

Ecole Normale Supérieure de Lyon

Second Concours - Filière Universitaire

Session 2026

Rapport sur l'épreuve écrite de géosciences

Ce sujet représente une investigation multi-approche de la dynamique géophysique (et géochimique) expliquant les grands processus affectant la cordillère des Andes dans la région de l'Altiplano. Il était attendu que les candidat(e)s arrivent à l'aide de leur raisonnement, de leur culture scientifique et des données fournies à expliquer de manière intégrée cette dynamique, en connectant habilement les informations à différentes échelles et sur différents objets. L'ensemble de ces thématiques est généralement abordé dans les programmes de la plupart des formations universitaires de premier cycle en sciences de la Terre en France. Tous les candidats (sauf un) ont traité l'intégralité du sujet et ont proposé des réponses à la quasi-totalité des questions. Le sujet était relativement court, ce qui a permis aux candidat(e)s d'aller au bout de leurs réponses à chaque question. Le niveau des réponses et de compréhension de la logique du sujet est assez hétérogène.

La première partie du sujet consiste en une étude sismologique très classique basée sur les temps d'arrivée des ondes, avec l'accent sur les ondes P, et sur les ondes réfléchies sur le Moho. L'idée étant de confronter les résultats du calcul avec les connaissances théoriques sur la profondeur anormales du Moho dans ce contexte et sur les différents mécanismes physiques les expliquant. Dans les premières questions, il est visible que l'onde P arrive relativement tard, en comparaison aux vitesses normales de l'ordre de 6 km/s, qui est compatible avec des tufs ignimbritiques ou sédiments en subsurface. Peu de candidats ont clairement démontré que la PmP était une onde réfléchie sur le Moho et corrélé habilement des temps/distances observées avec leurs connaissances théoriques. La PmP arrive bien tardivement, ce qui confirme une anomalie de profondeur du Moho – qui sera déterminée par la suite. Le train d'ondes final correspond aux ondes de surface, qui se propagent plus lentement. Par la suite (question 3), la pente donne $1/V_p$, et l'ordonnée à l'origine donne le temps origine corrigé (intercept lié à la profondeur focale). Par régression linéaire sur les données, on trouve un V_p de l'ordre de 6.1 km/s, ce qui est normalement connu du candidat. Peu de candidats ont réussi à comprendre la logique de l'exercice. Cette vitesse des ondes P est compatible avec du granite ou des andésites, comme indiqué dans le tableau, et assez logique vu que nous sommes dans un contexte d'arc volcanique. Bien guidés par l'énoncé, une majorité de candidats a réussi à faire le développement calculatoire aboutissant à l'expression littérale de H demandée en question 7. L'application numérique permet d'aboutir à une soixantaine de kilomètres pour la profondeur du Moho H (incertitudes liées l'homogénéité du milieu, aux simplifications géométriques et à l'incertitude sur le pointé des arrivées). Alors que les candidats semblent dans l'ensemble bien connaître le concept d'isostasie, son application à ce contexte précis a été moins évident. Il est clair qu'une racine crustale est indispensable, associée à la formation d'une anomalie de topographie – manifestée dans la nature par l'Altiplano. Les candidats connaissaient les valeurs de densité demandées. Il était espéré davantage d'efforts de quantification de l'épaisseur de la racine crustale et du plateau et la comparaison aux données topographiques fournies et calculées par la sismologie.

Par la suite, il était attendu de démontrer que la perturbation de V_p indique une croûte chaude, et partiellement fondue, affaiblie mécaniquement et donc l'absence de séismes à relativement faible profondeur soutient cette hypothèse. La transition cassant-ductile remonte à cause du contexte de

magmatisme d'arc. La croûte inférieure est ductile et peu résistante (lier cette réponse aux enveloppes rhéologiques – ce qui a été insuffisamment fait par les candidats).

La délamination crustale (concept pas forcément connu des candidats mais qui pouvait être deviné de par les indices fournis dans le sujet) est un processus qui peut être expliqué par l'augmentation de pression (enfouissement/épaississement) de la croûte inférieure majoritairement mafique. La compression andine a donc indirectement préparé les conditions de la délamination. Le diagramme PT montre qu'une roche mafique enfouie dans les conditions suspectées pour la zone autour du Moho va tendre à s'éclogitiser, et donc augmenter fortement en densité. Jusqu'à devenir plus dense que le manteau sous-jacent, et donc 'couler' dans le manteau. Permettant un flux mantellique pour compenser le déficit de masse et contribuer au flux de chaleur excessif (conduction et advection thermique) et à la genèse de magmatisme, aux propriétés chimiques particulières. A noter que la subduction de Nazca libère des fluides qui métasomatisent le manteau et peuvent localement modifier la composition et la densité de la base crustale, favorisant l'instabilité gravitaire.

Les volcans de l'Altiplano produisent typiquement des andésites à rhyolites, signature d'une contamination crustale importante — cohérent avec une fusion crustale induite par la délamination. Les compositions intermédiaires (trachyandesites, dacites) s'expliquent bien par un mélange entre magma basaltique mantellique (chaud, peu visqueux) injecté dans les réservoirs crustaux et un magma crustal felsique (issu de la fusion de la croûte épaisse). Ce processus produit une gamme continue de compositions intermédiaires, cohérente avec la dispersion observée sur le TAS. À partir d'un magma basaltique primitif, la cristallisation fractionnée peut faire évoluer le magma vers des compositions plus siliceuses et alcalines, produisant la tendance vers les trachyandesites et phonotéphrites observée. La coexistence de coulées de lave (stratovolcans andésitiques) et d'ignimbrites/calderas s'explique par la teneur en silice et en gaz dissous menant à un dégazage explosif, colonnes pliniennes, dépôts d'ignimbrites, effondrements en calderas etc... L'épaisseur forte de la croûte favorise le stockage prolongé des magmas, leur différenciation, et l'accumulation de volatils — ce qui amplifie le potentiel explosif. Peu de candidats ont développé ces aspects autant que le correcteur l'espérait.

Enfin, une ouverture du sujet avait été faite pour couvrir l'aspect enveloppes externes et effet de la chaîne andine sur le climat régional. Il fallait mettre en avant la conjonction de plusieurs facteurs géographiques : une cordillère andine comme barrière orographique qui bloque les flux humides amazoniens et crée une ombre pluviométrique à l'ouest ; un courant marin côtier froid qui stabilise l'atmosphère marine côtière et supprime la convection précipitante et la latitude qui détermine l'influence relative des alizés tropicaux au nord et des westerlies tempérés au sud. L'Atacama, coincé entre la cordillère et le Pacifique froid, cumule tous ces effets et constitue ainsi l'un des déserts les plus extrêmes de la planète. Un processus similaire, dont la contribution topographique est moindre, est également observable en Afrique de l'Ouest. C'est la convergence de trois mécanismes — descente d'air sec des anticyclones, courants froids côtiers, et upwelling — qui fait des façades occidentales subtropicales des zones systématiquement arides. Aucun candidat n'a répondu intégralement aux différentes facettes de cette question large, sur laquelle beaucoup de contenu pouvait être fourni.

Avis général : Une copie se distingue nettement, témoignant d'une solide culture géologique, d'une bonne capacité de raisonnement et d'une maîtrise satisfaisante des concepts importants et des ordres de grandeur. La majorité des candidats, en revanche, n'a pas saisi la logique d'ensemble du sujet et sa construction progressive. Les erreurs commises dès les premières questions de calcul de vitesses ont eu un effet domino regrettable : mal engagés dès le départ, ces candidats n'ont pu mobiliser leurs connaissances de façon pertinente pour aborder les questions ultérieures.