

Rapport sur l'épreuve orale de Sciences de la Terre – Ulm

École concernée : ENS (Paris)

Coefficients (en pourcentage du total d'admission) :

Option Biologie : 8,5%

Option Sciences de la Terre : 14,1%

4 Membres du Jury :

Hélène Balcone-Boissard (Maîtresse de Conférences, Sorbonne Univ.)

Romain Jolivet (Professeur des Universités, ENS)

Loïc Labrousse (Professeur des Universités, Sorbonne Univ.)

Marion Thomas (Chargée de Recherche CNRS, Sorbonne Univ.)

Description de l'épreuve :

Le format général de cette épreuve a été conservé par rapport aux années précédentes et les paragraphes qui suivent sont, pour la majeure partie, une redite des rapports de jury des années précédentes. L'épreuve est gérée en simultanée par deux interrogateurs. Nous accueillons le·a candidat·e et proposons de tirer au hasard un sujet parmi les 29 disponibles cette année. Ce tirage au sort se fait à l'aveugle par le choix d'un chiffre aléatoire par le ou la candidate ; le numéro attribué au sujet étant régulièrement remis à jour. Nous rappelons au candidat le déroulé de l'épreuve. Le·a candidat·e prépare pendant 30 minutes un exposé oral prévu pour durer moins de 10 minutes. Le sujet proposé est systématiquement accompagné de documents reliés au sujet, présentés sous forme numérique sur un écran mis à disposition des candidats. Les candidats peuvent choisir d'inclure ces documents dans l'exposé mais ces documents seront discutés dans tous les cas. La phase d'entretien, exposé compris, dure 15 minutes. Les examinateurs posent des questions en lien avec le sujet et les documents.

Nous passons ensuite à l'analyse d'une carte de nature variée pendant 15 minutes. La carte peut être en lien avec l'exposé précédent mais ce n'est pas nécessairement le cas. Il est demandé de choisir des points caractéristiques de cette carte pour engager une discussion sur le document, aussi bien du point de vue de sa construction que de ce que nous pouvons apprendre sur les processus tectoniques, volcaniques, magmatiques, sédimentaires mis en jeu ou en lien avec les enveloppes externes ainsi que les activités humaines. Enfin, nous procédons à l'analyse d'échantillons pendant 15 minutes. Nous choisissons des échantillons et le·a candidat·e procède à l'analyse morphologique et minéralogique de ces échantillons afin de discuter de leur formation, mise en place et potentiellement de l'histoire géologique et d'autres informations que l'on peut en tirer.

La particularité de cette année tenait à l'évolution du programme de la classe de BCPST. L'entrée des thématiques liées aux sols, des cycles bio-géochimiques et un accent plus prononcé mis sur le fonctionnement de l'atmosphère et de l'océan nous ont conduit à ajouter de nouveaux sujets à la liste existante qui a été (très) légèrement remaniée par rapport à l'année passée. Les documents cartographiques proposés ont aussi évolué avec l'entrée en jeu de documents sur la couleur de

l'eau, sur le bilan radiatif ou encore sur la teneur en matière organique des sols à l'échelle de la France métropolitaine et du monde.

Les sujets proposés cette année étaient (sans ordre particulier) :

- Entre noyau et croûte, le manteau
- Une planète du noyau à l'espace
- Les climats de la Terre
- Les chaînes de montagne
- Les Volcans
- La lithosphère : cassante ou ductile ?
- Les manifestations volcaniques
- La chimie de la Terre
- Les cycles du Carbone
- L'Homme dans son environnement
- Les séismes
- Les chimies des magmas
- Les enjeux de la gestion des sols
- La Terre, une planète dynamique
- Volcanismes
- Lithosphères
- Les subductions
- L'Océan Indien
- Les ressources minérales
- Des paysages dynamiques
- Des sols dynamiques
- Le Pacifique
- Géologie et Géochronologie
- De l'eau et des planètes
- Des aléas et des Hommes
- La Terre, machine thermique
- Les magmas
- Les cycles du carbone et de l'azote
- Les volcans et le climat

Il est important de se rappeler que lors du traitement du sujet, nous demandons aux candidats de faire appel à toutes leurs connaissances, aussi bien celles acquises lors des cours de Sciences de la Terre et de Bio-géosciences, mais aussi de biologie. Il est aussi utile de rappeler aux candidates et candidats que, lors de la discussion, nous sommes souvent amenés à traiter de notions du programme de Physique, de Chimie, voire de Mathématiques. Les sciences de la Terre, depuis le noyau jusqu'à la ionosphère, ne sauraient se passer de ces thématiques.

L'objectif de l'épreuve est triple. Tout d'abord, nous testons évidemment les connaissances issues du programme de BCPST. Il est important de noter encore une fois que, en plus des connaissances du programme de Sciences de la Terre, il est possible que nous demandions de mobiliser des connaissances liées aux programmes de physique, de chimie ou de biologie si le sujet s'y prête. De plus, nous jugeons de la capacité des candidates et candidats à construire une réflexion sur des grandes questions scientifiques en lien avec la physique et la chimie de la planète. Nous essayons enfin de juger une capacité à la démarche scientifique. Cette capacité, reliée à une ouverture d'esprit et la curiosité des candidates et candidats, est fondamentale et permet de distinguer les candidats ayant de bonnes notes de ceux ayant les meilleures notes.

Nous attendons de la part des candidats qu'ils dégagent notamment une problématique lors de l'exposé sur le sujet proposé. Cette grande question devra guider la présentation, constituer un fil rouge qui permettra de donner une cohérence à l'exposé. Il est important de différencier une thématique donnée par le sujet d'une problématique construite par le candidat. À partir du moment où une problématique est dégagée, des choix devront être opérés pour construire l'exposé. Une certaine exhaustivité est attendue mais il vaut mieux privilégier la logique de la discussion à une énumération de toutes les connaissances liées de près ou de loin à la thématique générale. La présentation pourra être organisée avec un plan mais ce n'est pas impératif, et selon l'angle proposé le nombre de parties pourra varier. Il est notamment très important de traiter le sujet proposé et non pas de considérer celui-ci comme un prétexte pour dérouler tout un tas de connaissances en lien avec le sujet. Il en est de même en ce qui concerne la discussion pendant laquelle nous tentons de faire réfléchir le candidat.e. L'objectif n'est pas de ressortir toutes les connaissances vaguement en lien avec la question mais de tenter d'y apporter des éléments de réponse qui peuvent

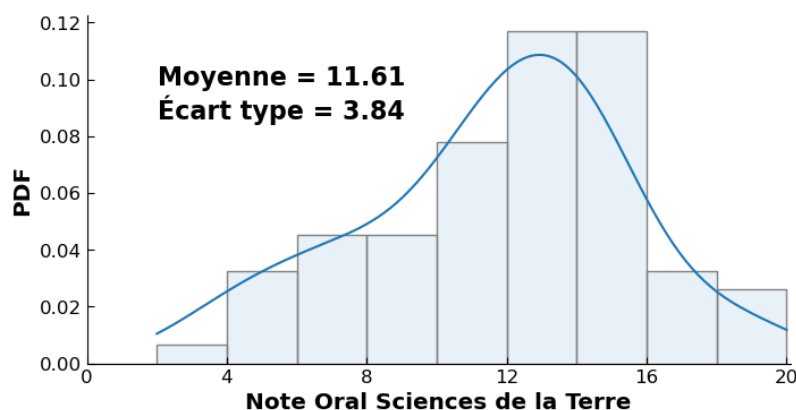
être situés dans différentes parties du programme ainsi que dans les autres matières abordées en BCPST.

Les illustrations réalisées au tableau viennent en support de la discussion et, tout comme le plan, doivent aider à porter le message. Encore une fois, un certain niveau de détail des schémas est attendu, mais seules les informations servant de support à l'argumentation sont nécessaires (i.e. lorsque le sujet porte sur les chaînes de montagne, le détail de toute la chimie de l'évolution des magmas dans le schéma d'une dorsale est hors-sujet). Les schémas doivent être clairs et un soin doit être apporté à leur réalisation, tout autant qu'à l'orthographe, pour la simple raison que les interrogateurs sont placés à quelques mètres du tableau et, malheureusement, ceux-ci ont tendance à voir leur vue décliner avec le temps.

Les cartes et les échantillons sont souvent des documents assez originaux et il est fort probable que ceux-ci n'aient jamais été vus par les candidats (tout en restant dans la limite des concepts traités dans le cadre du programme). Il est donc important de ne pas être déstabilisé par un objet inconnu (i.e. s'il est inconnu pour vous, il l'est tout autant pour tous les autres candidats, soyez en certains). Nous cherchons à tester les capacités de lecture et d'analyse des cartes et échantillons ainsi que la réflexion sur des thématiques nouvelles. Nous nous attendons aussi à ce que les candidats soient moteurs dans la discussion et n'attendent pas passivement les questions des interrogateurs. Les interrogateurs orientent la discussion et l'initiative doit venir des candidats, en particulier sur l'analyse de la carte proposée.

Bilan de la session 2023:

Encore une fois cette année, nous tenons à remercier et féliciter toutes les candidates et tous les candidats pour leur sérieux, leur implication et la qualité générale des auditions. Tous ont su montrer l'étendue de leur savoir et, clairement, la différence entre les notes ne s'est pas faite sur des points de connaissance. Les notes sont distribuées entre 2/20 et 20/20 pour une moyenne de 11.61/20 et un écart type de 3.84, comparables à l'épreuve de biologie.



Le comportement des candidates et candidats face à nos questions a été exemplaire. Le jury a beaucoup apprécié notamment la vivacité et le naturel de certaines candidates et certains candidats qui, malgré l'enjeu et le stress probable, avaient (presque) l'air de passer un bon moment (et du coup, nous aussi). Contrairement à l'année précédente, où nous avons noté certains

comportements totalement inacceptables à ce stade du concours (agacement palpable voire énervement de certains candidats), toutes et tous ont été cordiaux et sympathiques et cette séance d'interrogation fut assez agréable pour le jury.

Le jury a été très agréablement surpris de voir que les candidates et candidats, et donc *a fortiori* les enseignants aussi, se sont très bien emparés des nouveautés du programme. Nous ne doutions pas une seconde de l'engagement des enseignants de classe préparatoire, mais certaines thématiques nouvelles auraient pu présenter quelques difficultés. Il n'en est rien ! Les thématiques liées au changement climatique ainsi qu'aux cycles bio-géochimiques ou encore à la dynamique des sols ont été très bien traités par la grande majorité des candidats. Ces sujets sont fondamentaux pour comprendre le monde d'aujourd'hui ainsi que les thématiques scientifiques actuelles et nous sommes ravis que les futures générations passées par la classe préparatoire BCPST soient imprégnées de ces thématiques ô combien importantes pour l'avenir de l'humanité.

Quelques points particuliers :

Certains des points ci-dessous sont des copiés-collés de rapport précédents (comme celui que vous êtes en train de lire par exemple). Il est probablement incongru d'écrire ceci dans un rapport de jury de concours que vous êtes en train de lire, mais il est très important, au vu des précédents rapports, que les candidats lisent les rapports de jury de concours. Si vous avez lu jusqu'ici, continuez !

- Il est très important de prendre connaissance du sujet avant de se lancer. Ceci peut paraître évident, mais il apparaît que certains candidats choisissent de traiter un sujet autre que celui proposé. Par exemple, lorsque nous proposons « Volcanismes », le sujet n'est pas « Les magmas » et devra être traité différemment. Notamment, nous nous attendons à ce que les candidats questionnent le sujet. Dans le cas précédemment cité, il peut être pertinent d'orienter toute la discussion vers le fait que le terme « Volcanismes » soit mis au pluriel, afin de pousser les candidats à une comparaison des différents types de volcanismes et, surtout, des raisons sous-jacentes. Chaque présentation doit donc suivre un fil directeur guidé par une problématique. Nous rappelons aussi que le thème, même sous forme de question (« Qu'est ce qu'un volcan ? »), est différent d'une problématique (« Pourquoi observe-t-on tant de volcans différents à la surface de la Terre ? ») qui sera généralement construite à partir de l'intitulé du sujet. Enfin, il n'est pas forcément nécessaire de lister toutes ses connaissances sur un sujet, chose qui amène régulièrement à un exposé décousu, sous forme de catalogue et parfois hors sujet. Un exposé logique suivant un fil directeur sera bien plus apprécié.

- Une manière simple et généralement efficace de dégager une problématique est de débiter par des observations. Les sciences de la Terre sont, par essence, une science naturaliste dans laquelle l'observation joue un rôle central. Même les domaines les plus liés à la physique ou à la chimie des processus comme l'étude du noyau ou la modélisation des climats passés et futurs existent parce que nous avons observé le monde qui nous entoure et afin de l'expliquer. Il est donc fortement conseillé de débiter son exposé par une description de données collectées dans le milieu naturel, qu'il s'agisse de paysages, de roches, de mesures de laboratoire ou de cartes. Nous avons encore une fois fortement pénalisé les exposés débutant par une description des phénomènes et mécanismes et finissant par décrire et expliquer les données. Le cas typique de sujet mal traité concerne les sujets sur le magmatisme où le·a candidat·e débute par nous expliquer la fusion

partielle, puis la remontée du magma pour finir par les roches observées en surface. Ce type de sujet devrait commencer par l'observation de roches en surface et de leur chimie pour problématiser ces observations et en déduire la nature des mécanismes possibles en profondeur pour finir sur les conséquences géodynamiques de ces processus.

Certaines observations bien choisies permettent de mettre en évidence la physique d'un phénomène sous-jacent. Par exemple : « Un séisme correspond à un rebond élastique en réponse à un chargement tectonique sur le temps long donc la croûte terrestre est élastique. Il n'y a pas de séismes dans le manteau (ou peu) donc celui-ci n'est pas élastique (avec confirmation des expériences de presse tri-axiale). Cependant les ondes traversent la Terre donc la Terre doit être élastique. La différence entre les deux observations (chargement tectonique et ondes sismiques) concerne avant tout la durée des processus et donc la rhéologie dépend des vitesses des processus et donc du taux de déformation. » Même si cet exemple va plus loin que le programme, il illustre une façon de mener une discussion en questionnant en permanence le sujet à partir d'observations de façon à identifier des processus. Ce type d'exposé nécessite beaucoup de recul de la part des candidates et candidats mais reflète une approche scientifique que nous recherchons particulièrement.

- La manière de répondre aux questions des interrogateurs est un point sur lequel certains candidats auraient quelques progrès à faire. Certains candidats, alors qu'ils semblent coincés par certaines questions, sont inarrêtables lorsque nous avons trouvé le tiroir où se trouvent les connaissances en lien avec la question. Il vaut mieux prendre quelques secondes pour élaborer une réponse concise plutôt que de déverser toute l'étendue des concepts appris au cours des deux dernières années.

- Au vu des évolutions du programme de BCPST, nous avons constaté une aisance légèrement en retrait au sujet de l'analyse des échantillons de roche. Le temps dévolu à cet exercice lors des 2 années de BCPST ayant diminué, il est normal de voir que les réflexes des candidates et candidats soient moins affûtés. Nous notons qu'il en est de même en ce qui concerne les réflexes de cartographie.

- Il est important que les candidats soient capables d'expliquer les termes parfois employés. Même si cela flirte avec les limites du programme, il n'est pas possible de parler d'onde lorsque l'on mentionne les techniques géodésiques (GNSS et InSAR, par exemple) et de ne pas connaître la nature de ces ondes, notamment par rapport aux ondes mécaniques. Nous ne demandons pas aux candidats d'être capable de réciter toute un chapitre sur les équations de Maxwell, mais savoir qu'il s'agit d'ondes électromagnétiques, tout comme la lumière, est important. Il en est de même pour la *force* de Coriolis. Même si son explication n'est pas au programme, savoir que cette *force* provient de la décomposition de la vitesse d'un corps à la surface d'un objet en rotation et de l'application du principe d'inertie serait utile. Il est étrange de noter que ce concept n'est pas vu en physique alors qu'il pourrait être une application interdisciplinaire et intéressante du principe d'inertie. De plus, les termes de « tremors » ou de « lacune sismique » ont été utilisés sans vraiment savoir de quoi il retourne. Pour information, un tremor est un signal sismique émergent (contrairement aux séismes qui sont des signaux impulsifs) mesuré à plusieurs stations d'un réseau sismique et témoignant de la propagation d'une onde au sein du globe. La source de ces signaux émergents peut être localisée et est soit d'origine volcanique (i.e. mouvement de bulles de fluides dans les conduits volcaniques), soit d'origine tectonique (i.e. circulation de fluides dans une zone de faille ou signature sismique du glissement aisé, la question reste ouverte actuellement). Une « lacune sismique » est simplement une section de faille le long de laquelle aucun séisme

historique n'a été observé ou enregistré. Cela ne signifie pas forcément qu'un séisme y aura lieu à l'avenir car la faille en question peut glisser de façon aismique sans accumuler de contrainte (ou pas...). Ce terme est assez peu clair.

- La compréhension de la notion de rhéologie n'est pas au point. Nous avons systématiquement observé une confusion entre les termes rigide et cassant. La lithosphère est rigide même si elle est ductile sur une partie de son épaisseur. L'aire sous la courbe des enveloppes rhéologiques témoigne des contraintes déviatoriques maximales que la lithosphère peut supporter avant de se déformer, que ce soit de manière cassante ou ductile. C'est d'ailleurs la grande caractéristique de la lithosphère : il faut un déviateur de contrainte grand par rapport au manteau pour déformer la lithosphère, encore une fois peu importe que ça soit de manière cassante ou ductile. Sans cela, pas de plaques tectoniques, pas de subductions, pas de dynamique planétaire telle que nous la connaissons, pas de vie, pas de concours des ENS...

- Tout comme l'année précédente mais contrairement aux années plus antérieures, nous avons été satisfaits de la capacité des candidats à effectuer de simples calculs d'ordre de grandeur. De plus, les candidats n'ont pas (ou peu) utilisé de termes approximatifs comme « grand », « petit », « a peu près » et nous réitérons notre conseil d'éviter ce genre de termes (voir rapports de jury précédents).

- Le jury regrette que certains candidats ne prennent pas le temps de prendre connaissance des documents. Même si l'intégration des documents à l'exposé oral est laissé au choix du candidats, certains documents paraissent si naturellement s'intégrer, ne serait-ce que dans l'accroche introductive de l'exposé oral, qu'il en devient regrettable de les laisser de côté.

- Comme les années précédentes, Nous déplorons que la vision à l'échelle planétaire de la dynamique des enveloppes telluriques ne soit pas comprise par tous les candidats. La Terre est, avant toutes choses, une boule de métal et de silice qui refroidit. Ce refroidissement est le moteur de toutes les manifestations de la dynamique tellurique en surface. Aucun candidat ou candidate (ou presque) n'a spontanément répondu que le moteur de la tectonique des plaques est ce refroidissement et la convection qui le permet. Tous (ou presque) se sont perdus dans des considérations secondaires sur le 'slab pull' ou le 'ridge push' qui ne sont plus vraiment des concepts discutés aujourd'hui. Au mieux, certains candidats ont évoqué la possibilité que la convection soit ce moteur mais peu de candidats ont conclu que les plaques tectoniques font partie intégrante de ce système convectif dans lequel la physique (thermique) et la chimie (hétérogénéité dynamique des enveloppes) entrent en jeu.

- La remarque précédente fait partie d'une observation plus générale au sujet des candidats qui est une redite par rapport à l'année passée. Les connaissances sont, pour la majorité des candidats, organisées en silos distincts les uns des autres. Il est important que les candidats réussissent à prendre du recul vis-à-vis du côté encyclopédique de ce qu'ils ont pu apprendre. Le lien entre les différentes parties du programme est important. Par exemple, il est troublant de constater que nombre de candidats ne font pas de lien entre la thermodynamique à l'échelle de la planète, la dynamique convective et les mouvements des plaques tectoniques. Un autre exemple vient du sujet intitulé *Géologie et géochronologie* qui a conduit quasi-systématiquement à un plan en 3 parties assez peu inspiré, comme tous les ans (1. La datation relative, 2. La datation absolue, 3. L'échelle des temps géologiques). Tous les phénomènes abordés au cours du programme de BCPST ont des temps caractéristiques différents mais pourtant tous liés les uns aux autres (ex. il faut plusieurs milliers de séismes pour faire une chaîne de montagne et une érosion qui peut inclure

des écoulements gravitaires de quelques secondes prendra plusieurs centaines de millions d'années pour défaire cette chaîne de montagne). Il est dommage qu'aucun candidat n'ait pensé à décrire des phénomènes de durées distinctes mais tous reliés par l'expression en surface d'un processus de plusieurs milliards d'années : le refroidissement et la différenciation planétaire. Les candidats ayant le mieux réussi sont ceux qui ont établis le plus de liens de ce type quels que soit le sujet tiré.

Quelques points encore plus précis:

- Le chronomètre, même si il aide certaines et certains à minuter leur exposé, est souvent là au détriment de la fluidité de l'oral. Une montre suffit bien car nous ne sommes pas à la minute près lors de l'exposé. Surtout, évitez les chronomètres magnétiques fixés au milieu du tableau... Le pire étant que ledit chronomètre peut tomber et déstabiliser complètement le ou la candidate. Par ailleurs, nous nous réserverons la possibilité d'interrompre les candidates et candidats à l'avenir lors de leur exposé.
- La couche située à la base du manteau n'est pas la couche « dé-prime » mais « dé-seconde », même si celle-ci touche le fond.
- Revenir sur un schéma réalisé au tableau et le modifier pendant l'exposé est généralement une mauvaise idée, surtout si l'on parle en même temps. Nous conseillons de ne redessiner un schéma que sur invitation des interrogatrices et interrogateurs. Le nouveau résultat est souvent faux, difficilement lisible et d'une qualité graphique plus que discutable.
- Un graphique sans unités est un graphique inutile. Il est très important de bien annoter ses schémas avec les unités, les grandeurs, etc.
- Essayez de proposer des réponses courtes et bien organisées aux questions posées. Plus vous aurez de questions, plus vous aurez de chances de briller. Il vaut donc mieux prendre une seconde avant de répondre pour organiser sa pensée plutôt que de se lancer d'emblée dans une explication floue qui sera trop longue et alambiquée.
- La conclusion de l'exposé ne peut pas être une répétition des concepts énoncés pendant l'exposé. Celui-ci ne dure que 10 min et vous ne pouvez pas vous permettre de dire 2 fois les choses. Utilisez la conclusion pour proposer une ouverture ou un regard différent sur les phénomènes, mécanismes ou autres thématiques que vous avez abordé.
- Il est étonnant de voir qu'aucune candidate ou candidat (ou très peu) n'est capable d'expliquer quelques observations clés ayant permis de développer la théorie de la tectonique des plaques. Par exemple, bien avant le développement des méthodes géodésiques, la distribution des séismes aux frontières de plaques ainsi que leur mécanisme au foyer ont permis la première description d'une plaque tectonique et sa formalisation théorique (McKenzie & Parker 1967). Ou alors, au même moment, la description des formations géologiques aux frontières permet de découper la Terre en plaques tectoniques (Morgan, 1968). Le rôle des anomalies magnétiques dans le développement de cette théorie est généralement connu mais cette observation seule ne permet pas la formalisation physique de ce qu'est une plaque lithosphérique.
- La notion d'élément compatible ou incompatible ne s'applique qu'aux éléments traces (i.e. par au sodium et encore moins au silicium).

Pour conclure, nous réitérons nos félicitations aux candidates et candidats ayant passé le concours et sommes impatients à l'idée de rencontrer les candidates et candidats reçus. Nous allons procéder à des ajustements nécessaires suite aux modifications des programmes aussi bien au niveau des intitulés des sujets que des documents et échantillons proposés. Nous concluons ce rapport de jury par encourager les futures candidates et futurs candidats pour la session à venir. N'oubliez pas que les questions que nous poserons, que les échantillons que nous vous proposerons ainsi que les documents à votre disposition vous seront généralement montrés pour la première fois. Restez naturels, décrivez bien les choses que vous voyez, proposez des hypothèses et modifiez ces hypothèses en fonction des éléments que le jury vous transmettra au fur et à mesure. C'est le propre de la démarche scientifique que de construire un raisonnement en se trompant, en prenant des voies parallèles, en échafaudant des hypothèses, en se corrigeant pour voir émerger des idées nouvelles et, même si vous n'êtes pas encore des scientifiques expérimentés, vous pouvez y arriver!

Amicalement,

Hélène BALCONE BOISSARD

Romain JOLIVET

Loïc LABROUSSE

Marion THOMAS