

Devoir surveillé n°4

Samedi 5 janvier 2026

Épreuve d'analyse de documents de géologie

durée : 2 heures

Exercice 1 – L'Himalaya – Tibet, une zone de déformations

(Tiré du sujet G2E 2025)

durée conseillée : 40 minutes

L'Himalaya – Tibet constitue la chaîne montagneuse la plus imposante observable à la surface du globe, avec une altitude moyenne de 4 200 m. Elle résulte de la collision entre deux plaques lithosphériques : les plaques indienne et eurasiatique. Cette collision initiée à la fin du Crétacé résulte de la dérive progressive vers le nord de la plaque indienne depuis la dislocation de la Pangée au Jurassique.

1. L'HIMALAYA-TIBET, UNE FRONTIÈRE DE PLAQUES

Question 1 – Définissez une plaque lithosphérique. Détaillez l'ensemble des caractéristiques de l'enveloppe terrestre appelée « la lithosphère ». La réponse devra faire moins de 10 lignes.

Question 2 – En utilisant les figures 1a et 1b, justifiez le fait que le domaine Himalaya–Tibet constitue une frontière de plaques entre une plaque « Inde » et une plaque « Eurasie » (représentée par la Mongolie sur la figure 1b).

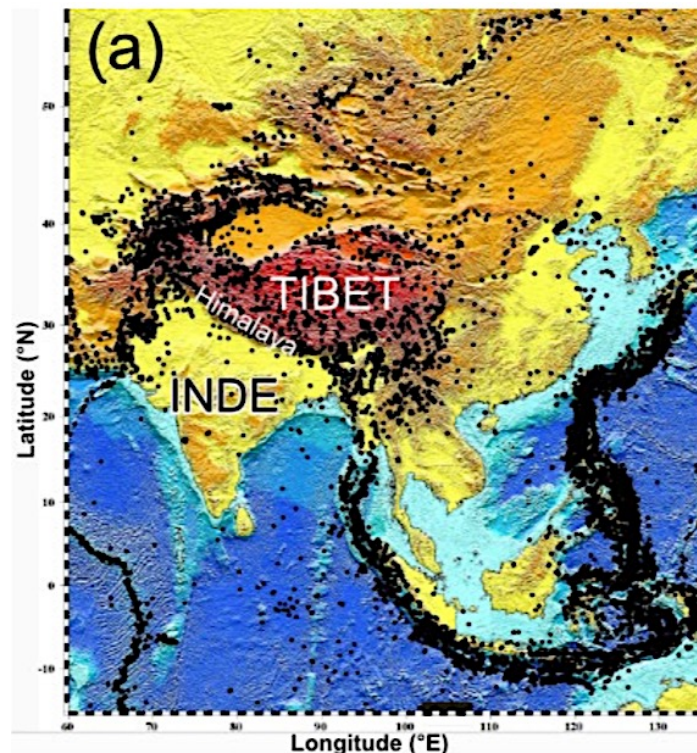


Figure 1a – Topographie et sismicité en Asie. Les teintes bleues correspondent à la bathymétrie. Les teintes jaunes à rouges indiquent des altitudes positives ; en jaune, les altitudes inférieures à 1000 mètres, en rouge les altitudes supérieures à 3000 mètres. Les points noirs représentent les séismes.

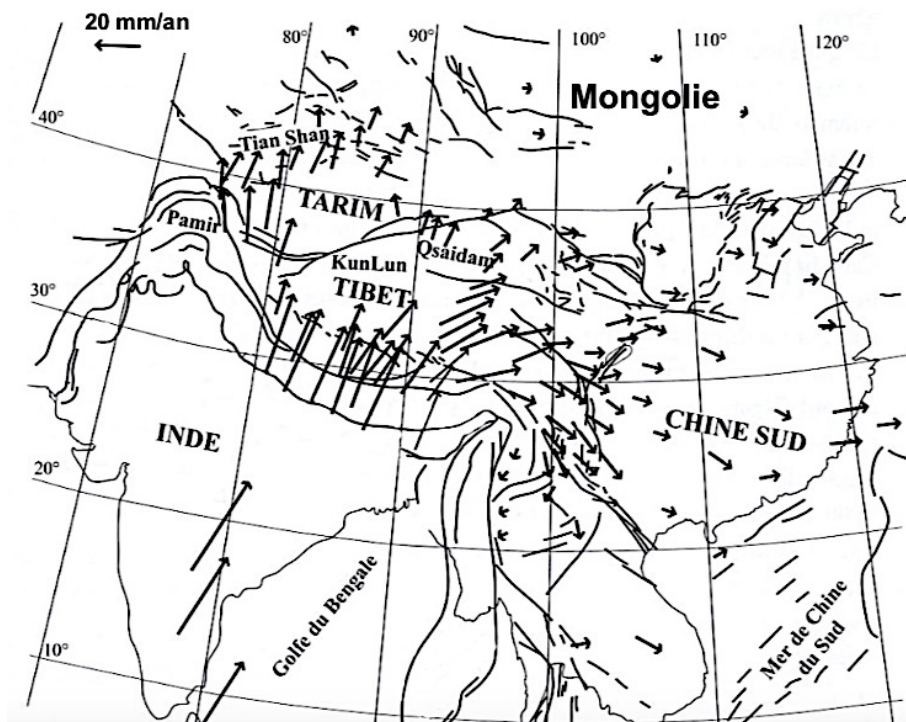


Figure 1b – Déplacement mesuré par GPS, à Eurasie fixe. La longueur des flèches indique la quantité de déplacement horizontal (échelle sur la figure en haut à gauche).

Question 3 – Quel est le mouvement relatif de la plaque Inde par rapport à la plaque Eurasie dans cette région (figure 1b) ? Donnez les caractéristiques (direction et norme) de ce mouvement relatif.

2. L'ÉQUILIBRE ISOSTATIQUE EN HIMALAYA-TIBET

Question 4 – Énoncez le principe d'isostasie.

Question 5 – En supposant la région de l'Himalaya-Tibet à l'équilibre isostatique, et en considérant une altitude moyenne de 6 000 mètres, déterminez la profondeur du Moho sous cette région (schéma attendu).

Données de masses volumiques : $\rho_c = 2,8 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ pour la croûte continentale et $\rho_m = 3,3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ pour le manteau lithosphérique. La croûte choisie comme référence est celle du continent indien, d'épaisseur 40 km.

Question 6 – Quel est le pourcentage d'épaississement de la croûte continentale dans l'ensemble Himalaya – Tibet et comment se répartit-il ?

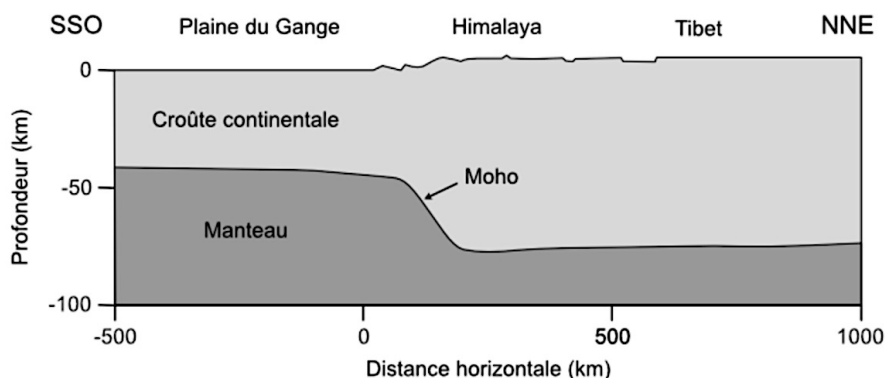


Figure 3 – Profondeur du Moho sous l'Inde et l'Himalaya – Tibet.

Question 7 – La figure 3 montre la profondeur estimée du Moho sous l'Himalaya – Tibet, obtenue grâce à des méthodes sismologiques. Comparez avec le résultat obtenu à la question 5. Qu'en concluez-vous ?

La figure 4 montre l'anomalie gravimétrique de Bouguer sous l'ensemble Himalaya – Tibet.

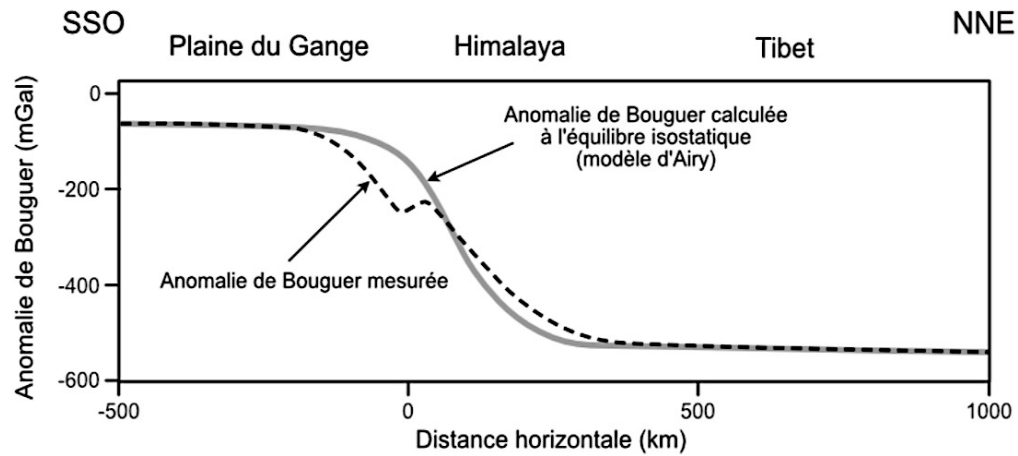


Figure 4 – Anomalie de Bouguer.

Trait pointillé : valeur de l'anomalie de Bouguer à travers le nord de l'Inde et l'Himalaya – Tibet.

Trait plein : anomalie de Bouguer calculée dans un modèle d'équilibre isostatique d'Airy.

Question 8 – Qu'est-ce qu'une anomalie gravimétrique de Bouguer ? Comment est-elle calculée ? Quelle est la signification de son signe ?

La figure 4 montre, en pointillés, l'anomalie de Bouguer mesurée sur un transect SSO-NNE, depuis la plaine du Gange jusqu'au nord du Tibet. Elle est comparée avec la valeur de cette anomalie de Bouguer dans un modèle où les reliefs sont compensés par l'isostasie locale via un modèle d'Airy. La distance « 0 » indique la position de la suture de collision de la chaîne himalayenne.

Question 9 – Comparez l'anomalie mesurée et l'anomalie modélisée via un modèle d'Airy (Fig. 4) et interprétez vos observations.

Exercice 2 – La zone Pacifique des Tonga–Kermadec

Durée conseillée : 30 minutes

Dans le Pacifique sud-ouest, à l'Est de la Nouvelle-Zélande, se trouvent des archipels volcaniques comme les îles Fidji, Samoa, Tonga... Fortement touchée par des séismes et tsunamis, cette région du monde est très étudiée par les géologues.

1) Étude du contexte géologique général de la région des Tonga – Kermadec

La région étudiée est située à l'Est de l'Australie, au Nord de la Nouvelle-Zélande.

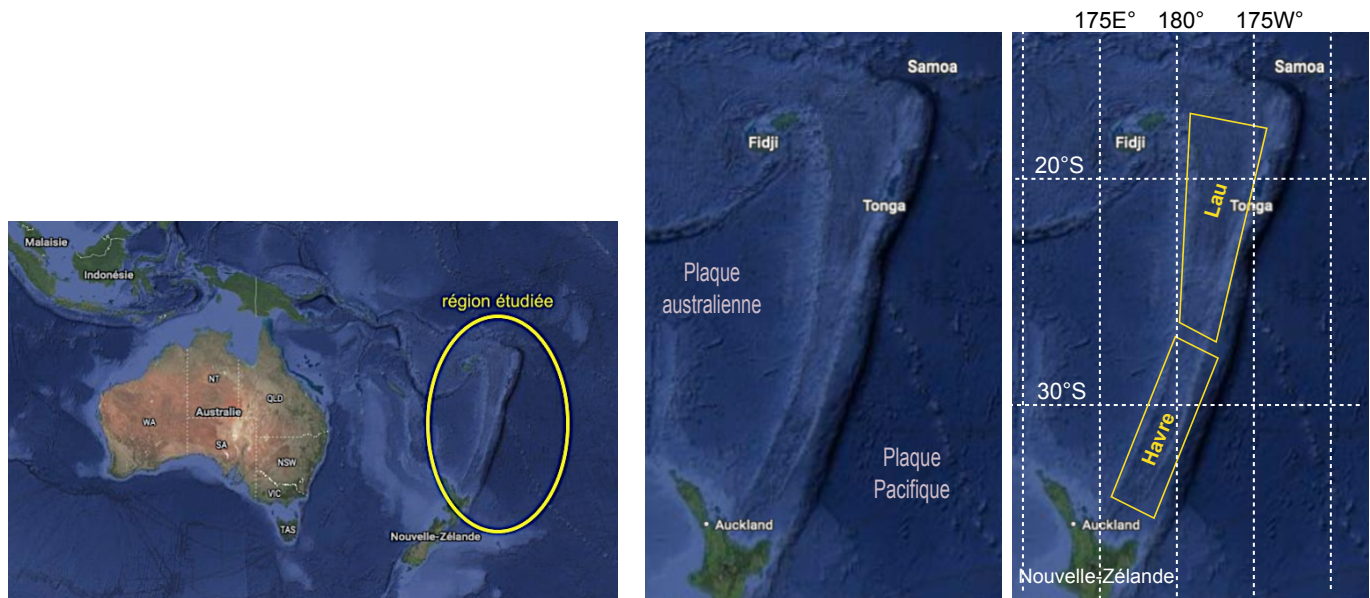


Figure 1 – Cartes du relief de la zone de Tonga – Kermadec.

Le dégradé de bleu indique la profondeur : plus le bleu est foncé, plus la profondeur est grande.

Les secteurs analysés dans la suite sont entourés par un cadre jaune (Source : GoogleEarth)

Question 1 – Estimer la longueur du bassin de Lau (selon l'axe Nord–Sud).

Question 2 – Utilisez les figures 1 et 2 pour identifier le contexte géologique : au moins 4 arguments sont demandés. Précisez le mouvement relatif des deux plaques mises en jeu.

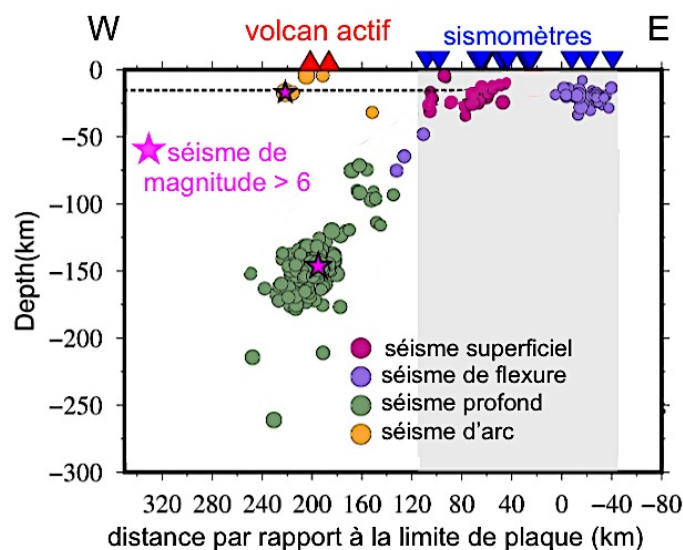


Figure 2 – Profil en coupe à la latitude 26°S de la localisation des foyers sismiques, positionnés selon leur profondeur (depth). (Source : Y. Liu & al, *Journal of Geophysical Research : Solid Earth*, 2025)

2) Étude de la région à l'ouest de la fosse des Tonga

Les documents qui suivent permettent de préciser le type de contexte.

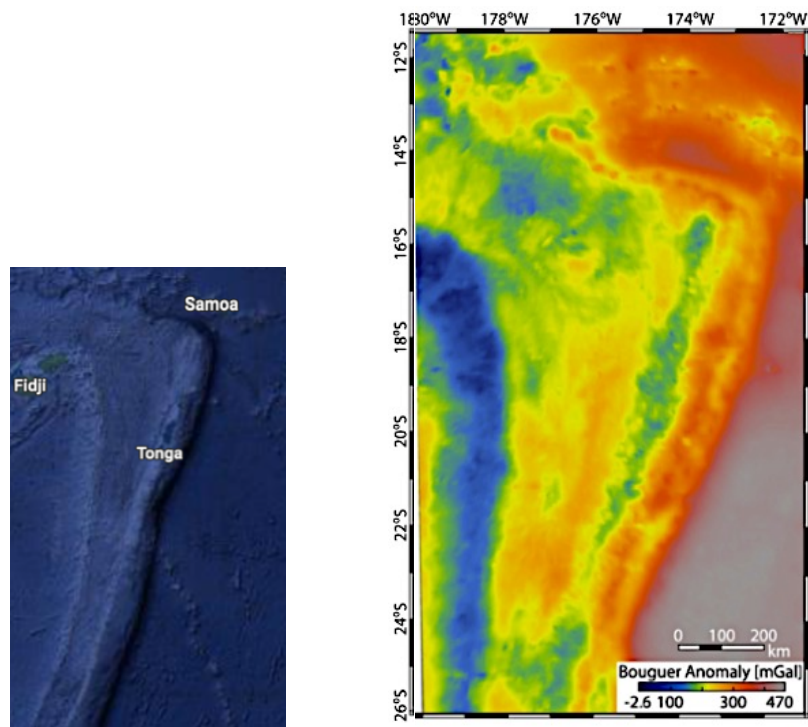


Figure 3 – À gauche : carte localisant la région analysée – à droite : carte régionale de l'anomalie de Bouguer dans la région de Lau (Source : C. Galley & al, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2024).

Question 3 – Expliquez l'anomalie de Bouguer observée au niveau de la plaque Pacifique.

Question 4 – Proposez une explication à l'anomalie positive du bassin de Lau.

Le document 4 apporte 2 types d'informations.

Question 5 – En quoi le flux géothermique moyen mesuré dans le bassin de Lau vient-il confirmer votre hypothèse formulée à la question 4 ? Pour rappel, le flux géothermique moyen sur Terre vaut $80 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$.

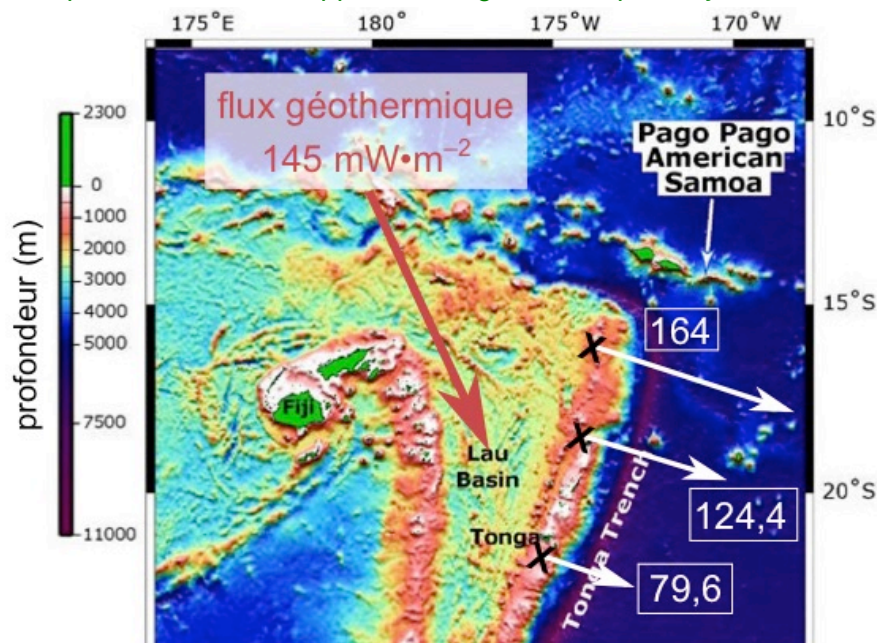


Figure 4 – Mouvement des balises GPS (croix noires) par rapport aux îles Fidji considérées comme fixes. Les valeurs encadrées en blanc sont données en $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$. Le flux géothermique moyen dans le bassin de Lau est précisé en rouge (Sources : fond de carte tiré de oceanexplorer.noaa.gov / données GPS issues de C. Galley & al, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2024 et flux géothermique tiré de T. Watanabe & al, Island Arcs, Deep Sea Trenches and Back-Arc Basins, 1977)

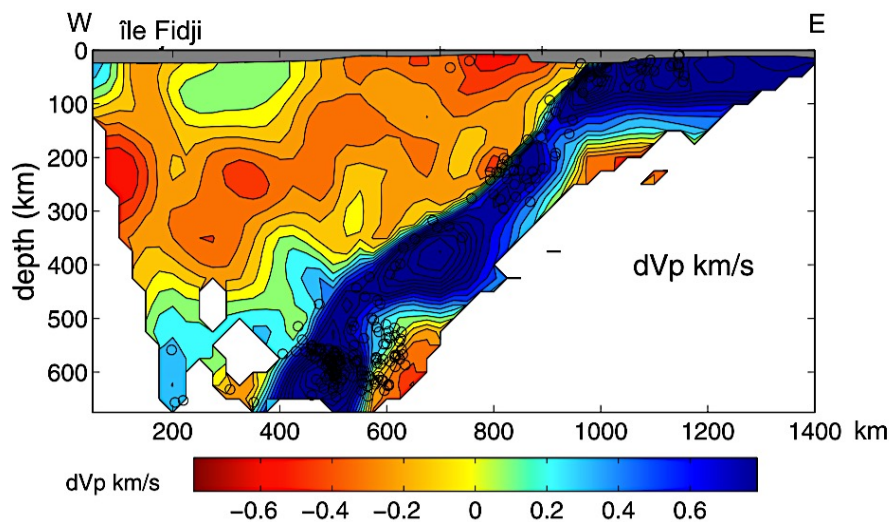


Figure 5 – Image de tomographie sismique établie à partir de la vitesse des ondes sismiques P, dont l'anomalie de vitesse est indiquée sur l'échelle des couleurs. La coupe a été réalisée à 18°S, selon un axe Ouest–Est. Depth = profondeur (Source : J. Conder & S. Wiens, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 2006)

Question 6 – Estimer l'angle de pendage du slab dans la région des Tonga.

Question 7 – À l'aide d'arguments rigoureux tirés des figures 3, 4 et 5, précisez le régime compressif ou extensif du contexte géologique régional.

Question 8 – Nommez la structure géologique du bassin de Lau.

Exercice 3 – Les Montagnes Rocheuses de l'Ouest américain

Durée conseillée : 20 minutes

Dans la partie ouest de l'Amérique du Nord se trouve une longue chaîne de montagne s'étendant du Nord au Sud sur plus de 3 000 km, et culminant à 4 399m : les **Montagnes Rocheuses** (voir la carte ci-contre pour sa localisation). La figure ci-dessous présente le résultat d'une étude de la vitesse de propagation des ondes sismiques qui a permis de déterminer la profondeur du Moho le long d'un profil Ouest – Est, à 36° de latitude Nord, dans une région où l'altitude maximale des Montagnes Rocheuses est de 3 000 m.

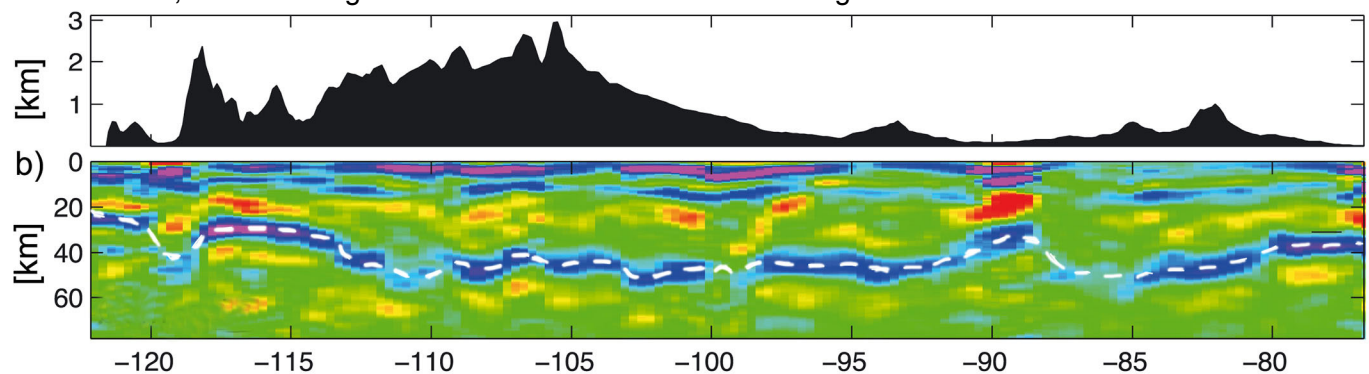


Figure – En haut (en noir) profil topographique d'Ouest en Est à 36° de latitude Nord. En bas, profondeur du Moho (= ligne pointillée blanche) déduite de l'analyse des vitesses de propagation d'ondes sismiques.

Question 1 – Rappelez en une phrase ce qu'est le Moho. Comment peut-on interpréter les valeurs de la profondeur du Moho au niveau de la région des Montagnes Rocheuses où l'altitude est de 3 km ?

Question 2 – Cette région est-elle à l'équilibre isostatique au niveau du Moho ? Vous justifierez votre réponse avec un petit calcul d'équilibre isostatique et un schéma explicatif.

Pour les calculs on prendra : masse volumique de la croûte continentale $\rho_c = 2,7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, masse volumique du manteau lithosphérique $\rho_m = 3,3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

Question 3 – Calculez l'épaisseur de roche qui aura été enlevée par l'érosion lorsque l'altitude de la chaîne aura diminué de 1 000 m.

Exercice 4 – L'Alaska et l'Islande sous la glace

Durée conseillée : 30 minutes

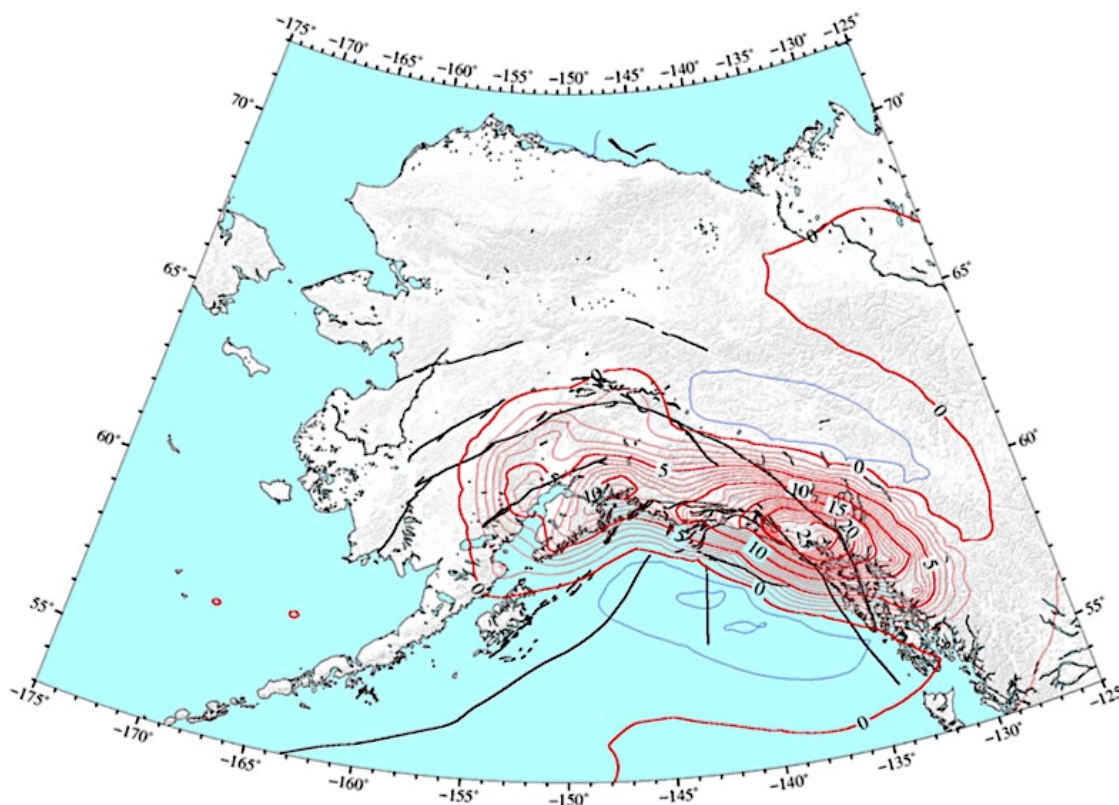
A. Le soulèvement de l'Alaska

L'Alaska est un état américain situé autour de 60°N. Il est couvert de glace sur une surface de 75 000 km², soit 5 % de son territoire. Presque 100 Gt de glace fondent chaque année, depuis 2010, en Alaska.



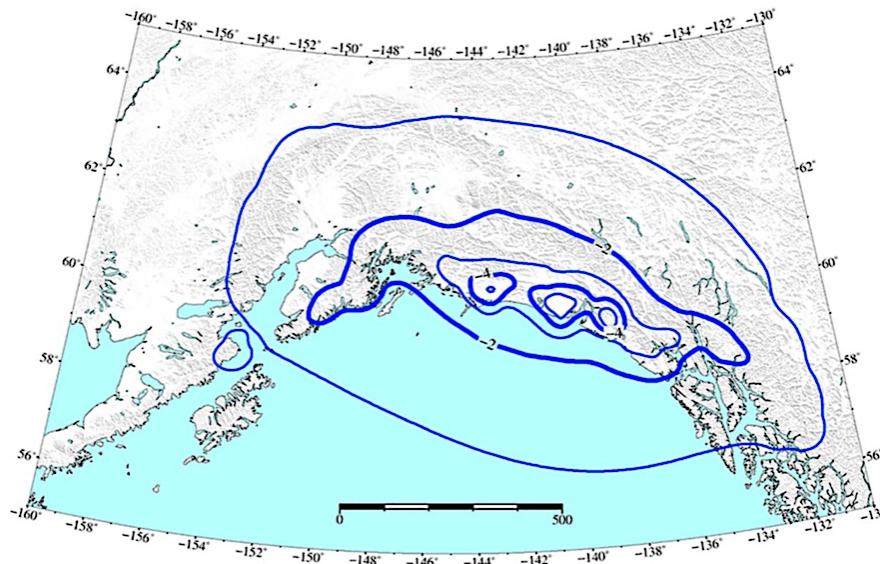
Document 1 – Région de Yakutat, en Alaska, étudiée par la suite (source : GoogleEarth)

Des mesures GPS couplées à des mesures gravimétriques ont été réalisées dans le sud-est de l'Alaska. Des modèles de variations d'altitude et de la hauteur du géoïde ont été établis (**documents 2 et 3**) en tenant compte de la viscosité locale de l'asthénosphère obtenue par d'autres études.



Document 2 – Taux de soulèvement (en mm·a⁻¹), modélisé à partir de données recueillies depuis 1950. Les courbes de niveau correspondant au soulèvement (en rouge) sont tracées tous les mm·a⁻¹, avec des traits plus épais tous les 5 mm·a⁻¹ (Source : Y. Hu & J. Freymueller, *Journal of Geophysical Research*, 2019)

Question 1 – Décrivez l'évolution de l'altitude de l'Alaska enregistré par les données GPS et modélisé dans le document 2. Proposez une explication possible à cette observation.



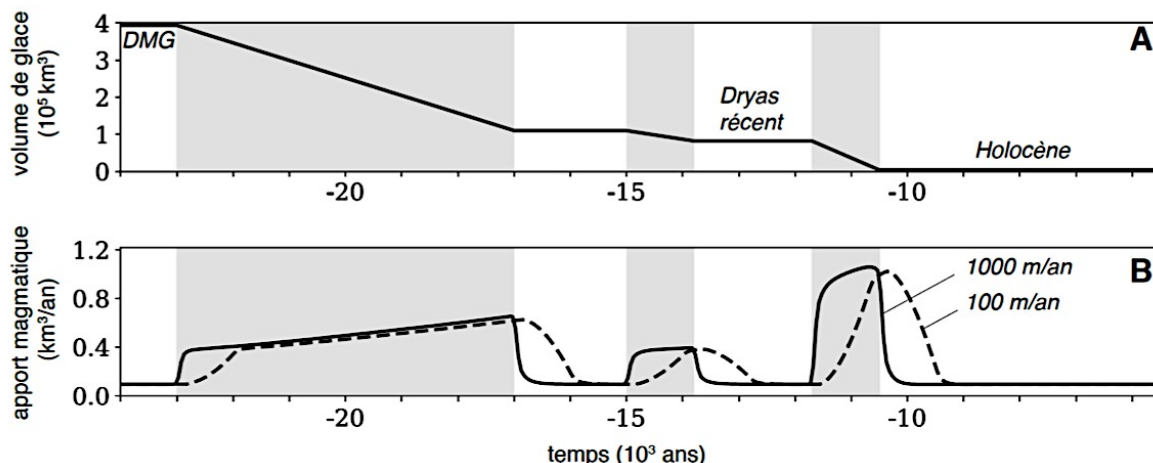
Document 3 – Modélisation de l'évolution de la hauteur du géoïde, en $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$. Les contours sont indiqués pour chaque $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ (source : Y. Hu & J. Freymueller, *Journal of Geophysical Research : Solid Earth*, 2019)

Question 2 – Expliquez ce qu'est le géoïde et comment on le construit.

Question 3 – Décrivez la variation de hauteur du géoïde dans cette région d'Alaska. Expliquez cette évolution. Pourquoi les chercheurs doivent-ils tenir compte de la viscosité de l'asthénosphère dans leur modèle ?

B. La déglaciation de l'Islande

Le maximum glaciaire de la dernière glaciation, appelée Würm, date d'environ 23 000 ans. La fonte des glaces associée à la sortie de cette dernière ère glaciaire s'est étendue entre – 23 000 et – 10 500 ans. Différents indicateurs paléoclimatiques, nous permettent d'estimer l'étendue des glaciers islandais et leur évolution dans le temps depuis 23 000 ans (depuis ~ 10 500 ans, leur étendue a peu varié). L'étude des coulées de lave a quant à elle permis de retracer les remontées de lave en Islande pendant cette période.



Document 4 – (A) reconstruction du volume de glace recouvrant l'Islande au cours du temps et (B) flux de magma arrivant dans des chambres magmatiques crustales. Les deux courbes correspondent à deux hypothèses différentes de vitesse de remontée du magma. Les zones grises représentent les différentes phases de fonte de la glace. DMG : Dernier Maximum Glaciaire (Source : Eksinhol & al., 2019)

Question 4 – Établir une corrélation entre les graphiques A et B. Proposez alors deux hypothèses reliant volume de glace et volcanisme.

Question 5 – Proposez une hypothèse expliquant l'influence du climat sur l'activité volcanique. Vous accompagnerez votre modèle d'un schéma clair et rigoureux.