplement de rappeler que cette "forme" s'obtient dès lors que de la lave fluide est rapidement refroidie par de l'eau, que ce soit au fond d'un océan, dans un lac, ou, ici, lors de l'arrivée d'une coulée aérienne sur une plage de l'île de La Réunion.

Le calcul du volume occupé par le litre d'eau initialement liquide à 10°C porté à 900°C demandait l'utilisation de la simple relation " $P.V = n.R.T$ " en considérant la vapeur d'eau comme un gaz parfait. Il fallait de toute façon calculer le nombre "n" de moles d'eau dans un litre d'eau liquide. Ensuite, soit on connaissait la valeur de "R" et on appliquait la formule à P et T données, soit on connaissait le volume molaire d'un gaz parfait à pression et température ambiante (22,4 L/mol) et on passait par une étape virtuelle dans ces conditions. Une erreur d'énoncé indiquait une valeur de pression ambiante de 1 kbar au lieu de 1 bar. Le barème a tenu compte de cela et a été adapté afin d'accorder un bonus aux quelques candidats qui ont corrigé (ou simplement pris en compte l'expression "pression ambiante"). Quel que soit le mode de calcul on trouvait un volume

de l'ordre de 5 000 L (ou 5 L en utilisant la valeur erronée de P de l'énoncé). Une eau "emprisonnée" et chauffée dans de telles conditions voyait donc sa pression augmenter, ce qui pouvait aboutir à du phréatomagmatisme. Au fond des océans, le volume de laves émises à un moment donné est négligeable face au volume d'eau pour la refroidir. Sans invoquer l'eau supercritique, ce simple fait explique la non-expansion volumique de l'eau au contact de la lave.

La comparaison du volcanisme des Antilles (reconnu dans la deuxième partie) / volcanisme des Andes centrales devait, comme le demandaient les consignes commencer par une description de leurs caractéristiques avant de donner des explications générales (subduction) et de discuter les différences (domaine océanique / continental). On attendait un semblant de démarche observations – caractéristiques particulières – modèle explicatif. Il était beaucoup moins "payant" de réciter une leçon illustrée par ces exemples. Antilles et Andes ont bizarrement très souvent été considérées comme des exemples d'activité de points chauds, parfois de points chauds en contexte de convergence...