

Rapport de l'épreuve écrite de sciences de la Terre

Écoles : ENS de Cachan, Lyon et Paris, ENPC

Coefficients :

- Cachan : 2 (total concours 63)
- Lyon : option Bio 4, option ST 8 (total concours 58,5)
- Paris : option Bio 2, option ST 5 (total concours 142)
- ENPC : 3 (total concours 80)

Membres du jury :

- Pierre Barré, chargé de recherche CNRS, ENS Paris
 - Sylvain Bernard, chargé de recherche CNRS, MNHN
 - Olivier Dequincey, professeur agrégé, ENS de Lyon
 - Cyril Langlois, professeur agrégé, ENS de Lyon (responsable d'épreuve)
 - Laurent Remusat, chargé de recherche CNRS, MNHN
 - Gérard Vidal, maître de conférence, ENS de Lyon
-

1 Remarques générales sur le sujet

Le sujet 2013 comprenait deux parties relatives à deux objets géologiques de la Sibérie russe, le lac Baïkal et la province magmatique géante (traps) de Sibérie. Ces deux régions permettaient d'aborder des domaines variés de la géologie (de l'hydrologie au magmatisme) en faisant appel à des notions du programme de géologie et de physique-chimie.

Les deux parties du sujet pouvaient être traitées indépendamment et chacune comprenait des questions nettement liées aux éléments du programme BCPST et d'autres qui demandaient aux étudiants un peu plus de réflexion et d'analyse.

Il est, par conséquent, très regrettable que la majorité des étudiants n'aient pas pris le temps de parcourir l'ensemble du sujet avant de commencer à répondre :

- non seulement n'ont-ils pas pris conscience de sa longueur, qui imposait des réponses courtes et précises ;
- mais encore la plupart n'ont-ils pas vu que la seconde partie comportait plusieurs questions « de cours », ou portant sur des notions classiques (formation des magmas, radiochronologie, cycle du carbone), grâce auxquelles ils auraient pu engranger des points. Les meilleures copies sont celles des quelques-un(e)s qui ont saisi cette opportunité.

Le jury déplore par ailleurs le manque, tout à la fois, de recul, de bon sens et simplement de culture des étudiants. Beaucoup de réponses s'apparentent à une réaction pavlovienne de « déballage » de connaissances correspondant à une notion-clé identifiée (parfois à tort...) dans la question. Ces connaissances — parfois inexactes ou approximatives — sont alors plaquées sur la situation examinée, sans souci de leur pertinence ni de leur cohérence avec les informations apportées par l'énoncé, parfois même en contradiction flagrante avec elles. Le manque de réalisme et de culture géographique transparaissait, par exemple, dans la supposée « proximité » du Baïkal et de l'Himalaya... une « proximité » de 3000 km, soit la distance qui sépare Lisbonne de Saint-Pétersbourg !

Enfin, si la plupart des copies était lisibles et assez correctement présentées, très peu montraient une orthographe correcte et beaucoup souffraient également d'erreurs de grammaire ou de syntaxe. Les noms propres d'Alexis Clairaut ou de Pierre Bouguer, par exemple, ont ainsi reçu des graphies fort diverses ; certaines erreurs de vocabulaire re-

viennent fréquemment (« glacière » pour « glaciaire », « fusionner » pour « fondre »...). Par ailleurs, ce sujet comportant de nombreuses questions, gagner des points nécessitait de répondre au maximum de questions par des réponses claires, précises et concises. Réciter ses connaissances ou s'appesantir inutilement sur ses réponses n'apportaient rien.

2 Remarques spécifiques à chaque partie

2.1 Première partie : hydrologie, tectonique et sédimentation du lac Baïkal

Cette première partie, la plus longue, associait des questions classiques (flux de chaleur, nature et vitesse des ondes sismiques, notations des valeurs isotopiques de l'oxygène) à quelques notions moins familières aux étudiants (dynamique hydrologique d'un lac, marqueurs paléoclimatiques en domaine continental). La dynamique saisonnière du Baïkal était esquissée dans les premières questions à l'aide d'une réflexion sur l'évolution de la densité des eaux superficielles avec la température. Le jury s'étonne de constater que la résolution d'une équation polynomiale de degré deux pose encore assez de difficultés à certains candidats pour qu'ils aient besoin d'une résolution « à la calculatrice » (sic!). Cette première question ne demandait qu'une réponse concise ; il est regrettable que certains candidats aient cru nécessaire de proposer une analyse mathématique exhaustive, comme celle attendue pour une épreuve de mathématiques pures, perdant ainsi inutilement un temps précieux. Il est encore plus déplorable que certains candidats, une fois obtenues les valeurs numériques attendues — 3,9 et 105, correspondant aux températures des maximum et minimum de densité de l'eau liquide — n'aient pas été capables d'en conclure qu'ils s'agissaient de valeurs en °C et non en kelvins ! Pire, certains n'ont pas hésité à proposer de « privilégier la valeur de 105 K » (soit -168 °C), jugée plus « réaliste » que l'autre. . .

Cette absence de réflexion se répercute sur les questions suivantes, en particulier quand les candidats n'ont pas compris que les raisonnements attendus devaient exploiter le résultat précédent, à savoir que le maximum de densité de l'eau apparaît à 4 °C et que les eaux de surface peuvent ainsi, à l'automne et au printemps, se retrouver plus chaudes et pourtant plus denses que les eaux inférieures. Pour nombre de candidats, l'idée même que la relation densité-température de l'eau ne soit pas linéaire (plus froid = plus dense) n'est même pas envisagée, comme si l'énoncé de la première question n'existait simplement pas. . .

Si les questions qui faisaient appels aux notions de bilan massique et de temps de résidence ont été assez bien traitées, la notation δ des valeurs isotopiques, la manipulation des valeurs isotopiques exprimées ainsi, les notions de bilan isotopique et de fractionnement isotopique liquide/vapeur restent, par contre, bien mal maîtrisées.

De manière générale, les candidats ont répondu aux questions portant directement sur des points de cours de SVT ou de physique : loi de Fourier, nature des ondes sismiques et expressions de leurs vitesses, formulation du $\delta^{18}\text{O}$. Mais beaucoup de réponses sont incomplètes (nom et nature des standards isotopiques, noms des coefficients des vitesses sismiques), imprécises (peu d'étudiants remarquent que des $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ équivalent à des pascals, beaucoup ne font aucune distinction entre sismique-réflexion et sismique-réfraction, quand ils ne confondent pas ces techniques avec celle de la tomographie sismique) ou mal exploitées numériquement (des candidats trop soucieux d'employer des K plutôt que des °C dans leurs formules oublient qu'un écart de température ne dépend pas de l'unité choisie. . . et ajoutent inconsidérément des 273,15 là où il n'en faut pas !). De même, si l'explication théorique des anomalies gravimétriques est souvent correcte, l'interprétation des cartes d'anomalies proposées sur ce cas concret du Baïkal est généralement insuffisante.

Les réponses apportées aux questions portant sur la tectonique du lac illustrent clairement le comportement, mentionné plus haut, d'application irréfléchie d'un modèle connu : les structures triangulaires créés par l'érosion des rivières entaillant un miroir

de faille normale active, en bordure du lac, sont interprétées comme les blocs basculés d'un modèle préconçu de rift. Les schémas réalisés reprennent donc ce modèle classique, aux blocs basculés symétriques de part et d'autre de la zone d'amincissement maximal supposée correspondre au lac, sans que les candidats ne s'avisent que cette interprétation implique une orientation du Baïkal exactement perpendiculaire à sa disposition réelle ! L'incohérence entre ce modèle d'étirement à l'échelle de la croûte entière et l'échelle horizontale du cliché proposé n'est pas envisagée non plus.

En conséquence, et même si l'interprétation théorique des « ballons de plage » représentant les mécanismes au foyer des séismes est, le plus souvent, correcte, la situation tectonique du Baïkal, celle d'un bassin en pull-apart, n'est pas comprise, l'erreur effectuée aux questions précédentes conduisant à une mauvaise interprétation de l'orientation des failles décrochantes.

Cette même utilisation simpliste d'un cas déjà vu à la place d'une réflexion fondée sur les données de l'énoncé explique aussi que nombre d'étudiants aient interprété le profil sismique du lac en y inventant une succession de sédiments anté-, syn- et post-rift caractéristiques des marges passives, alors même que l'énoncé leur montrait clairement que le Baïkal est une structure active, donc forcément dépourvu de sédimentation post-rift (et par ailleurs rempli d'eau douce, non d'eau de mer...). Ce qui explique aussi l'attribution des différentes phases de sédimentation à d'hypothétiques changements climatiques lointains (glaciations) ou à des variations de niveau du lac sur le modèle des changements de niveau marin plutôt qu'à l'activité tectonique de la région étudiée dans les questions précédentes.

La dernière section de cette partie, portant sur la sédimentation biogène du lac et ses capacités d'enregistrements d'un signal paléoclimatique, a été la moins comprise. Nombre d'étudiants, là encore, calquent leurs vagues connaissances de l'enregistrement paléoclimatique par les microfossiles calcaires des sédiments marins sur celui d'un lac d'eau douce à sédimentation détritique et siliceuse, et cherchent des explications dans leur connaissances préétablies plutôt que dans une analyse raisonnée des documents.

2.2 Seconde partie : magmatisme des environs du Baïkal et de Sibérie septentrionale

Cette partie se concentrait sur des processus géodynamiques internes, pour terminer sur leurs possibles conséquences sur les enveloppes externes. Elle commençait par des questions portant directement sur une notion supposée connue des candidats, la différenciation des roches magmatiques. Si beaucoup de copies citaient la cristallisation fractionnée et les contaminations du magma comme causes possibles de la diversité des concentrations en éléments alcalins et en silice des laves, trop peu mentionnaient le taux de fusion partielle, pourtant premier responsable de la différenciation chimique du magma par rapport à sa roche-mère. Les réponses apportées montrent que la notion d'élément compatible ou incompatible reste mal maîtrisée. On rappelle aussi qu'écrire que « la silice est incompatible » est à bannir, d'abord parce que cette phrase trahit une confusion entre un élément (le silicium) et un oxyde (la silice), ensuite parce que le silicium ne peut être considéré comme compatible ou incompatible vis-à-vis d'une phase silicatée ! Cette expression équivaut à écrire que l'oxygène de la molécule d'eau est incompatible dans la glace.

Une majorité de candidat ne conçoit un magma que comme un liquide, qui plus est, parfois, forcément issu de la fusion d'une roche mantellique (ce qui exclut tous les magmas de fusion crustale, pourtant omniprésents dans toutes les chaînes de montagnes). Fort peu ont conscience de la nature pluriphasée d'un magma (liquide + cristaux en cours de croissance + gaz plus ou moins dissous), même s'ils ont évoqué juste avant le processus de cristallisation fractionnée. Pour cette même raison, les réponses à la question qui envisageait l'évolution d'un magma carbonaté par enrichissement en silice étaient elle aussi, la plupart du temps, erronées. Les candidats qui ont répondu ont compris que la remontée du magma s'accompagnait d'un dégazage de dioxyde de carbone, mais ils en ont déduit que le magma voyait sa viscosité augmenter et donc sa vitesse diminuer, alors

que seule la viscosité de la phase liquide augmente, tandis que le gaz s'en sépare pour former des bulles, emprisonnées dans le liquide visqueux : le magma, auparavant fluide et porteur de gaz dissous, devient une mousse, dont le mouvement s'accélère sous l'effet de l'expansion du gaz.

La question portant sur la reconnaissance de minéraux vus en lame mince n'a reçu que des réponses au mieux incomplètes (l'orthopyroxène, dont le document montrait pourtant clairement l'extinction droite en lumière polarisée analysée, n'a pas été identifié), au pire complètement fantaisistes (olivine, pyroxène et grenat devenant quartz, feldspath ou micas, ce qui n'empêche pas pour autant d'écrire à la ligne suivante que la roche est un basalte. . .).

Sur les quelques étudiants qui ont abordé la question portant sur la datation des diamants amenés en surface par le volcanisme, bien peu ont su donner correctement ne serait-ce que l'équation de base de la désintégration d'un isotope radioactif ; quelques-uns seulement ont proposé une équation pour la datation, malheureusement souvent erronée.

Les dernières questions concernaient l'impact de l'éruption des traps de Sibérie sur l'atmosphère, entre autres sur la concentration de dioxyde de carbone atmosphérique. Alors que le cycle du carbone constitue explicitement l'une des sections du programme BCPST, quasiment aucun candidats n'a su proposer un cycle du carbone valide, comprenant les principaux réservoirs géologiques du carbone et, au minimum, les ordres de grandeur de ces réservoirs et des flux qui les relie. Le réservoir mantellique est systématiquement oublié, les grandeurs des réservoirs ne sont pas connues. Probablement par manque d'attention, les étudiants qui, ensuite, ont effectué l'estimation des quantités de CO_2 libérées par l'éruption des traps de Sibérie n'ont pour la plupart pas remarqué qu'on leur demandait d'en déduire le flux de carbone correspondant, et non le flux de CO_2 . Très peu, enfin, ont atteint la dernière question. Ceux qui l'ont fait ont, une fois encore, surtout utilisé leurs connaissances et proposé un accroissement de l'effet de serre sous l'influence du CO_2 , alors que l'exploitation des documents fournis leur aurait permis d'envisager, en plus, les possibles effets d'une libération de composés halogénés et soufrés.