

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE LYON

Concours d'admission session 2025

Filière universitaire : Second concours

COMPOSITION DE GEOLOGIE

Durée : 3 heures – 20 pts, 14 questions

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

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

A) Structure et évolution du centre éruptif dans son contexte géodynamique régional (11 pts)

1. A l'aide de la carte de la figure 1 et/ou de la carte fournie en annexe A.3, faites un diagramme retraçant l'évolution de la position du centre éruptif actuellement dans la zone de Yellowstone et estimez sa vitesse de déplacement (en *cm/an*). [1 pt]
2. Que vous évoque cette migration d'un point de vue de la tectonique des plaques ? Explicitez vos hypothèses. Quel est l'azimut (entre 0° et 360°, *sens horaire*) du vecteur du déplacement *apparent* du centre éruptif ? Citez d'autres exemples de migration de centres éruptifs, actuels et passés, puis discutez l'origine potentielle des magmas émis. [2 pts]
3. A l'aide des documents de la figure 2, décrivez la répartition des séismes en profondeur et le long d'un profil Est-Ouest dans la zone de Yellowstone. Comparez avec vos

connaissances sur la transition cassant-ductile et les enveloppes rhéologiques de la lithosphère (vous pouvez par exemple faire une coupe et y placer l'isotherme 350°C). Esquissez l'enveloppe rhéologique pour la limite Ouest de la coupe et comparez à celle fournie au niveau du centre de Yellowstone. Estimez le gradient géothermique (en °C/km) à l'Ouest et au centre de Yellowstone, et discutez cette valeur. [3 pts]

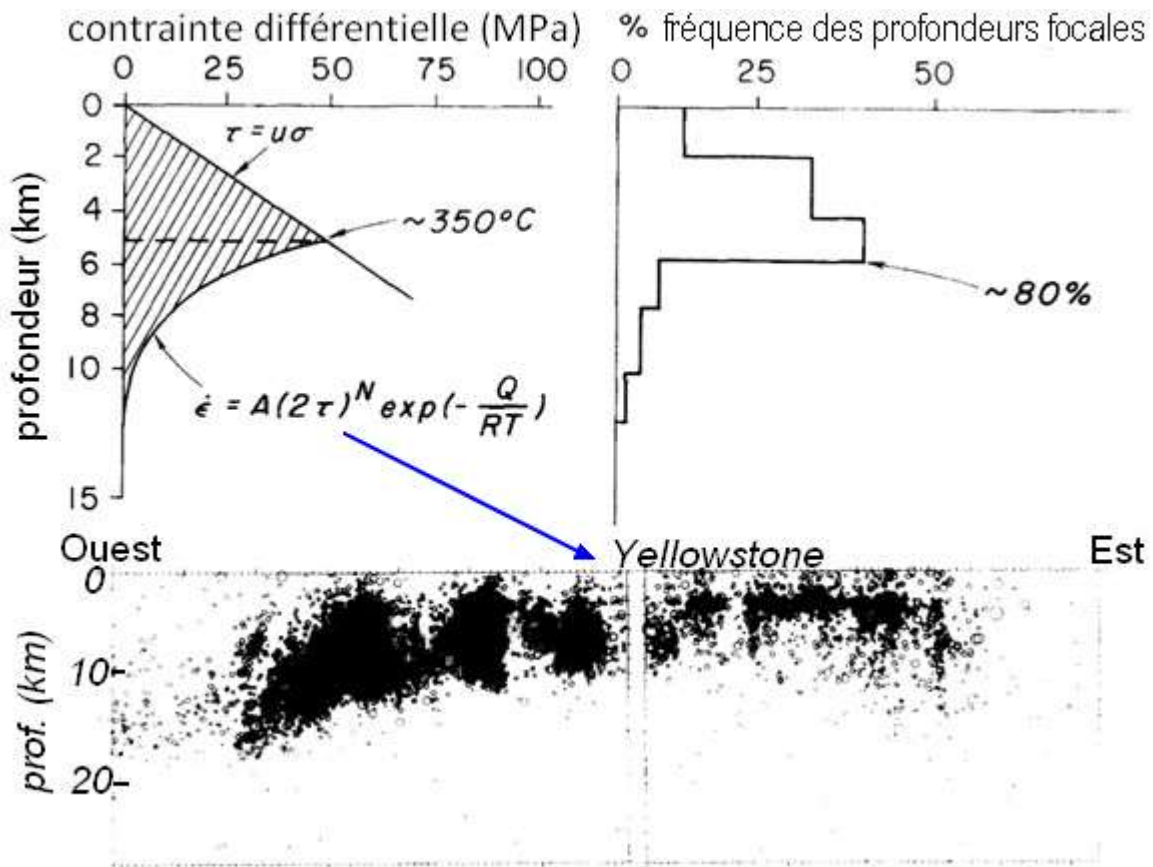


Figure 2 : (haut, gauche) Enveloppe rhéologique pour une lithosphère continentale riche en quartz, calculée pour la zone de Yellowstone. (haut, droite) pourcentage de fréquence des profondeurs focales pour la zone de Yellowstone. (bas) coupe (X=Y) localisant les hypocentres des évènements à travers la zone de Yellowstone. D'après Smith & Braile (1994).

4. La zone de Yellowstone se situe dans la partie Nord-Est de la province tectonique du *Basin & Range* qui couvre une large partie de l'Ouest américain du Canada au Mexique, et qui se caractérise par des chaînons montagneux abrupts séparés par des vallées plates (voir carte et photo en Annexe 2 et 3). A l'aide de ces informations et des documents fournis, commentez le régime tectonique (en terme de cinématique des plaques par ex.) dans la région et proposez une interprétation pour la sismicité enregistrée. [1 pt]
5. Des déplacements de surface d'ordre du mètre ont été reportés sur des failles actives à l'Ouest du Yellowstone (étoile jaune sur figure 1). A l'aide de la figure 1 et des formules en Annexe 1, identifiez des failles potentiellement sismiques et proposez (en argumentant, notamment à l'aide de la question 4) une estimation de la magnitude maximale des séismes qui pourraient y avoir lieu. [2 pts]
6. Observez les figures issues d'études géophysiques fournies en Annexe 4. Que peut-on voir sur la section à 35 km de profondeur ? Proposez une interprétation à la lumière des questions précédentes. [1 pt]
7. Observez la section tomographique à 5 km (Annexe 5) et la sismicité associée et proposez une explication pour l'anomalie de vitesse d'onde S dans la zone du Yellowstone. [1 pt]

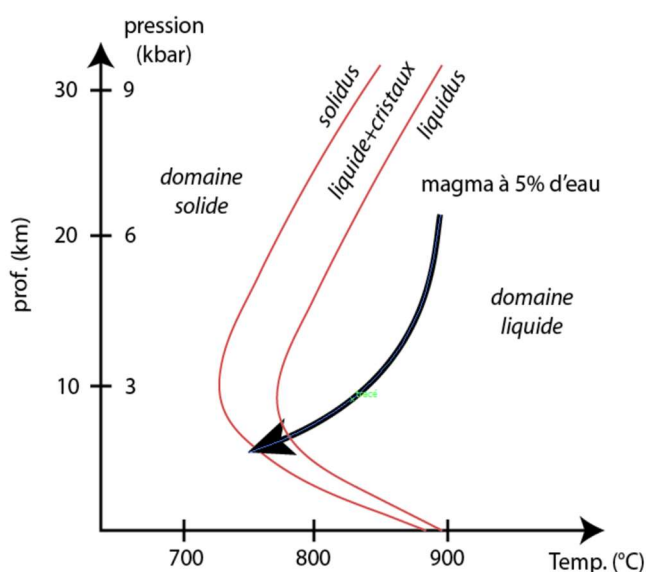
B) Processus magmatiques et conséquences volcaniques (9 pts)

8. Nous souhaitons connaître l'âge d'un tuf rhyolitique (*Lava creek ash bed*), c'est-à-dire un dépôt pyroclastique de type ignimbritique. Il scelle une faille bordière de la caldera du volcan de Yellowstone actuel. Des analyses isotopiques (données dans le tableau ci-dessous) ont été réalisées sur un feldspath potassique, sur une biotite et sur la roche totale. Après avoir brièvement rappelé le fonctionnement du système de datation Rb-Sr et à l'aide de la valeur de la demi-vie de ce système ($T_{1/2}$, en année : $4.88 \cdot 10^{10}$), estimez l'âge de ce dépôt en traçant une isochrone. [2 pts] [Pour rappel : $T_{1/2} = \ln(2)/\lambda$ avec λ la constante de décroissance et $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t = (e^{\lambda t} - 1) (^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_t + (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$]

analyse	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Sanidine (feldspath potassique)	51.2	0.71045
Biotite	11.7	0.71020
Roche totale	30.1	0.71032

9. A l'aide de la question 7 et du schéma ci-contre, reconstituez et commentez l'évolution d'un magma du type de celui ayant conduit à l'évènement de Lava Creek. A quelle profondeur se solidifie le magma ? Pourquoi ? [1 pt]

Figure 3 : diagramme P-T localisant les courbes de solidus et de liquidus déterminées expérimentalement pour une composition granitique (d'après Mehler, 1995). La flèche noire indique le chemin suivi par un magma comme ceux se mettant en place dans le cas d'étude.



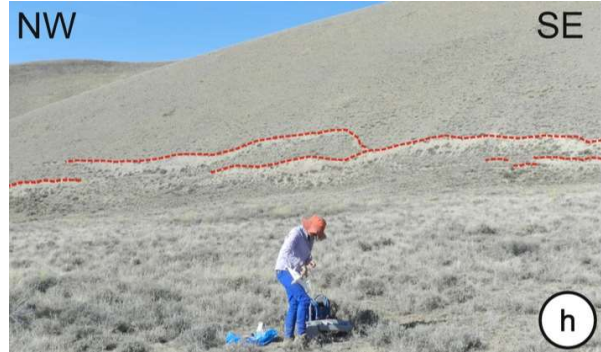
10. En vous basant sur les questions précédentes (notamment la valeur isotopique du Sr, normalement autour de 0.702 pour du matériel mafique ou ultramafique) et sur vos connaissances (par ex. les séries de Bowen), expliquez la formation d'ignimbrites rhyolitiques à Yellowstone. [1 pt]
11. Esquisser sur votre copie l'allure microscopique d'une rhyolite et son équivalent plutonique (à nommer). [1 pts]
12. A l'aide des questions précédentes et de tous les documents, proposez une coupe géologique à l'échelle de la croûte au niveau de Yellowstone à l'heure actuelle. [1.5 pt]
13. Des tufs volcaniques (épaisseur entre quelques cm au Texas et plusieurs mètres dans les bassins des états jouxtant la caldera) chimiquement analogues à l'échantillon de la question 8 ont été identifiés jusqu'à une grande distance de Yellowstone dans l'ouest américain (voir carte en Annexe 6). Qu'en concluez-vous sur le style de dynamique éruptive du super-volcan ? Estimez la quantité de produits volcaniques émis pendant la crise *Lava Creek*. [1.5 pt]
14. Expliquez brièvement les conséquences potentielles d'une telle éruption sur l'atmosphère terrestre, la machine climatique et sur la vie et l'humanité. [1 pts]

Appendices :

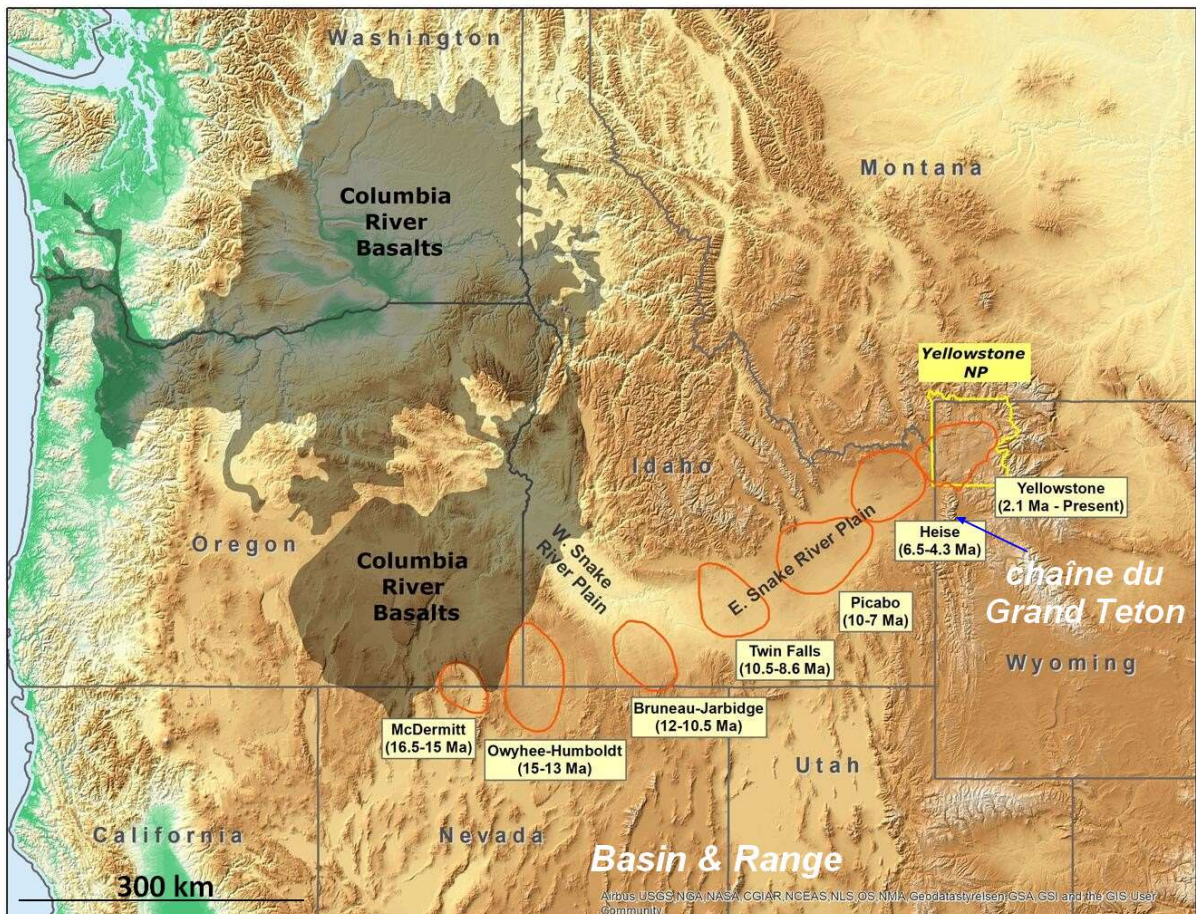
A.1 : Calcul du moment sismique M_0 :

$M_0 = \mu.S.D$ avec μ (rigidité de la roche) = $3 \times 10^{10} \text{ N.m}^{-2}$, S : surface du plan de faille, D : déplacement moyen des deux blocs le long de la faille.

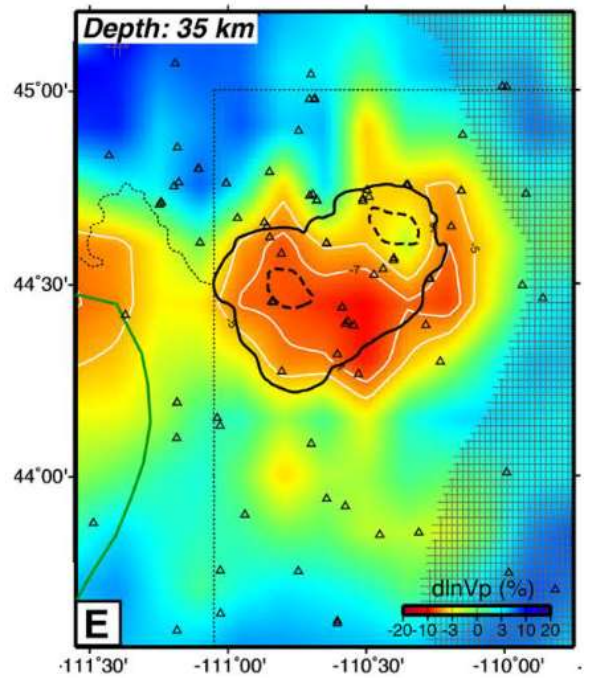
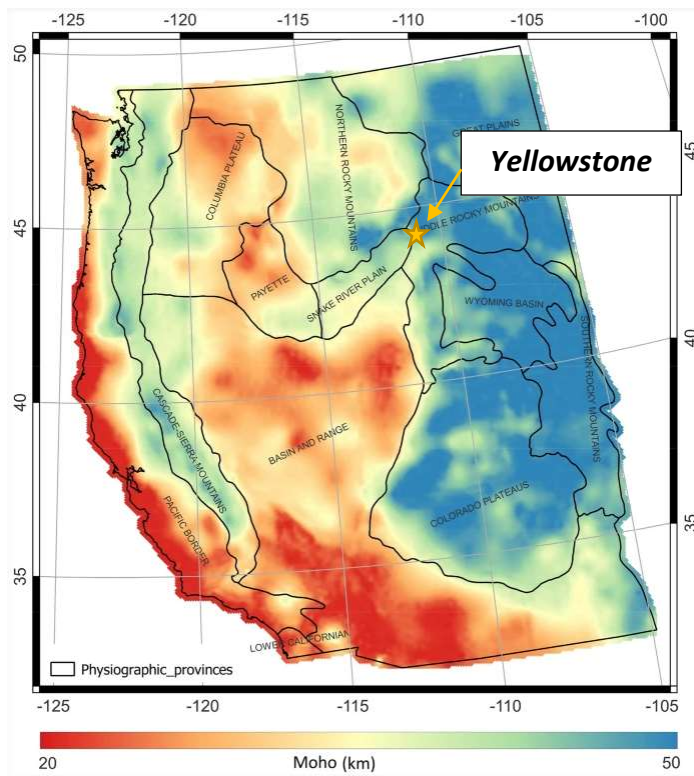
Magnitude du moment : $M_W = 2/3.\log_{10}(M_0) - 6.06$



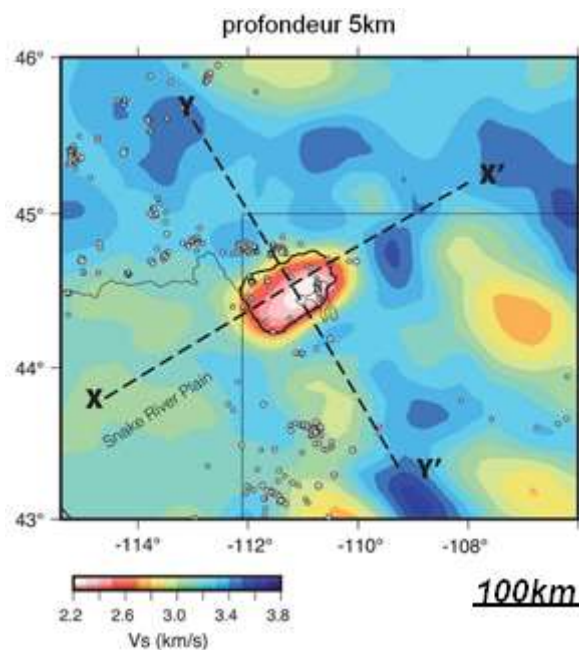
A.2 : (gauche) : chaîne du Grand Téton (le Nord est à droite sur la photo), à la sortie sud du parc de Yellowstone, abruptement limitée à son épaule Est par un demi-graben d'où est prise la photo. (droite) Photo de terrain prise sur la faille de Lost River dans l'Idaho, qui a cassé en 1983 (Bello et al., 2021), montrant un décalage (points rouges) de un à trois mètres.



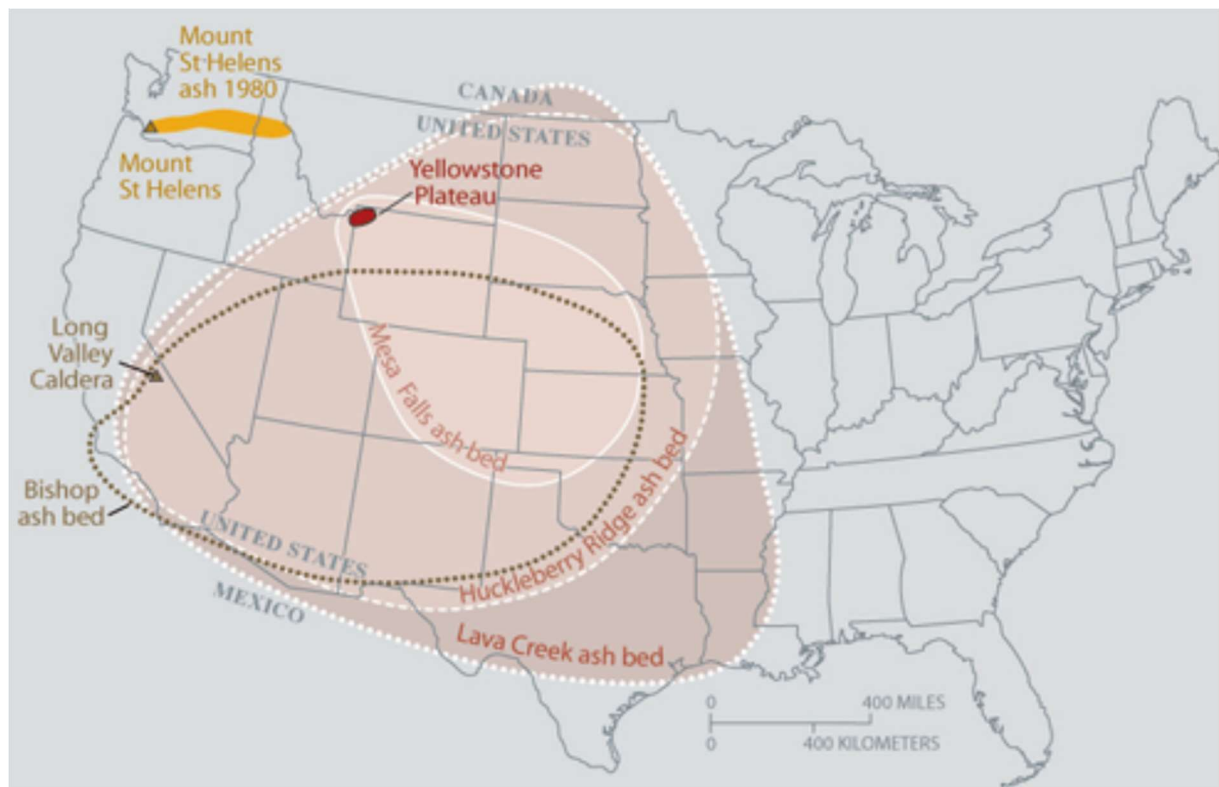
A.3 : Carte localisant la position du centre volcanique au cours du temps. Fond topographique illustrant la morphologie dans l'ouest américain. Source : USGS.



A.4 (gauche) Carte de la profondeur du Moho dans l'Ouest américain (d'après Shehata & Mizunaga, 2022). (droite) Tranche en structure en vitesse d'onde P ($d\ln V_p$: logarithme de la variation spatiale de vitesse) dans un modèle tomographique (isoprondeur = 35 km) de la zone de Yellowstone (contour noir) (d'après Huang et al., 2015).



A.5 : Tranche en structure en vitesse d'onde S dans un modèle tomographique (isoprondeur = 5 km) de la zone de Yellowstone (contour noir) (d'après Maguire et al. 2022).



A.6 : Carte des dépôts des principales éruptions du volcan de Yellowstone ainsi que des édifices du Long Valley caldera (Californie) et du Mt Saint Helens (Washington) pour comparaison. Source : USGS.
 * : Ash bed : niveau de cendres.