

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE LYON

Concours d'admission session 2022

Filière universitaire : Second concours

COMPOSITION DE GEOLOGIE

Durée : 3 heures – 20 pts

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

★ ★ ★

Structure et évolution du fossé rhénan du Cénozoïque à l'actuel

Lisez attentivement tout le sujet avant de commencer à répondre aux questions.

Partie I : Cartographie et évolution tectonique (3 pts)

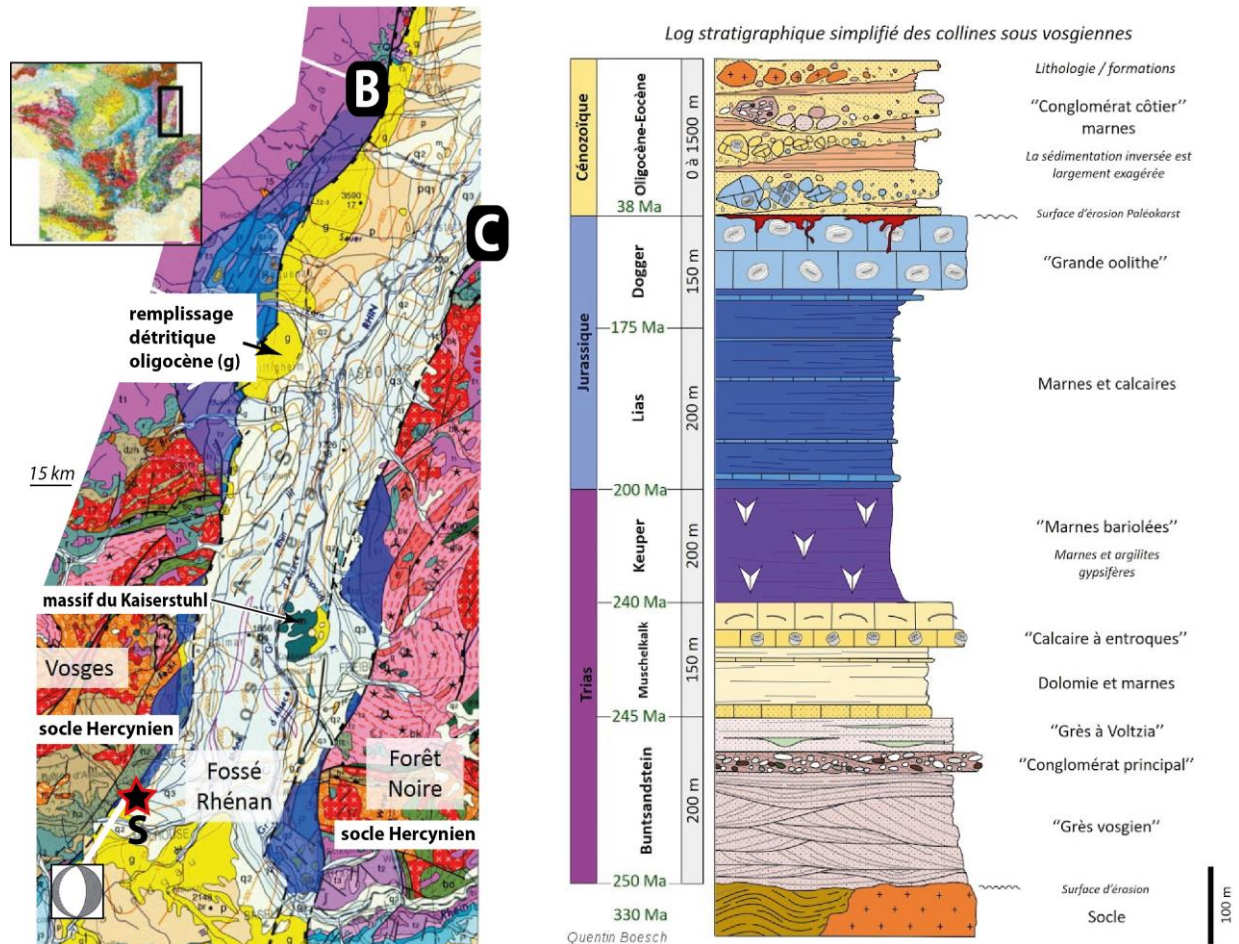


Figure 1 : (figure de gauche) Extrait de la carte géologique du 1/1000000^{ème} de la France (BRGM) localisant le fossé rhénan et ses failles bordières. Le massif volcanique du Kaiserstuhl (m : miocène) constitue un haut topographique émergeant de la plaine alluviale du Rhin. Etoile « S » : évènement sismique et son mécanisme au foyer (partie 2). Points B et C : emplacement des stations sismiques (partie 2). (figure de droite) Log stratigraphique simplifié des terrains bordants le fossé rhénan (tiré du site planet-terre, travail de Q. Boesch).

Q1 : Esquissez à main levée un schéma structural du fossé rhénan en regroupant les terrains de manière appropriée. (0.5 pt)

Q2 : Nommez les différents éléments structuraux du « fossé » en question et expliquez la surrection des massifs des Vosges et de la forêt Noire. (0.5 pt)

Q3 : A l'aide des documents des figures 1 et 2 et de vos connaissances personnelles sur ce genre d'objet géologique, proposez une reconstitution de son histoire géologique depuis la fin du Paléozoïque. Soyez brefs et factuels (liste de tirets recommandée). (2 pts)

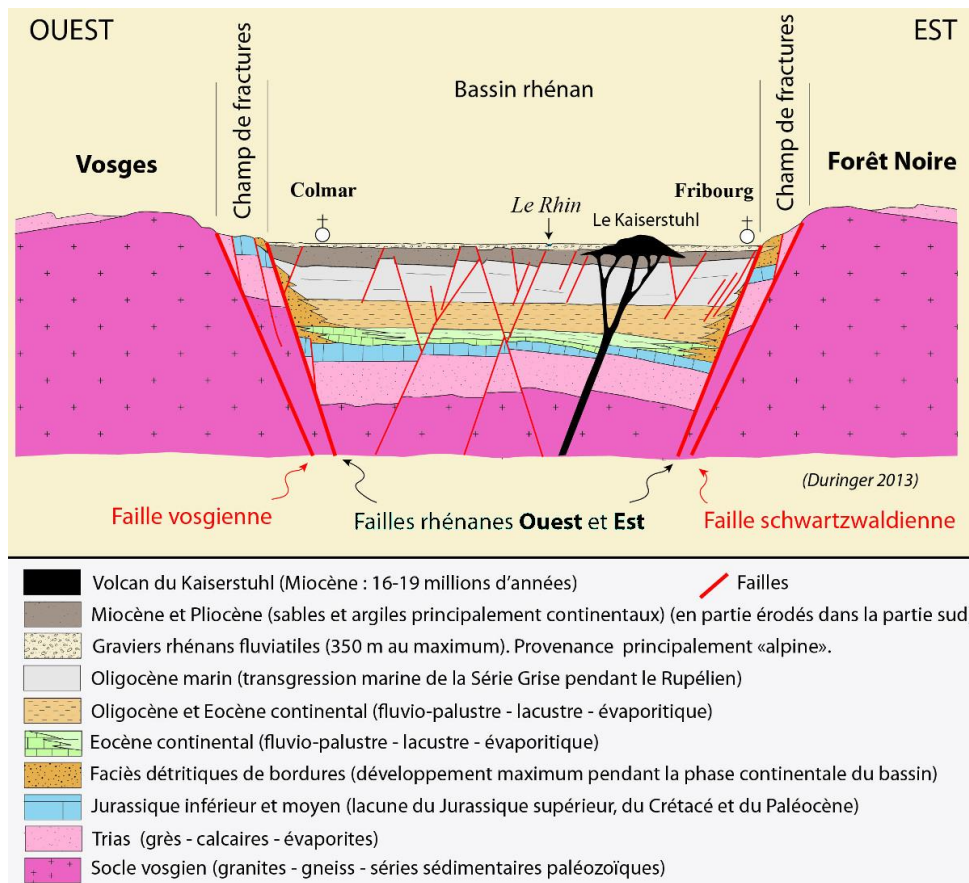


Figure 2 : Coupe simplifiée O-E passant le massif du Kaiserstuhl (tiré du site planet-terre)

Partie II : Sismicité (4 pts)

Deux stations sismiques B et C (localisées en figure 1) enregistrent un séisme superficiel (<1km de profondeur) survenu à proximité d'une des failles bordières. Le tableau suivant nous renseigne sur le temps de parcours des ondes P qui ont été réfléchies sur le Moho (point que l'on nommera M) jusqu'à ces deux stations. La croûte est supposée homogène et avec une vitesse des ondes P constante égale à 6.25 km/s.

Station	Distance de l'épicentre (km)	Temps de trajet des ondes P réfléchies (s)
B	234,5	38,3
C	208,7	34,2

Tableau 1 : Données de localisation et de temps d'arrivée des ondes aux stations B et C (voir figure 1)

Q1 : Que pouvez-vous dire du mécanisme au foyer du séisme du point S ? Faites une coupe simplifiée localisant le foyer du séisme, le Moho et le sismomètre. Montrez le trajet de l'onde et expliquez pourquoi le Moho génère des ondes réfléchies. (2 pts)

Q2 : A l'aide du théorème de Pythagore et des données pour ces deux stations, estimez la profondeur moyenne du Moho sous le fossé rhénan. Discutez l'incertitude de votre résultat. (2 pts)

Partie III : Structure thermique du fossé rhénan (5 pts)

Q1 : Le tableau suivant indique des relevés de température pour des forages effectués à travers le monde dans des contextes géodynamiques variés. Dans un diagramme profondeur-température, représentez ces valeurs et comparez-les au gradient géothermique terrestre moyen. (0.5 pt)

<i>Lieu</i>	<i>profondeur (km)</i>	<i>température (°C)</i>
Le Mayet, Massif central	0,8	33
Ogachi, Japon	1	270
Bouillante, Guadeloupe	1	250
Fresnes, France	1,54	72
Eschau, Alsace	1,62	117
Lipsheim, Alsace	1,76	94
Kyrdalshryggur, Islande	2	350
Hijiori, Japon	2,2	270
Soultz, Alsace	5,01	203
KTB, Saxe, Allemagne	9,1	260
Kola, Russie	12,2	180

Tableau 2 : Exemples de températures mesurées dans des sites de forage à travers le monde. Sources variées.

On ignore la structure thermique profonde sous l'axe du fossé rhénan. Les données les plus profondes obtenues viennent de Soultz-sous-Forêts, site géothermique dans le nord de l'Alsace.

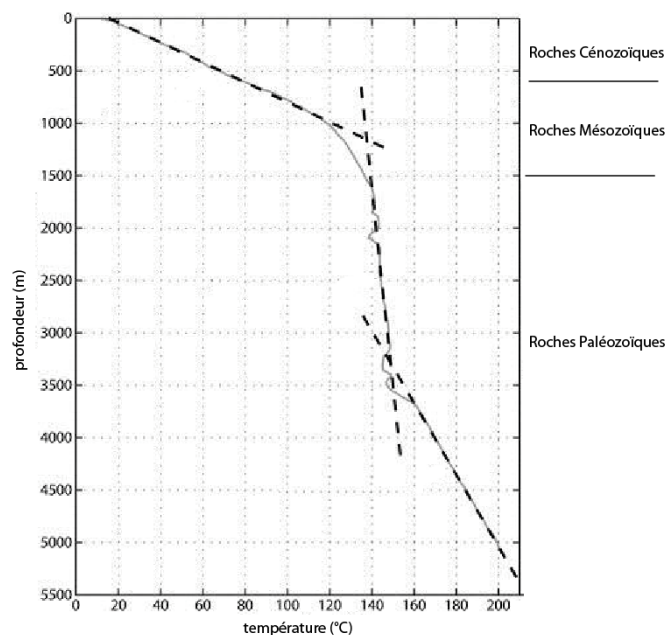


Figure 3 : Structure thermique mesurée à Soultz-sous-Forêt (Alsace). La courbe grise indique la température et les droites en pointillés des pentes locales liées aux variations géologiques le long du forage. Données d'après Genter et al. (2010).

Q2 : Observez la figure 3 et calculez les valeurs des pentes locales. Quelles sont les sources potentielles de chaleur dans ce contexte géologique précis ? Peut-on extrapoler le gradient de surface en profondeur ? On rappelle qu'on a défini, partie II, un point M situé à l'axe du fossé rhénan et à la profondeur du Moho, qu'on a déterminée. A l'aide de vos connaissances géologiques, géophysiques

et de la question suivante, proposez une gamme de température qui vous semble raisonnable pour le point M sous l'axe du fossé. Justifier. (1.5 pt)

Q3 : Combien de temps a-t-il fallu pour que l'énergie thermique sous le fossé au Moho (point M) soit transférée en surface ? Pour calculer cela, vous utiliserez une solution généralisée de l'équation de Fourier : $t = x^2 / \alpha$ avec x = la profondeur, t le temps et α la diffusivité thermique en m^2/s (typiquement 0.001 pour un granite). Commentez cette durée et son applicabilité au problème. (2 pts)

Q4 : En utilisant les données géologiques de la partie I, comparez la durée de résorption de l'anomalie thermique calculée en Q3 (c'est-à-dire, le retour à la moyenne thermique crustale non perturbée) et l'âge de formation du fossé. Que remarque-t-on ? (0.5 pt)

Q5 : Les images tomographiques réalisées plus au Nord dans la région de l'Eifel montrent des anomalies très profondes de la vitesse des ondes P sur une centaine de km de large à l'aplomb sous la prolongation nord du fossé (Figure 4). En vous basant sur la question précédente, que pouvez-vous en conclure sur l'activité « récente » du fossé ? (0.5 pt)

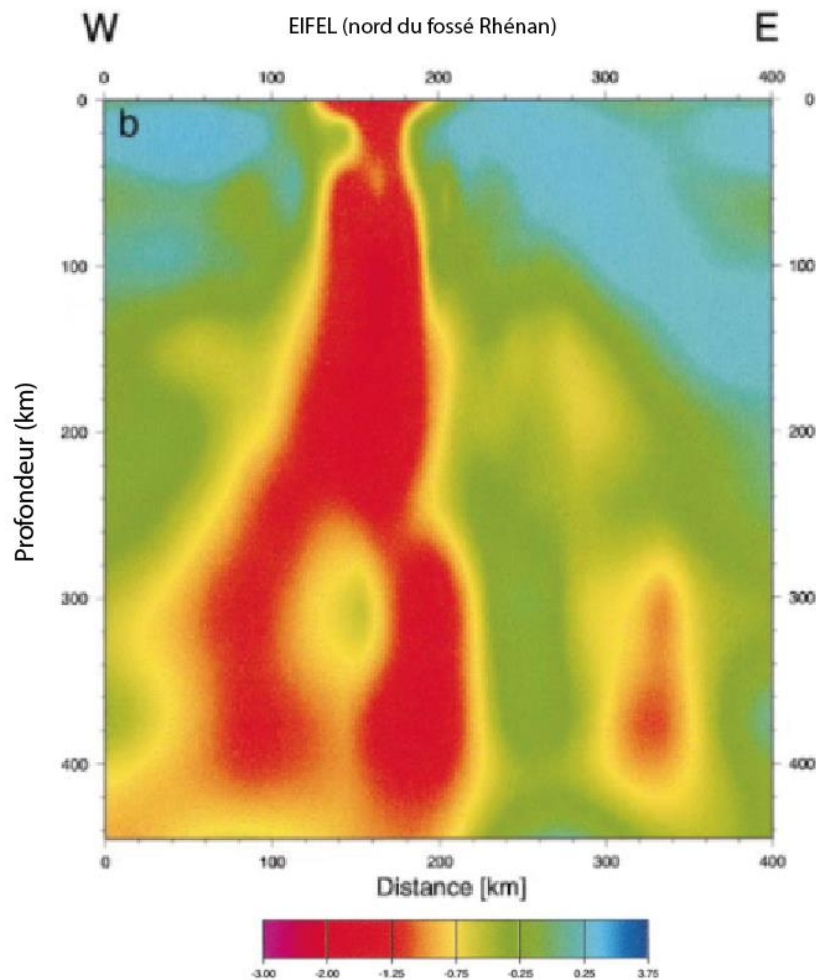


Figure 4 : Structure tomographique dans la région de l'Eifel, au nord du fossé rhénan, montrant les anomalies d'ondes P par rapport à un modèle de référence. L'échelle de couleurs représente l'anomalie de vitesse des ondes P, en %, par rapport au modèle de Ritter et al., 2001, EPSL.

Partie IV : Géothermie et mécanique des roches (2 pts)

Des expériences géothermiques consistant à injecter de l'eau dans les aquifères profonds près de Strasbourg ont eu pour conséquence la formation de nombreux micro-séismes ($M_w=3$ à 4) en Juin 2021.

Q1 : Pourquoi avoir choisi cette région de France pour ce projet de géothermie ? Auriez-vous de par le monde d'autres sites à fort potentiel à suggérer ? (0.5 pt)

Q2 : Expliquez brièvement le phénomène de sismicité induite à l'aide de vos connaissances géologiques et de concepts généraux de mécanique des roches (e.g. cercle de Mohr, enveloppes rhéologiques...). (1.5 pts)

Partie V : Pétrologie et géochimie (4 pts)

La figure ci-dessous est une photographie d'un affleurement de croûte inférieure continentale au Canada (Ontario). En annexe, on fournit une grille pétrogénétique. Cette partie interroge la composition et les processus ayant pu affecter, notamment, la croûte inférieure du fossé rhénan.



Figure 5 : Photographie de terrain montrant un affleurement de croûte inférieure archéenne au Canada (Ontario)

Q1 : Quelle est la composition lithologique d'une croûte inférieure en contexte continental ? Pourquoi ne trouve-t-on pas de croûte inférieure le long du fossé rhénan ? (0.75 pt)

Q2 : Localiser les conditions Pression (P)-Température (T) du point M dans la grille pétrogénétique donnée en annexe (pour rappel : $P = \rho(\text{densité}) * g * z$ avec P en Pa, ρ en kg/m^3 , g en m.s^{-2} , z en m). (0.75 pt)

Q3 : A quel faciès métamorphique faut-il s'attendre à la base de la croûte inférieure au point M (défini dans la partie II) ? Citez des minéraux cristallisant à ces conditions pour ces lithologies. De la fusion partielle est-elle envisageable ? Justifiez. (1 pt)

Le massif du Kaiserstuhl est célèbre pour ses laves (Fig.6 gauche) dont certaines ont des chimies de téphrites à olivine, de phonolites et de carbonatites (un type de lave riche en carbonates qu'on connaît également au volcan Lengai en Tanzanie).

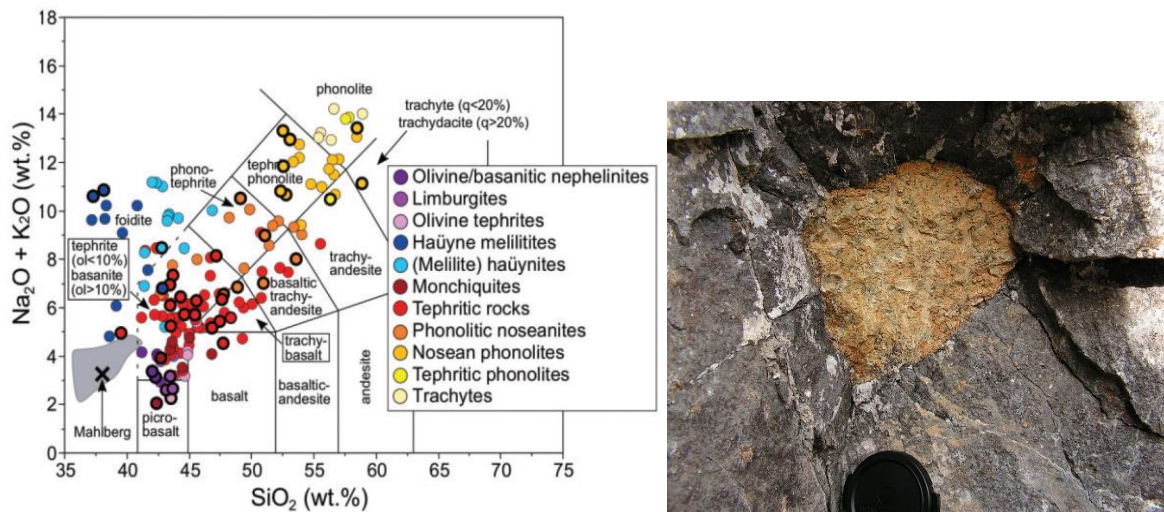


Figure 6 : (gauche) Diagramme SiO_2 versus $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ montrant les chimies des roches échantillonnées dans le massif du Kaiserstuhl (Braunger et al., 2018). (droite) Photographie d'un xénolite (roche exotique entraînée par le magma) de péridotite dans une néphéline à olivine du massif du Kaiserstuhl.

Q4 : A l'aide des données de la figure 6 et de vos connaissances sur les séries magmatiques, caractérisez la distribution ainsi que l'affinité géochimique des laves du Kaiserstuhl. Etait-ce prévisible au vu du contexte géodynamique ? Expliquez la nature des processus en jeu. (1 pt)

Q5 : Que peut suggérer cette chimie ainsi que la nature des xénolites dans les laves de cet édifice volcanique quant à la source du magma sous l'axe du fossé ? (0.5 pt)

Annexes

Eon		Ere		Période		Epoque		Etage		Âge (Ma)			
Phanérozoïque		Cénozoïque		Quaternaire		Holocène				0,0117			
						Pléistocène		Supérieur Moyen Calabrien Gélasien					
				Néogène		Pliocène		Plaisancien Zancléen		2,58			
						Miocène		Messinien Tortonien Serravallien Langhien Burdigalien Aquitaniens		5,333			
								Oligocène		Chatthien Rupélien		23,03	
				Paléogène		Eocène		Priabonien Bartonien Lutétien Yprésien		33,9		56,0	
		Paléocène				Thanétien Sélandien Danien		66,0					
		Mésozoïque		Crétacé		Supérieur		Maastrichtien Campanien Santonien Coniacien Turonien Cénomaniens		100,5			
						Inférieur		Albien Aptien Barrémien Hauterivien Valanginien Berriasien		~ 145			
				Jurassique		Supérieur		Tithonien Kimméridgien Oxfordien		163,5			
						Moyen		Callovien Bathonien Bajocien Aalénien		174,1			
				Inférieur		Toarcien Pliensbachien Sinémurien Hettangien		201,3					

Extrait de l'échelle stratigraphique

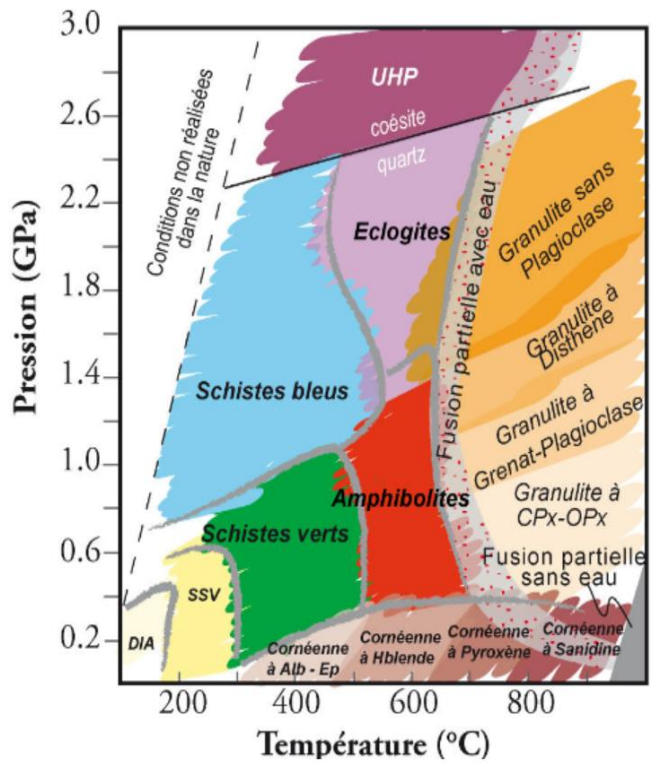


Diagramme Pression-Température et faciès métamorphiques