

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE LYON

Concours d'admission session 2026

Filière universitaire : Second concours

COMPOSITION DE GEOLOGIE

Durée : 3 heures – 20 pts, 15 questions

L'usage de calculatrices électroniques de poche, à alimentation autonome, non imprimante et sans document d'accompagnement, est autorisé.

Structure et dynamique du plateau Andin

Lire le sujet en entier avant de commencer à répondre. Les informations sont à chercher dans l'intégralité des documents (y compris en Annexes). Attention à la conversion d'unités dans vos calculs.

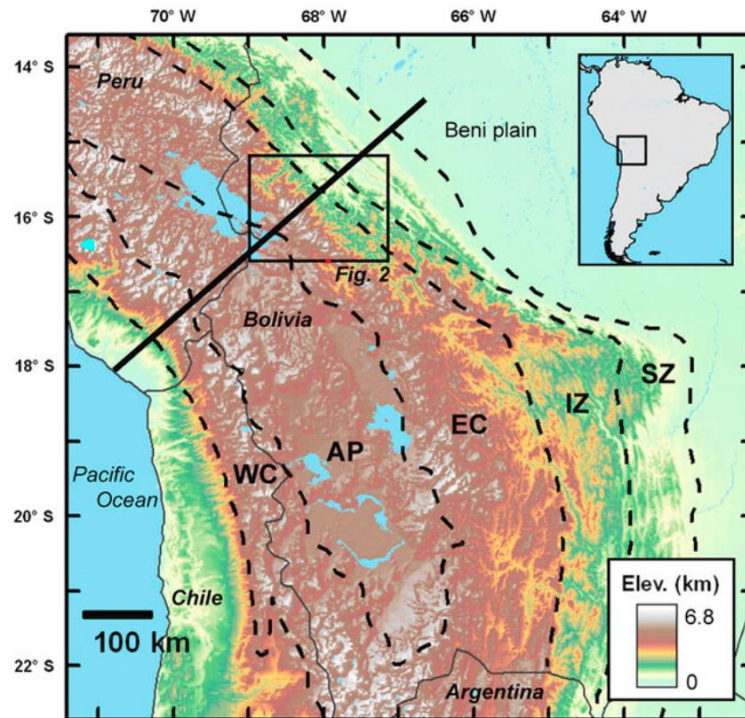


Fig.1: Carte de la topographie dans la région d'étude (d'après Mosolf et al 2011). AP : Altiplano.

On s'intéresse à la structure profonde sous la région de l'Altiplano (Fig.1 et Annexe A). Un séisme crustal de magnitude 5 a eu lieu à 10 km de profondeur sous la surface du plateau Andin ('altiplano': AP sur la figure 1) le 30/10/1997 à 01h12m07.74s.

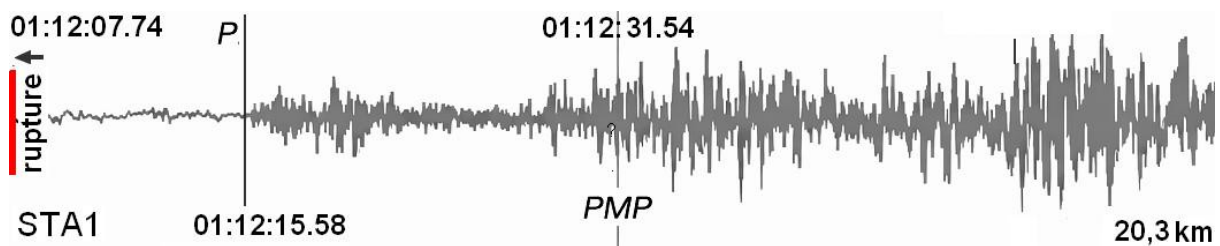


Fig.2: Sismogramme enregistré à la station STA1 de l'événement sismique étudié ici. La station se trouve à une distance épacentrale de 20,3 km. L'onde PMP est une onde réfléchie sur le Moho.

1. Caractériser le sismogramme ci-dessus (détailler les temps, écarts et amplitudes relatives des trains d'ondes) et estimer le temps d'arrivée de l'onde P (et des ondes suivantes) pour la station STA1. Que remarquez-vous quant à l'arrivée de l'onde P ? Une hypothèse à proposer sur la composition des roches sous STA1 ? [2 pts]
2. Expliquer la cause de cette onde réfléchie. Proposez une explication possible pour le train d'ondes final. [0.5 pt]

3. Estimer la vitesse des ondes P (V_p) dans la croûte du plateau Andin à l'aide du tableau ci-dessous. Si besoin, utiliser pour la représentation graphique la grille de papier millimétré fournie (à remplir et coller dans votre copie). [1.5 pts]

Station	Distance épacentrale (Δ , en km)	Temps arrivée onde P (en secondes)
STA1	20,3	?
STA2	40,4	11,35
STA3	47,4	12,39
STA4	63,1	15,17
STA5	79,5	17,66
STA6	88,3	19,11
STA7	106,3	22,12
STA8	130	26,07

4. A l'aide du tableau donné en *Annexe B*, que pouvez-vous dire sur la composition des dix derniers kilomètres de la croûte continentale sous l'Altiplano ? [0.5 pt]

On souhaite estimer l'épaisseur du Moho (H) dans la région de l'Altiplano à l'aide des temps d'arrivée des ondes. Le problème peut être simplifié géométriquement par le schéma suivant :

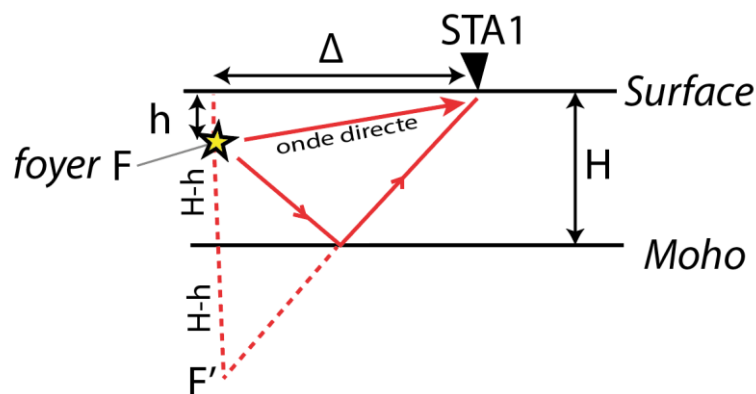


Fig.3: Schéma explicatif du problème et localisant le foyer du séisme à l'étude, dont les ondes sont mesurées à la station 1 (STA1).

5. Exprimer le temps de parcours de l'onde P directe en fonction de h , Δ et V_p . [1 pt]
6. Le trajet réfléchi est équivalent à un trajet direct depuis une source fictive située à la profondeur F' (schéma en figure 3) et peut être défini par l'expression $2H - h$. Exprimer (en utilisant encore le théorème de Pythagore) le temps de parcours de l'onde PMP pour finalement montrer que la différence de temps δt (différence entre arrivée ondes P et PMP) s'écrit : [1 pt]

$$\delta t = \frac{\sqrt{(2H - h)^2 + \Delta^2} - \sqrt{h^2 + \Delta^2}}{V}$$

7. Proposez une expression littérale de H. [1 pt]
8. Faire l'application numérique et discuter la valeur du Moho obtenue, ainsi que les incertitudes et simplifications effectuées. [1 pt]
9. On cherche à vérifier si l'altitude du plateau peut être expliquée par l'isostasie d'Airy. Rappeler les hypothèses fondamentales de ce modèle ainsi que la notion de surface de compensation. Vous choisirez des valeurs de masse volumique adéquates pour la croûte et le manteau. [1 pt]
10. Calculer l'altitude du plateau attendue (en justifiant les valeurs choisies pour le calcul) et comparer à l'altitude réelle du plateau andin. En conclure sur l'état d'équilibre et la nécessité ou non de contraintes tectoniques pour maintenir l'anomalie topographique de l'Altiplano. [2 pt]

La présence de Vs de l'ordre 2.8 km/s vers 30 km de profondeur, et l'arrêt de la sismicité aussi vers 25 km de profondeur sont deux informations cruciales pour comprendre la rhéologie et le maintien topographique de ce plateau. Les données tomographiques (Fig.4) soulignent la présence d'anomalies sous le plateau entre 10 et 100 km de profondeur.

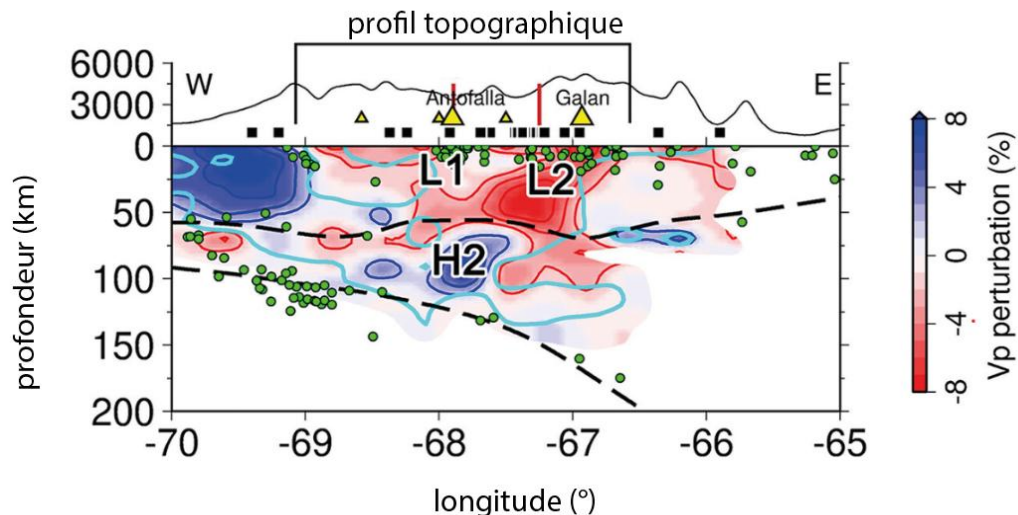


Fig.4: Profil tomographique W-E sous l'Altiplano avec l'emplacement des centres volcaniques (triangles jaunes), et des anomalies nommées L1, L2 et H2. Points verts : sismicité. D'après Chen et al. (2020).

11. Commentez la figure 4 et discutez la distribution de la sismicité (et du volcanisme) sous l'Altiplano. Quel lien peut-on faire avec les données tomographiques ? [1 pt].
12. A l'aide des documents en Annexe C et D, proposez une interprétation de la structure thermique, pétrologique et rhéologique sous l'Altiplano. [1 pt]
13. Chen et al. (2020) proposent que l'anomalie H2 (figure 4) corresponde à un phénomène de "délamination" crustale, lié à un excès de densité. Grâce aux enclaves dans les laves, on sait que la croûte inférieure andine est de composition relativement mafique. A l'aide de vos connaissances pétrologiques (voir également la grille en Annexe C), quel(s) processus peuvent expliquer cette délamination ? Quelles conséquences pour la structure thermique et l'activité volcanique en surface ? [2 pts]

L'activité volcanique des derniers millions d'années sur l'Altiplano est intense mais discontinue. La composition de leurs laves est représentée en figure 5. On y trouve à la fois des coulées basaltiques et andésitiques issues de stratovolcans, mais également des dépôts de cendres et fragments de roches ('ignimbrites') et des calderas.

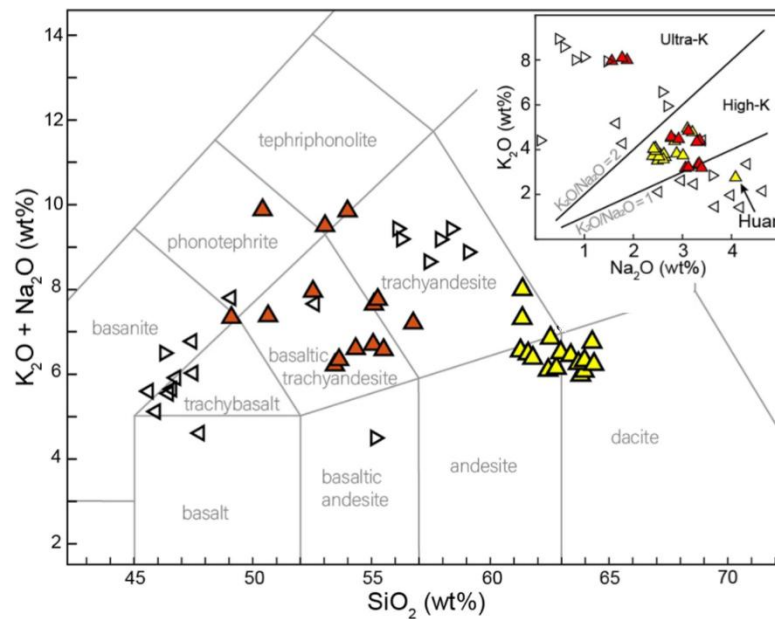


Fig.5: Diagramme Alcalins vs Silice d'après Hiett et al. (2025) pour quelques édifices volcaniques de la région de l'Altiplano.

14. A la lumière des questions précédentes, proposer des hypothèses pour expliquer la variabilité compositionnelle des laves et des dynamismes éruptifs. Comment expliquer la présence de laves ultra-potassiques ? [2 pts]
15. Formé depuis le Cénozoïque, le plateau andin s'étend maintenant sur plus de 3000 km et est bordé par une cordillère occidentale abrupte (figure 6). En quoi la géographie contrôle la répartition des climats andins et la formation du désert de l'Atacama à la frontière Chili-Pérou, un des lieux les plus arides de la planète. Une comparaison avec la façade atlantique afro-européenne est-elle pertinente ? une loi générale gouvernant la distribution des déserts côtiers à l'échelle planétaire se dégage-t-elle ? [2.5 pts]

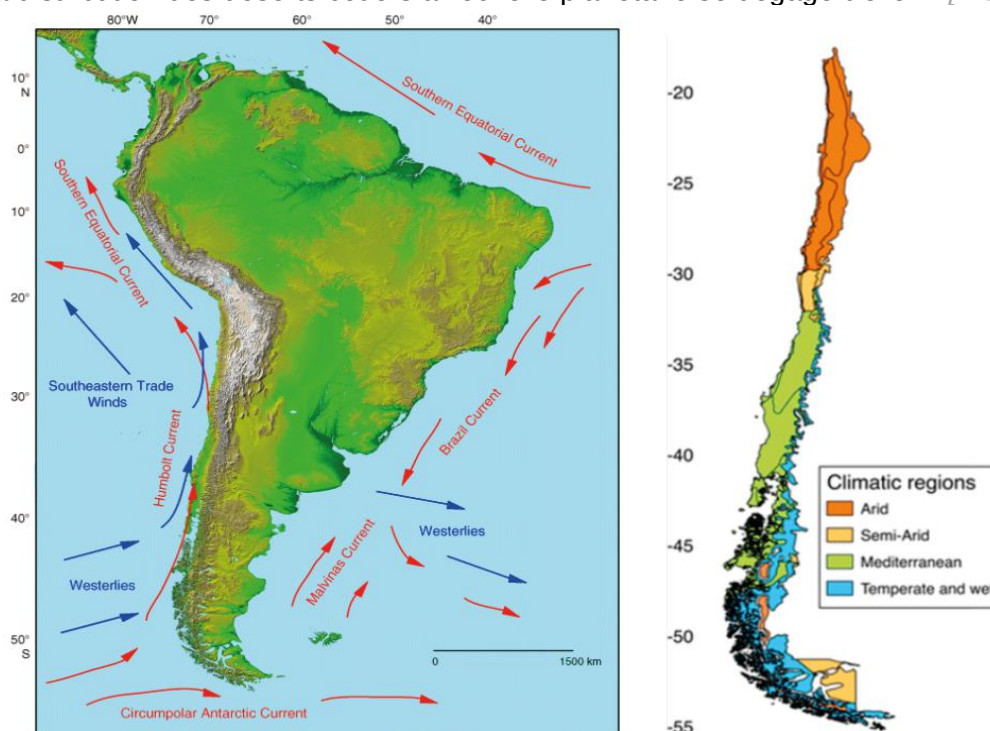
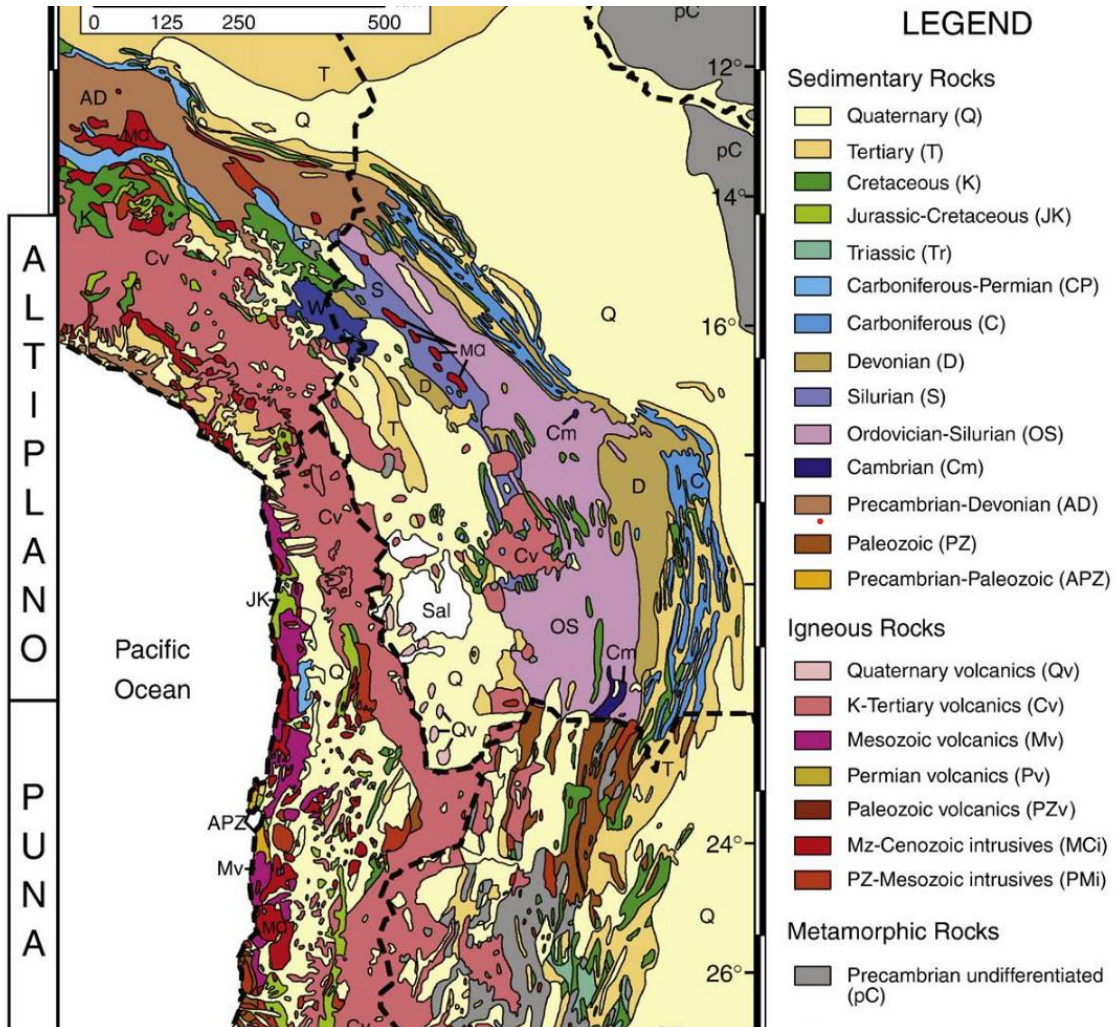


Fig.6: (gauche) Carte des vents (bleu) et courants marins (rouge) (https://www-odp.tamu.edu/publications/201_SR/122/122_f3.htm). (droite) Carte des climats du Chili (latitude en ordonnée). D'après Aitken et al., 2016. (Trade Winds : alizés)

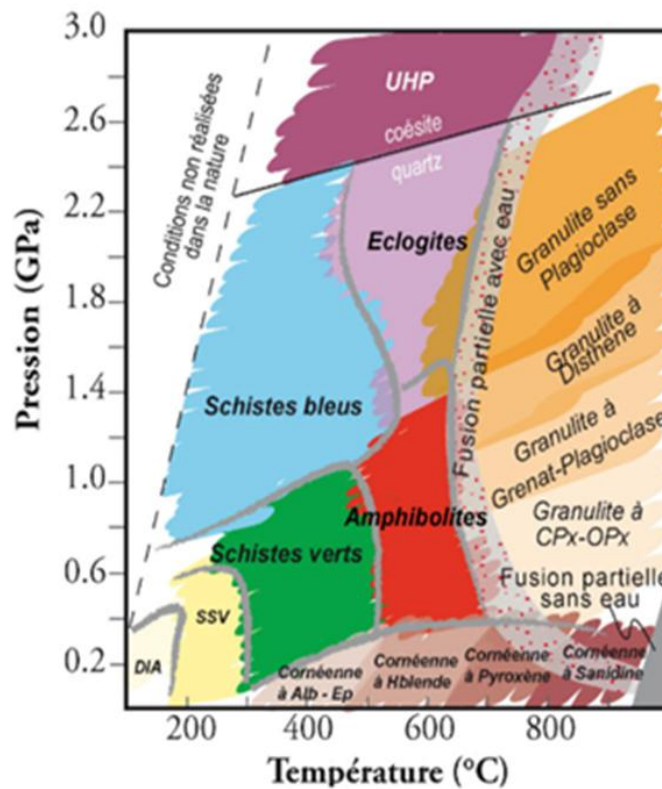
Annexes :



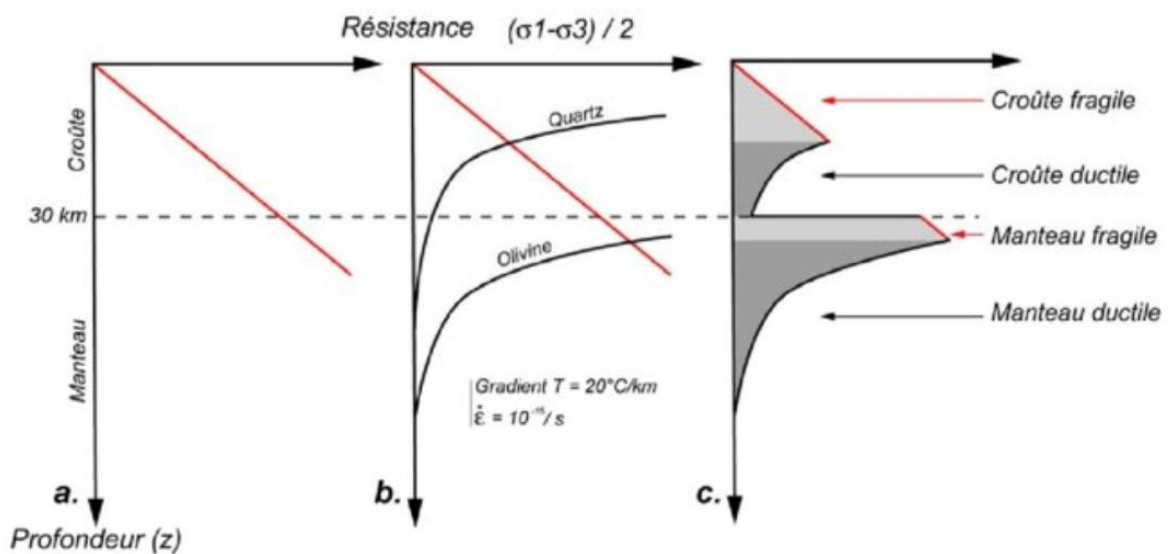
Annexe A : Carte géologique simplifiée du plateau Altiplano-Puna, d'après Barnes & Ehler (2009)

roche	Vp typique (km/s)
granite compact	6,0-6,2
andésites massives	6,0-6,5
tufs/ignimbrites	3,0-4,5
argiles/marnes	2,0-3,5
sédiments non consolidés	1,5-2,5
manteau lithosphérique	8,0-8,2

Annexe B : valeurs typiques de Vp pour différents matériaux géologiques



Annexe C : Grille Pression-Température des faciès métamorphiques



Annexe D : Enveloppe rhéologique pour une lithosphère continentale classique, avec une croûte inférieure ductile. D'après Cagnard, 2005.

