

## CONCOURS G2E

### GÉOLOGIE

Durée : 3 heures

---

Les calculatrices programmables et alphanumériques ne sont pas autorisées. Les téléphones portables, "smartphones" et tout autre objet connecté doivent être éteints au cours de l'épreuve et ne doivent en aucun cas être utilisés même à titre de montre.

L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est strictement interdit.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il en fait mention dans sa copie et poursuit sa composition. Dans ce cas, il indique clairement la raison des initiatives qu'il est amené à prendre.

Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question posée.

**La rédaction se fera uniquement à l'encre bleue ou noire et l'utilisation du blanc correcteur et effaceur est interdite. Les découpages et collages sur la copie sont interdits.**

Une grande attention sera apportée à la clarté de la rédaction et à la présentation des différents schémas.

---

**Attention ! Les figures 2, 4, 5 et 14, sont à rendre avec votre copie, sans découpage ni collage.**

**Pour certaines questions associées aux figures à rendre, les commentaires sont à rédiger exclusivement dans le cadre prévu à cet effet pour chaque document. Tout texte écrit hors de ce cadre ne sera pas pris en compte.**

### LE FOSSÉ RHÉNAN : DE LA GÉOLOGIE A LA GÉOTHERMIE

Le fossé Rhénan supérieur fait partie d'un ensemble de rifts ouest-européens s'étendant de la mer Méditerranée jusqu'à la mer du Nord. C'est une structure extensive remarquable mise en place principalement pendant le Cénozoïque (Fig.1).

Depuis de nombreuses années, le fossé Rhénan constitue une cible privilégiée pour la géothermie. Le site de Soultz-Sous-Forêts qui était initialement dédié à l'expérimentation et à la recherche, procure actuellement de l'électricité en Alsace. De nombreux autres projets ont vu le jour pour produire de l'électricité ou de la chaleur au cœur de cette structure.

#### 1. STRUCTURE DU FOSSÉ RHÉNAN (5 points)

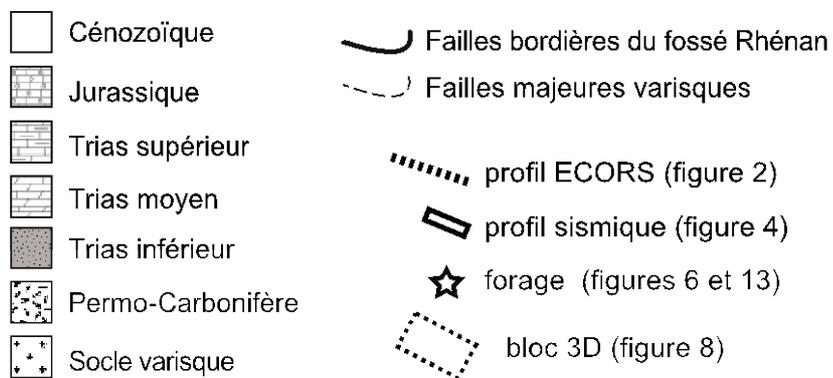
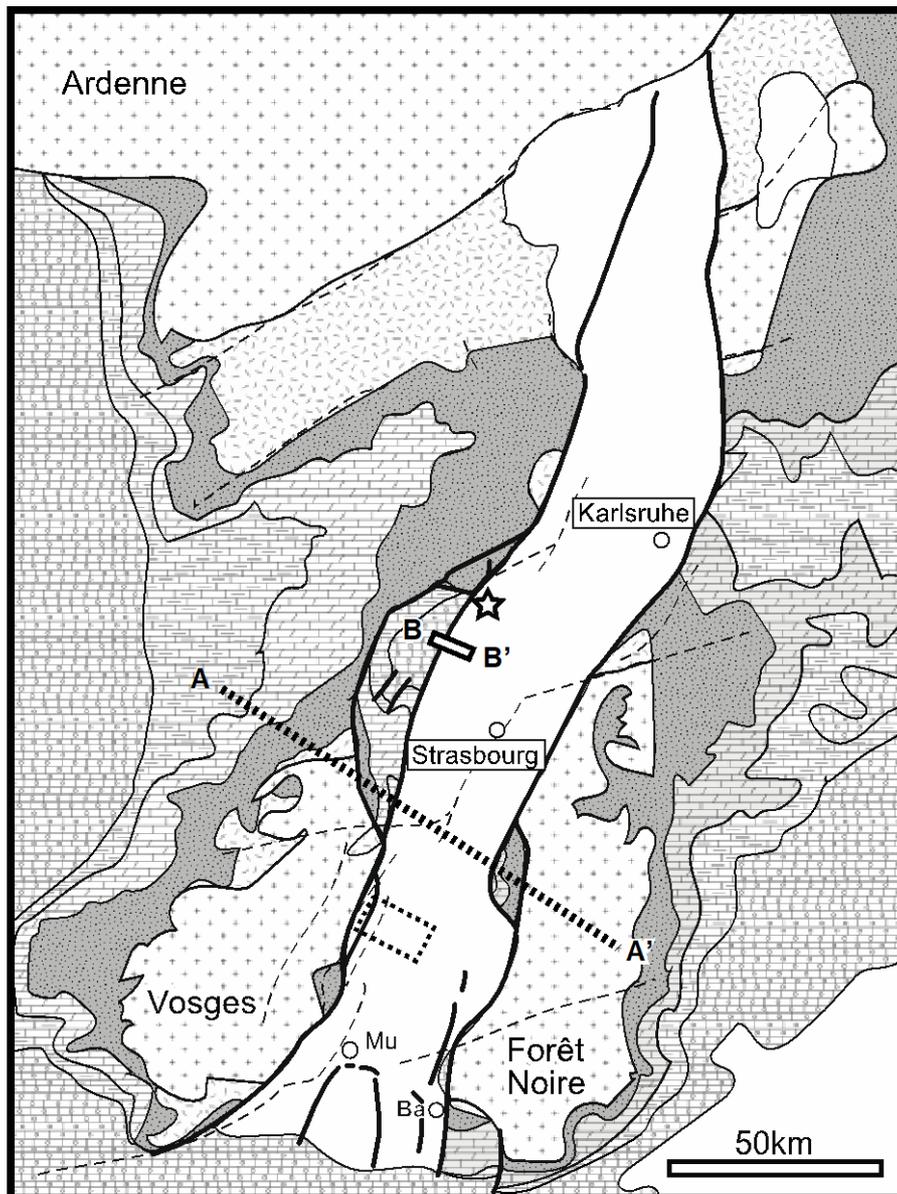
La figure 2 présente une coupe ouest-est du fossé Rhénan à l'échelle crustale.

**1.1.** Complétez la figure 2 (**à rendre**). Des noms, et indications sont attendus, *a minima*, à l'emplacement des pointillés sur la figure. Un espace est laissé à votre disposition sous cette figure pour apporter des commentaires complémentaires concernant certains objets annotés.

**1.2.** En vous aidant de la figure 3, définissez simplement un réflecteur sismique et rappelez les trois lois qui régissent la propagation des ondes sismiques.

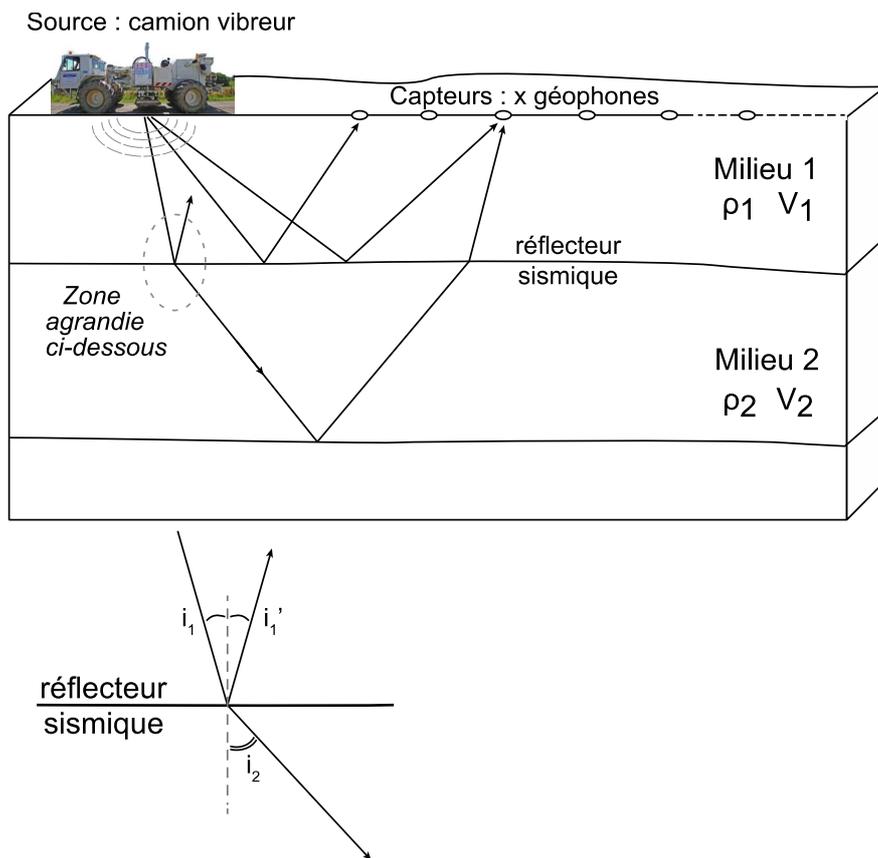
**1.3.** En milieu naturel, le coefficient de réflexion des ondes sismiques est-il très fort ou bien très faible ? Expliquez pourquoi ce paramètre est très important afin d'obtenir une bonne acquisition sismique.

**1.4.** La figure 4 présente un profil sismique caractéristique des bordures de fossé d'effondrement. Légendez et interprétez ce document (**à rendre**) le plus précisément possible en mettant en avant les structures ainsi que les surfaces sédimentaires remarquables. Un espace est laissé à votre disposition sous celui-ci pour ajouter une légende et quelques commentaires.

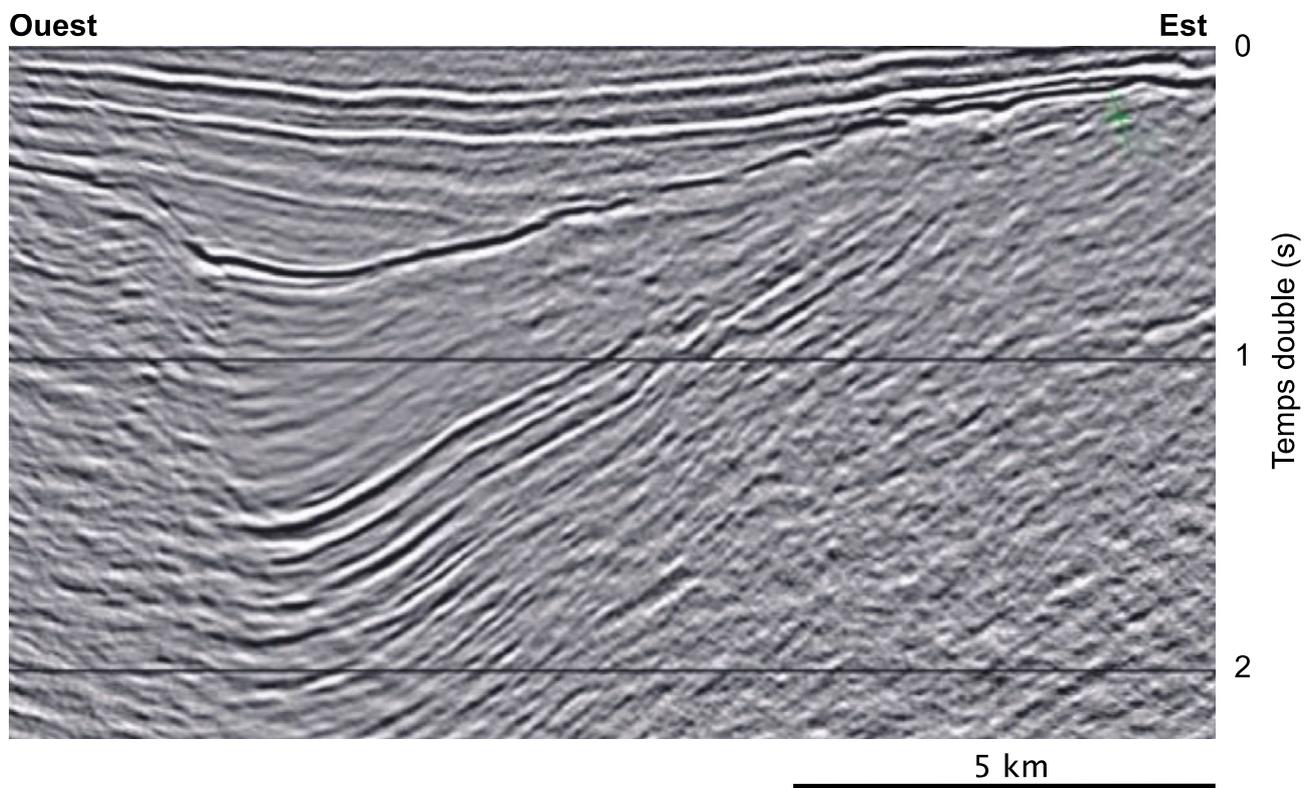


**Figure 1.** Carte géologique simplifiée du fossé Rhénan supérieur.

Le trait gras pointillé localise le profil A-A' de la figure 2. Le petit rectangle localise le profil sismique B-B' de la figure 4. L'étoile noire localise le forage des colonnes lithostratigraphiques des figures 6 et 13. Enfin, le rectangle noir pointillé localise le bloc 3D de la figure 8. Ba : Bâle ; Mu : Mulhouse.



**Figure 3.** Principe d'acquisition des profils sismiques réflexion.  
La zone agrandie présente le nom des angles à utiliser dans les formules de la question 1.2.



**Figure 4.** Profil sismique réflexion B-B' le long de la bordure occidentale du fossé Rhénan (localisation sur la figure 1).  
Afin de répondre à la question, vous disposez de la même figure en version "calque" à compléter avec les documents à rendre.

**1.5.** Expliquez quels sont les paramètres, en termes de contexte, d'objet(s) et de mécanisme de déformation, indispensables à la genèse de la structure que vous avez identifiée sur la figure 4.

**1.6.** Le front de taille de la carrière de Freyming-Merlebach (Moselle) expose les séries sédimentaires du Trias inférieur qui ont été affectées par une déformation régionale (Fig. 5). Dessinez quelques horizons sédimentaires ainsi que les objets structuraux remarquables directement sur la figure 5 (**à rendre**).

Les structures observées sur cet affleurement sont-elles en adéquation avec les observations réalisées sur le profil sismique précédent (Fig. 4) et avec la déformation régionale ? Justifiez votre réponse. *La réponse se fera uniquement dans l'espace disponible sous la figure 5.*

## **2. STRATIGRAPHIE ET SÉDIMENTATION RÉGIONALE (7 points)**

La figure 6 présente la partie supérieure de la colonne lithostratigraphique relevée lors de la réalisation d'un forage effectué le long de la bordure occidentale du fossé Rhénan. Le forage est localisé sur la figure 1. La limite soulignée en rouge entre le Jurassique et l'Éocène correspond à une discordance majeure observable à l'échelle du fossé Rhénan.

**2.1.** Définissez la notion de discordance.

**2.2.** Quelle période géologique manque-t-il ? Comment pouvez-vous expliquer cette lacune majeure (Fig.6) ?

**2.3.** Outre la discordance majeure, localisez les autres discordances observables sur la colonne de la figure 6 et expliquez brièvement leurs origines possibles.

Certains faciès du Mésozoïque (Fig. 6) sont illustrés (Fig. 7). Au Trias inférieur (Figs. 7a et 7b), la sédimentation est essentiellement silicoclastique, en domaine continental. Au Trias moyen (Figs. 7c et 7d) et au Jurassique (Figs. 7e et 7f), se développent des plates-formes carbonatées.

**2.4.** L'affleurement de Trias inférieur expose entre autres des lamines obliques au sein de différentes strates (Fig. 7a), comment expliquez-vous la formation de tels faisceaux de lamines ?

**2.5.** Décrivez la lame mince (Fig. 7b) et proposez une (des) origine(s) possible(s) pour cette roche. Donnez un nom précis à cette roche.

**2.6.** Décrivez l'affleurement du Trias moyen (Fig. 7c).

Au sein de la formation (Fig. 7c), de nombreux fossiles sont présents (bivalves, gastéropodes, échinodermes, etc.). Cette formation a pu être datée grâce au fossile de la figure 7d.

**2.7.** Comment appelle-t-on un fossile qui permet de dater précisément une formation sédimentaire ? Et quels sont les trois critères que doivent remplir ce type de fossiles ?

**2.8.** Le fossile (Fig. 7d) se présente sous la forme d'une coquille planispiralée et cloisonnée. L'insertion des cloisons sur la coquille correspond à la ligne de suture relativement simple figurée en rouge (la flèche indique la partie antérieure de l'organisme). A quel groupe appartient ce fossile ?

**2.9.** L'échantillon du Jurassique est majoritairement formé par des grains de taille millimétrique (Fig. 7e) dont vous avez un agrandissement sur la photographie de la lame mince (Fig. 7f). Expliquez le mode de formation de ces grains et nommez-les. Décrivez la lame mince (Fig. 7f) et donnez un nom à cette roche selon la terminologie appropriée.

Concernant la sédimentation cénozoïque dans le fossé Rhénan, outre de nombreux renseignements 1D issus de forages (Fig. 6), on dispose aussi de données liées aux affleurements, aux profils sismiques mais aussi à l'intense exploitation minière historique de la région. L'ensemble de ces informations a permis de réaliser un bloc 3D présenté sur la figure 8.

**2.10.** Décrivez la roche de la figure 9 et nommez-la précisément.

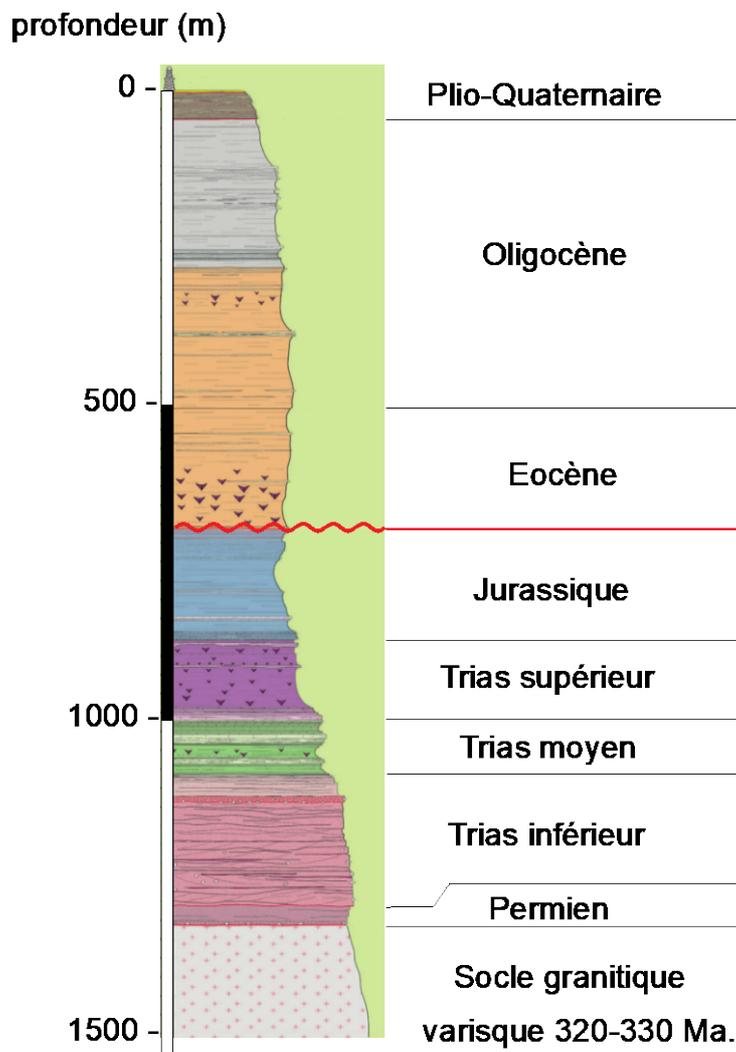
**2.11.** A quelle(s) famille(s) de roches sédimentaires appartient les différents faciès de remplissage du bassin (Fig. 8) ?

**2.12.** Sur la figure 8, on observe une distribution pétrographique particulière. Pour un même intervalle de temps (cadre rouge sur la figure 8), comment expliquez-vous la répartition spatiale des différentes roches sédimentaires ? Comment nomme-t-on cette répartition ?

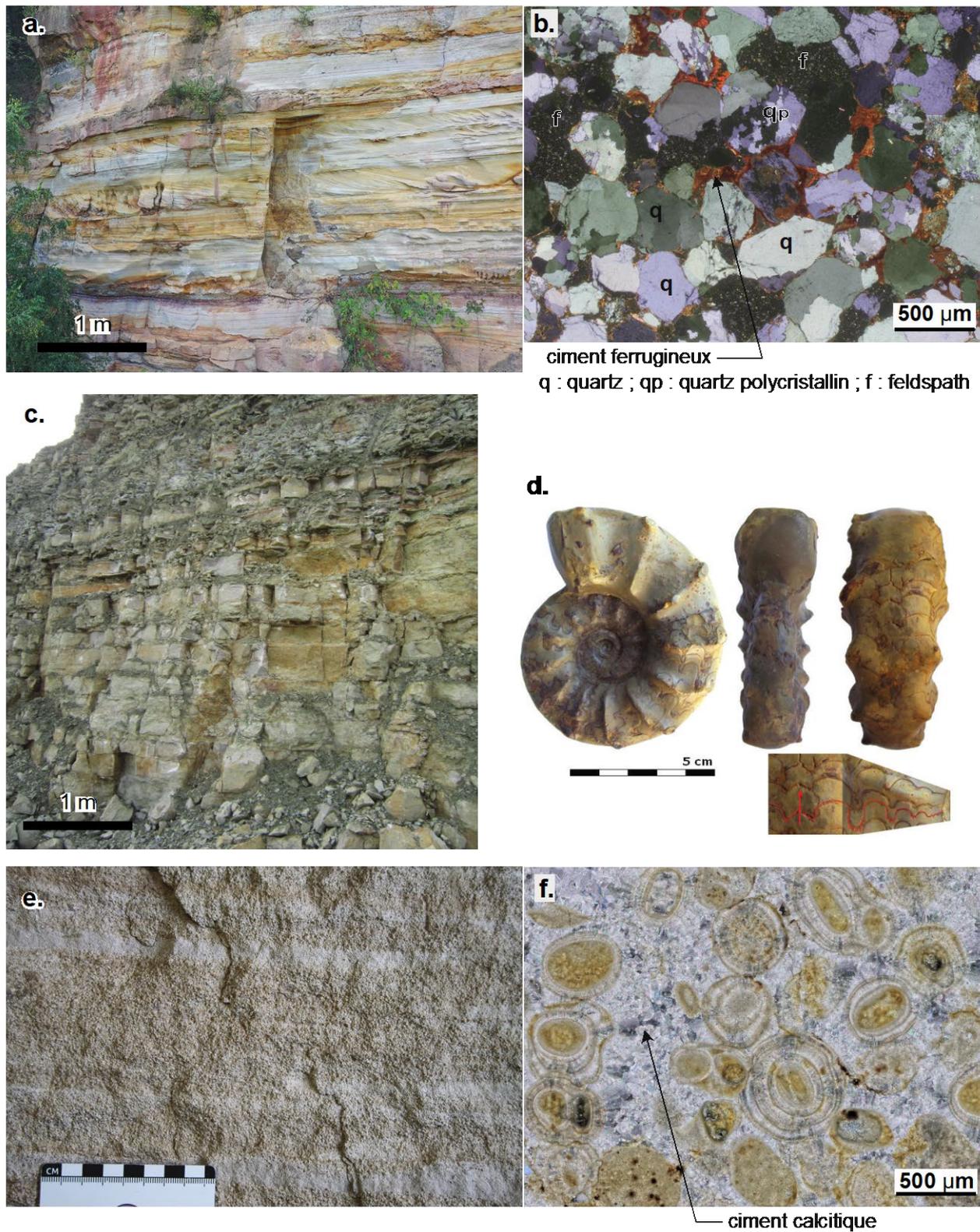
Proposez un modèle de dépôt prenant en compte des facteurs physiques, chimiques et/ou biologiques, permettant d'expliquer la répartition spatio-temporelle des faciès sédimentaires.

**2.13.** À partir de vos connaissances, expliquez à l'aide d'un schéma l'ordre d'apparition des différentes évaporites pour une eau marine à salinité normale.

**2.14.** Les évaporites présentes dans cette zone (Fig. 8) sont exclusivement des chlorures. Comment l'expliquez-vous ?

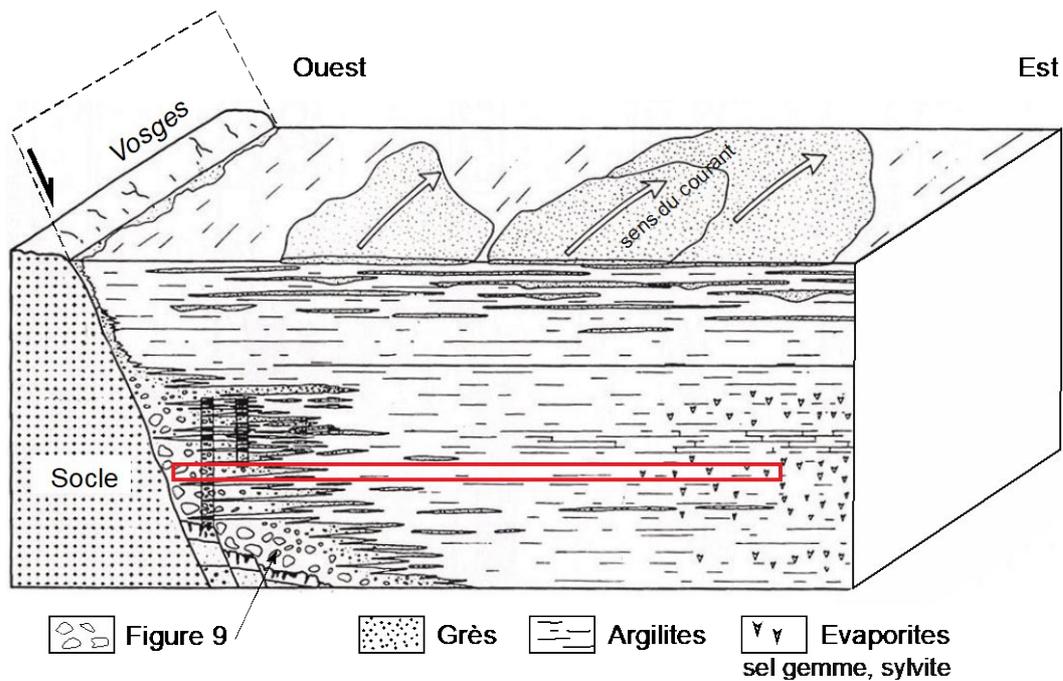


**Figure 6.** Colonne stratigraphique simplifiée de la couverture sédimentaire observée dans le forage réalisé au nord du fossé Rhénan supérieur (localisation du forage sur la figure 1).

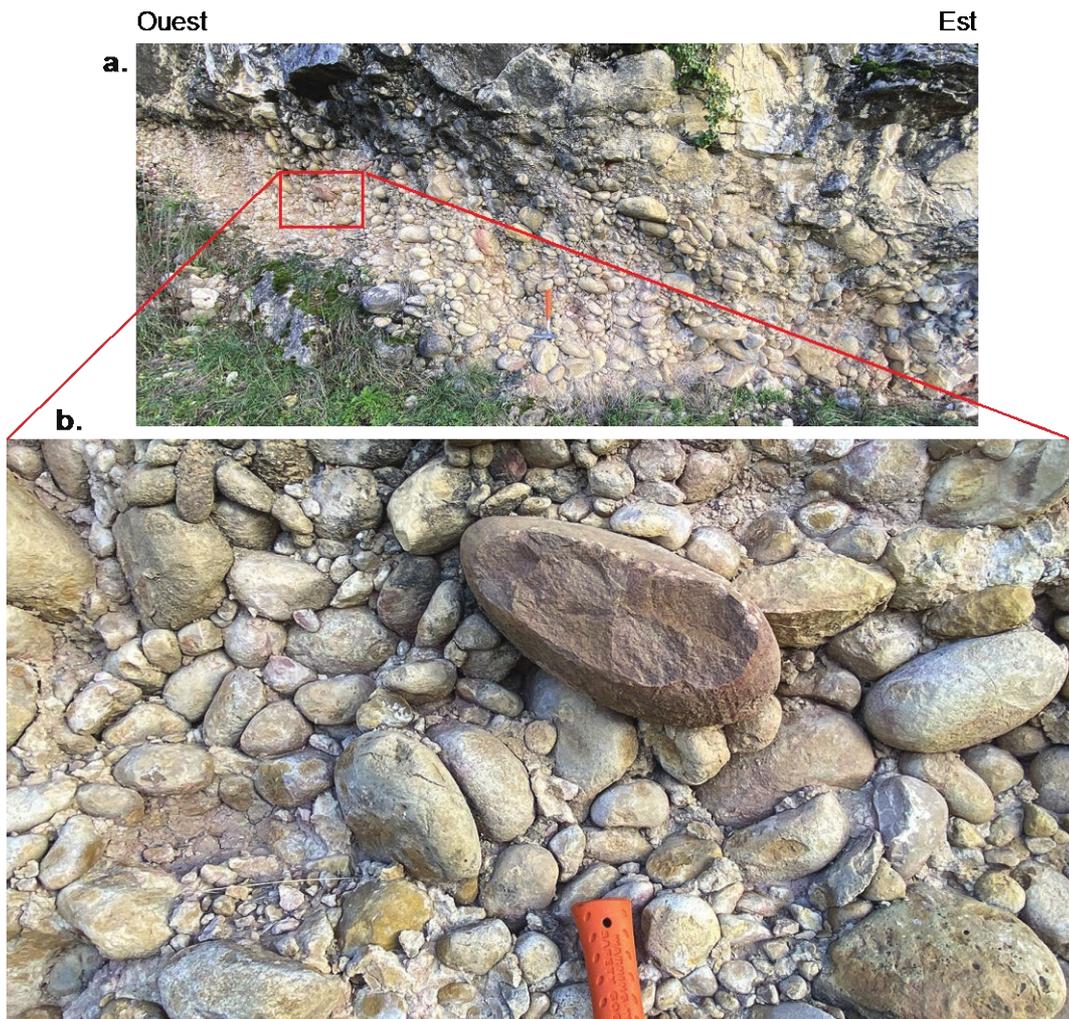


**Figure 7.** Affleurements, échantillons et lames minces équivalents aux faciès rencontrés dans le forage (Fig. 6).

**(a)** Affleurement du Trias inférieur et **(b)** lame mince de ce faciès. **(c)** Affleurement du Trias moyen et **(d)** fossile rencontré dans ces formations. **(e)** Échantillon du Jurassique et **(f)** lame mince de ce faciès. Les lames minces sont présentées en lumière polarisée et analysée.



**Figure 8.** Bloc 3D schématique de la sédimentation cénozoïque dans le sud-ouest du fossé Rhénan, le long de la faille bordière vosgienne (localisation du bloc 3D sur la figure 1).



**Figure 9.** (a) Affleurement d'une formation sédimentaire cénozoïque le long de la bordure des Vosges à Turckheim, (b) détail de la figure 9a.

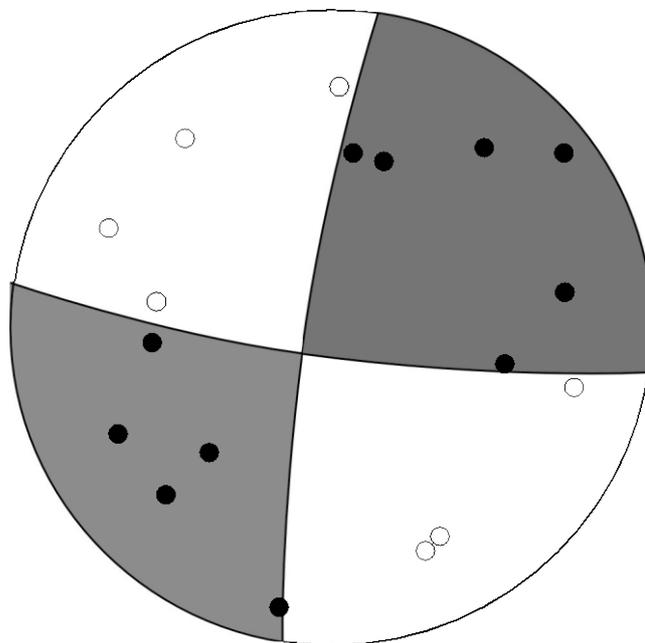
### 3. SISMICITE NATURELLE ET DÉFORMATION ACTUELLE (5 points)

Le 10 septembre 2022, un séisme de magnitude 4,8 s'est produit dans le sud du fossé Rhénan entre Mulhouse et Bâle (Fig. 1). La figure 10 correspond au mécanisme au foyer qui a été construit à la suite de cette secousse sismique.

**3.1.** Quelles données à collecter sont indispensables pour réaliser ce mécanisme au foyer ? Avec quelques schémas simples et de prompts commentaires, expliquez comment est construit un mécanisme au foyer à la suite d'un séisme.

**3.2.** Comment s'appelle les plans qui séparent les différents dièdres ? Comment nomme-t-on les dièdres blancs et noirs ?

**3.3.** Le mécanisme au foyer n'est pas suffisant pour savoir lequel de ces deux plans est le plan de faille issu de la secousse sismique, et lequel est son conjugué. Quelles observations et/ou données peuvent être utilisées par les géologues et les géophysiciens afin d'être discriminant quant à la détermination du plan de faille ?



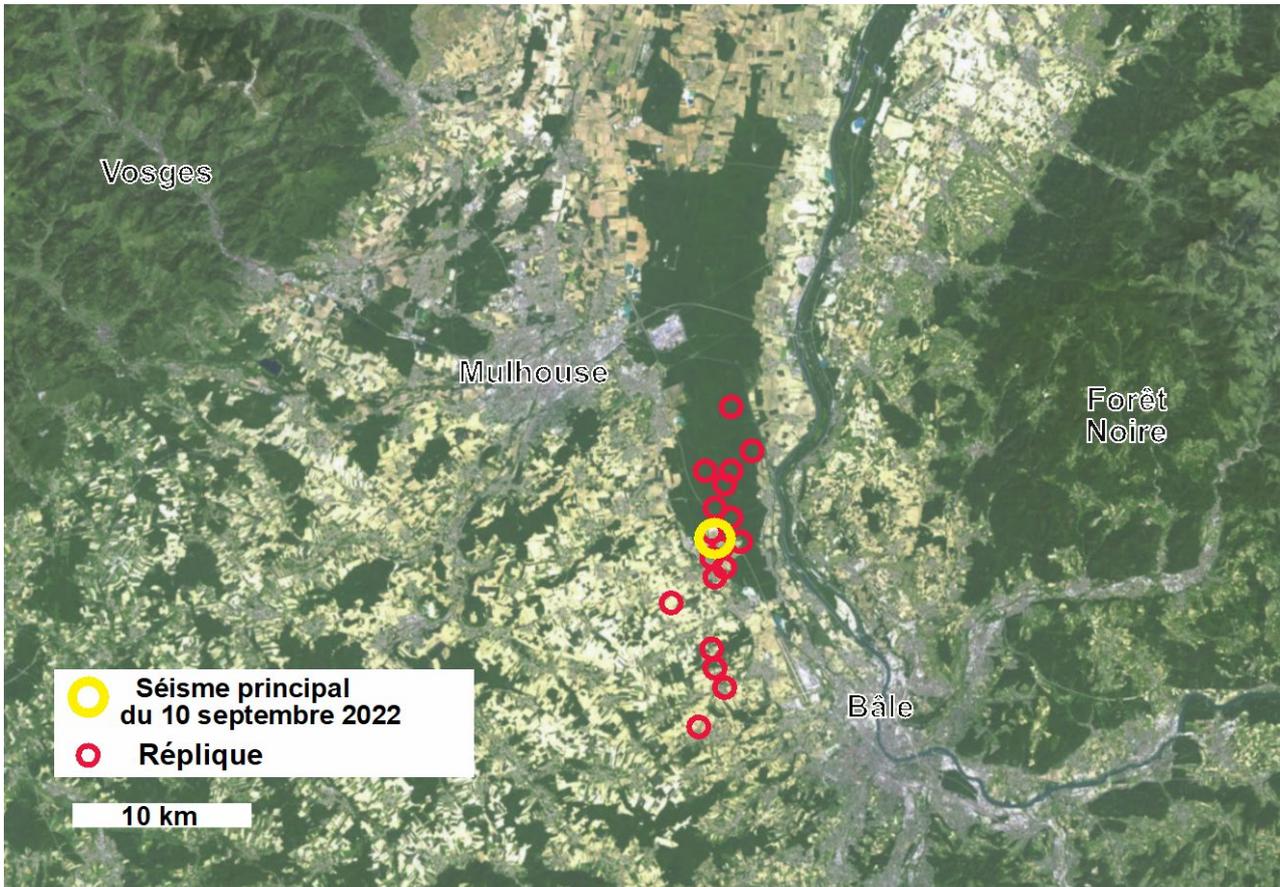
Latitude : 47,68 N - Longitude : 7,47 E  
Magnitude locale estimée entre 4,6 et 4,8  
Profondeur estimée entre 12 et 14,2 km

**Figure 10.** Mécanisme au foyer du séisme de Mulhouse-Bâle du 10 septembre 2022.

**3.4.** Outre les éléments que vous avez pu évoquer dans la question précédente, la figure 11 présente des données qui peuvent être utilisées pour définir quel est le plan de faille activé lors du séisme. Expliquez ce que sont des répliques lors d'un épisode sismique et en quoi elles peuvent être utiles pour définir le plan de faille principal.

**3.5.** Trois familles principales de mécanismes au foyer sont reportées sur la figure 12 (ces différentes familles sont également celles représentées dans la légende de la figure). A l'aide de petits schémas, expliquez à quel type de faille correspond chaque famille de mécanisme au foyer. Positionnez également sur vos représentations les directions des contraintes qui sont associées à chaque mécanisme au foyer, et nécessaires à l'activation des failles.

**3.6.** La majorité des mécanismes au foyer historiques recensés sur la figure 12 correspond au mécanisme de type 1. A quel type de faille peut-on donc associer la déformation récente dans la région ? En fonction des secteurs en tension et en compression, donnez l'orientation des contraintes régionales. Quel est le moteur « régional » de cette déformation actuelle ?



**Figure 11.** Localisation du séisme de Mulhouse-Bâle du 10 septembre 2022 et de ses répliques survenues dans les jours suivants.

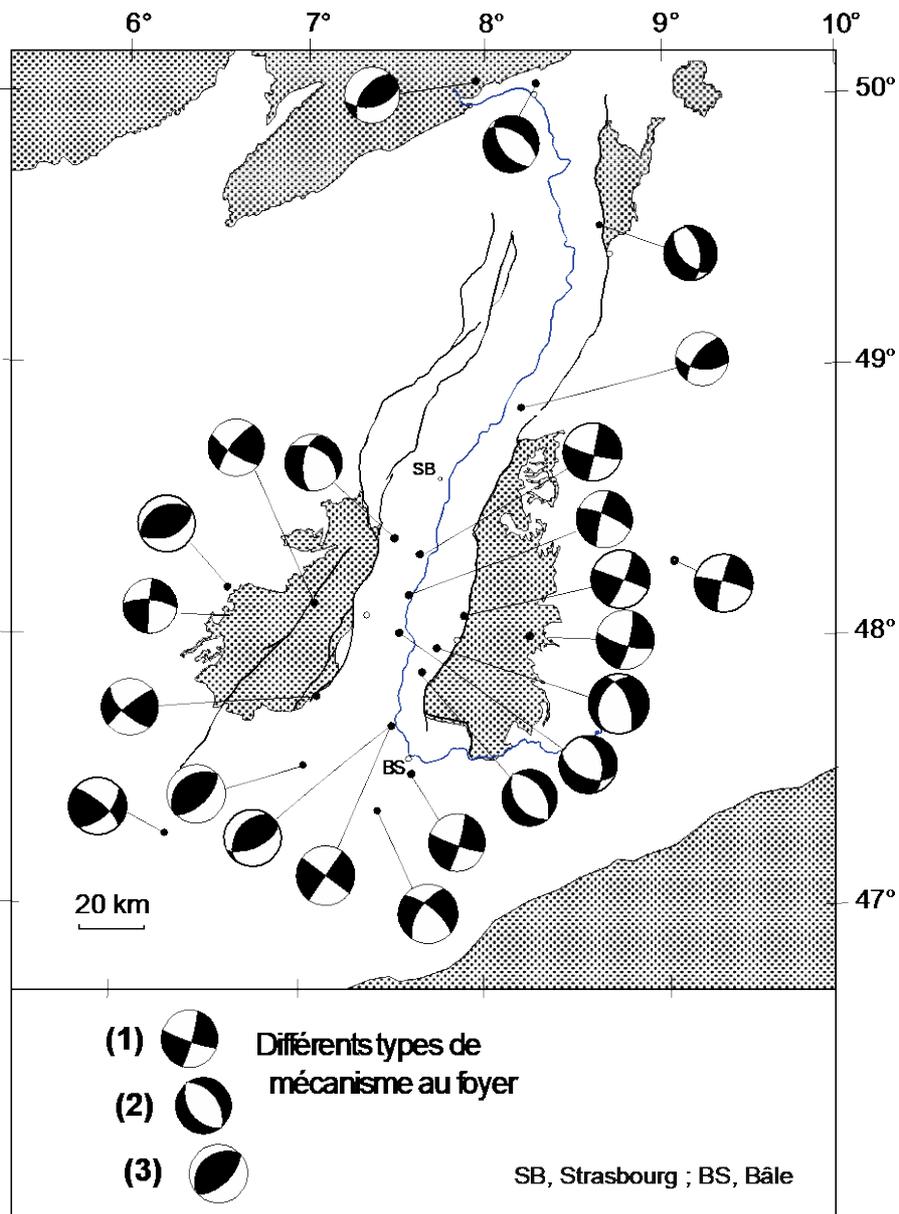
#### **4. GÉOTHERMIE PROFONDE DANS LE FOSSÉ RHÉNAN (3 points)**

L'exploitation de la chaleur interne de la Terre, ou « géothermie », est une activité ancestrale qui date de l'utilisation des sources thermales connues dans la région. Plus récemment, des forages profonds (de plusieurs centaines de mètres à plusieurs kilomètres) ont été réalisés pour capter des fluides dont les températures dépassent souvent les 100°C afin d'exploiter la « chaleur de la Terre » et ainsi produire de l'électricité ou simplement de la chaleur.

**4.1.** Listez l'origine des sources d'énergies internes à la Terre. Précisez parmi ces sources, quelles sont les plus importantes et dans quelles proportions ?

**4.2.** Expliquez quels sont les principaux mécanismes de transfert de chaleur pour les matériaux terrestres ?

**4.3.** Définissez les notions de porosité et de perméabilité.

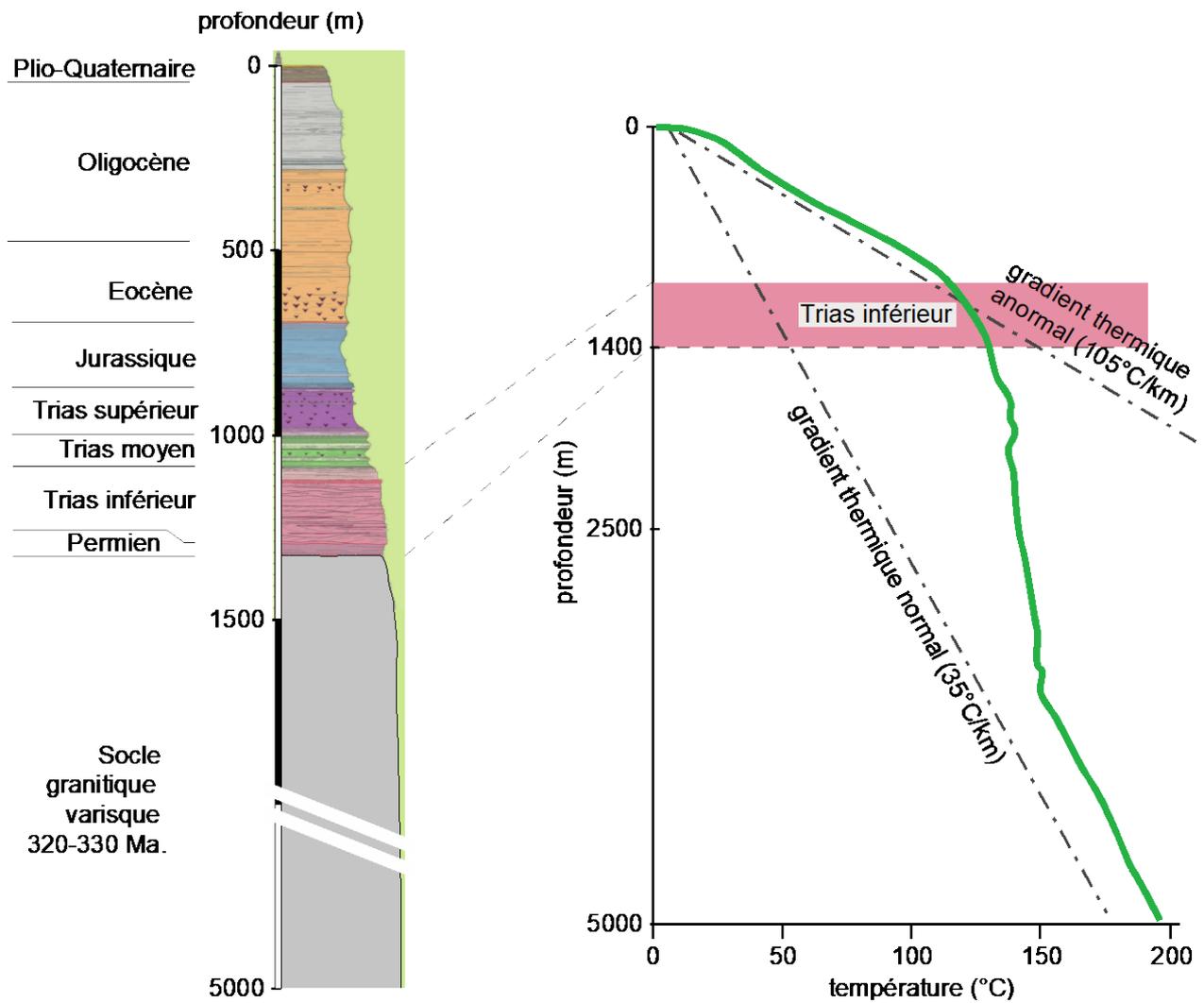


**Figure 12.** Localisation des mécanismes au foyer des séismes historiques majeurs dans la région du fossé Rhénan supérieur.

Afin de récupérer cette chaleur, par l'intermédiaire des forages, il est indispensable de pomper et/ou d'injecter des fluides (eau, saumures, etc.) qui circulent au cœur même du volume rocheux, dans sa matrice ou dans le réseau de fractures.

**4.4.** La figure 13 présente l'évolution de la température avec la profondeur le long du forage réalisé au nord de Strasbourg (Fig. 1). Décrivez la courbe (figurée en vert) et expliquez son évolution.

**4.5.** Sur la trame de la figure 14, réalisez un schéma de synthèse du fonctionnement possible d'un système géothermique dans le fossé Rhénan en indiquant origine(s) des fluides, flux de chaleur, chemin(s) de circulation des fluides, etc.



**Figure 13. (a)** Colonne lithostratigraphique complète du forage situé au nord de Strasbourg (localisation sur la figure 1). **(b)** Évolution de la température avec la profondeur le long de ce même forage.

Profondeur (km)

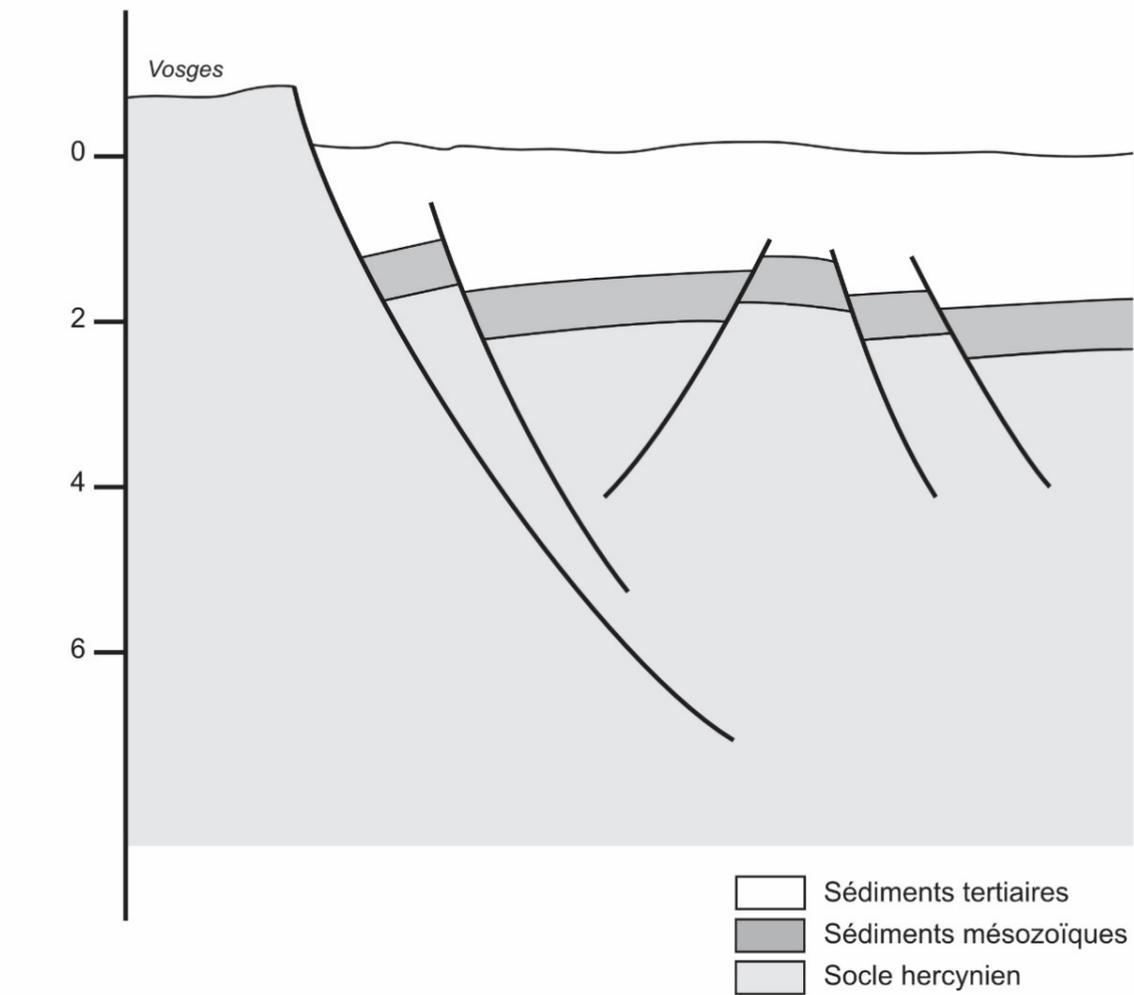


Figure 14. Schéma de synthèse géothermique dans le fossé Rhénan.

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)



Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le :

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : .....

Section/S spécialité/Série : .....

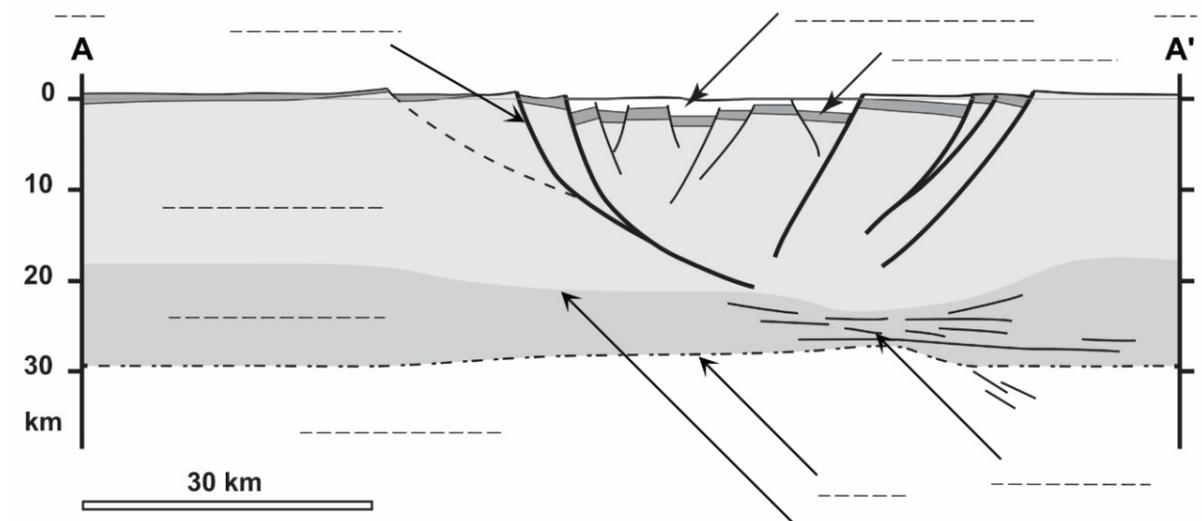
Epreuve : .....

Matière : .....

Session : .....

**CONSIGNES**

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

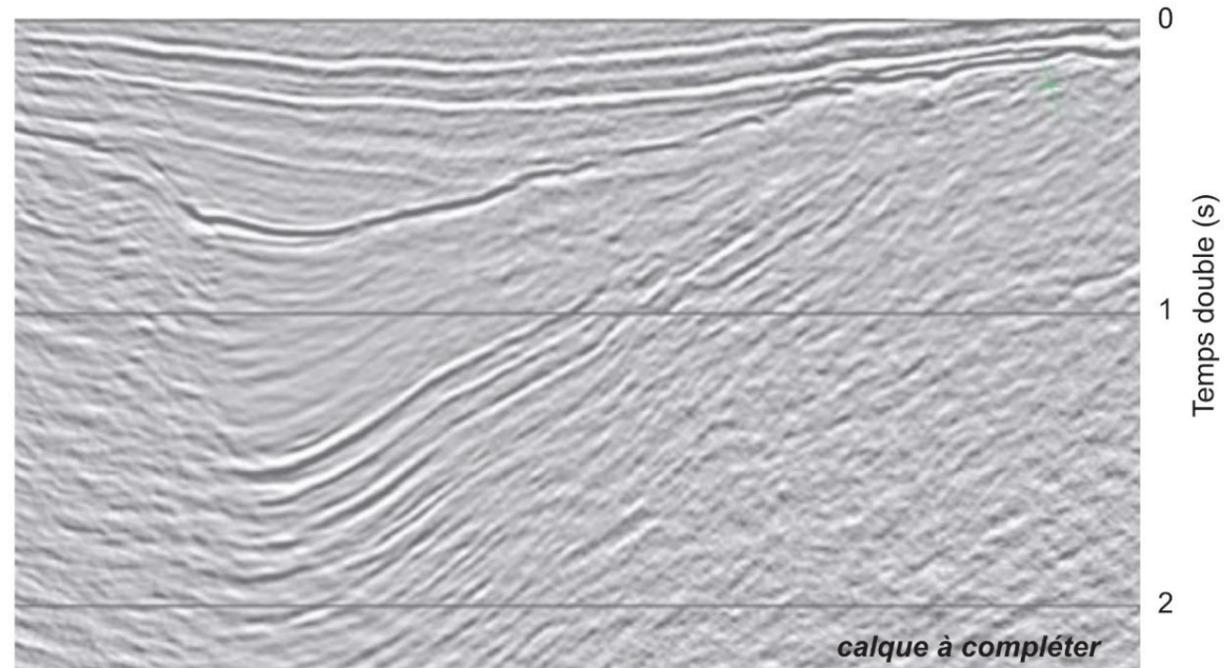


Commentaires (question 1.1)

Figure 2. Coupe du fossé Rhénan réalisée sur la base du profil sismique ECORS (Etude de la Croûte Continentale et Océanique par Réflexion et Réfraction sismique).

Le tracé du profil A-A' est localisé sur la figure 1.

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE



Légende / commentaires (question 1.4)

**Figure 4.** Profil sismique réflexion B-B' (calque à compléter) le long de la bordure occidentale du fossé Rhénan (localisation sur la figure 1).

WNW

ESE



Réponses (question 1.6)

**Figure 5.** Front de taille exposant les séries du Trias inférieur de l'ancienne carrière de Freyming-Merlebach (Moselle).