

NOM :

PRENOM :

Salle :

AGRÉGATION DE SCIENCES DE LA VIE - SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2025

TRAVAUX PRATIQUES DE SPECIALITE DU SECTEUR C

Durée totale : 6 heures

Géologie de l'Afrique et du Moyen-Orient

Les différentes parties sont indépendantes. Certaines questions nécessitent des observations sur des postes de travail (échantillons macroscopiques, lames minces, expérience, modélisation numérique). Un ordre de passage, affiché au tableau, vous permettra d'accéder aux postes de travail. Organisez-vous en conséquence. **Cependant, la réalisation des ateliers ne conditionne pas la finalisation des différentes parties.**

Partie I. Géodynamique et Tectonique de la région Est africaine p. 2 à 19

Durée conseillée : 2h —> 1/3 des points

Partie II. Le volcanisme Est africain p. 20 à 32

Durée conseillée : 2h —> 1/3 des points

ATELIER 1 (20 mn) – Roches magmatiques (*macroscopiques et lames minces*)

ATELIER 2 (15 mn) – Modélisation numérique (salle informatique)

ATELIER 3 (40 mn) – *Expérience : Vitesse ascension des bulles (couloir)*

Partie III. Géologie de l'Oman p.33 à 57

Durée conseillée : 2h —> 1/3 des points

ATELIER 4 (20mn) – Sédimentologie et Paléontologie (*macroscopique et lames minces*)

ATELIER 5 (20mn) - Roches métamorphiques (*macroscopiques et lame mince*)

Les réponses aux questions figureront dans les cadres réservés à cet effet. Vous pouvez disposer d'une calculatrice non programmable.

**AVANT DE REMETTRE VOTRE DOSSIER, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ
VOS NOM, PRÉNOM ET NUMÉRO DE SALLE EN TÊTE DE TOUS LES DOCUMENTS.**

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier

Partie I. Géodynamique et tectonique de la région Est africaine

La dynamique actuelle de la zone Est africaine est contrôlée par une tectonique extensive aboutissant à la formation d'un rift de plus de 4000 km de long, de l'Afar au golf du Mozambique.

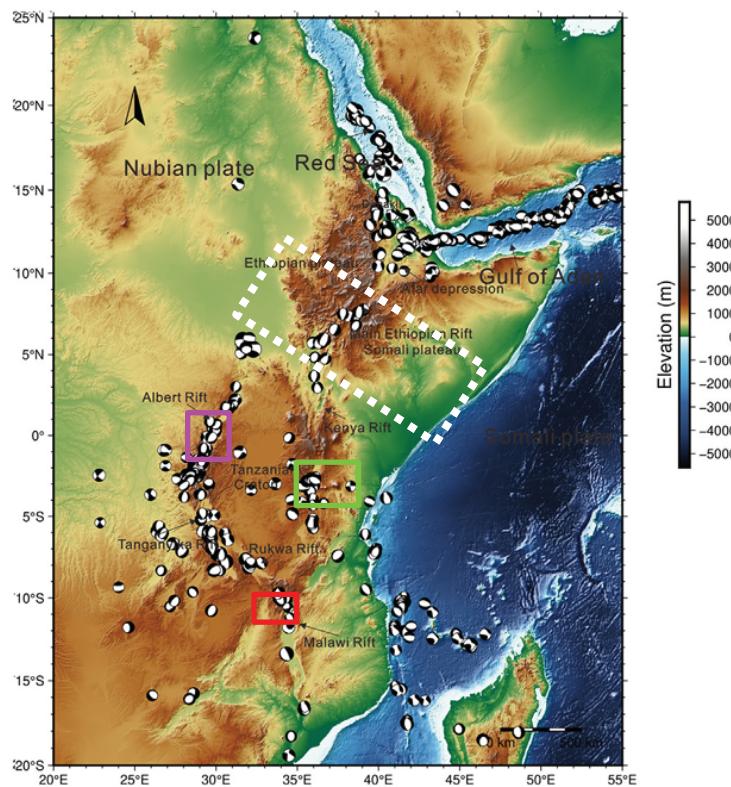


Figure 1. Mécanismes aux foyers de la zone Est africaine.

Le cadre en tirets blancs concerne la question I.2. Le cadre rouge renvoie à la Figure 2 et la question I.3. Le cadre violet renvoie à la Figure 5. Le cadre vert correspond à la zone d'étude de la Partie II du devoir.

(Dziewonski *et al.* 1981 ; Ekstrom *et al.* 2012)

Question I.1. Vous préciserez le mode d'obtention des mécanismes aux foyers et vous expliquerez en quoi les données de la **figure 1** témoignent d'une dynamique extensive.

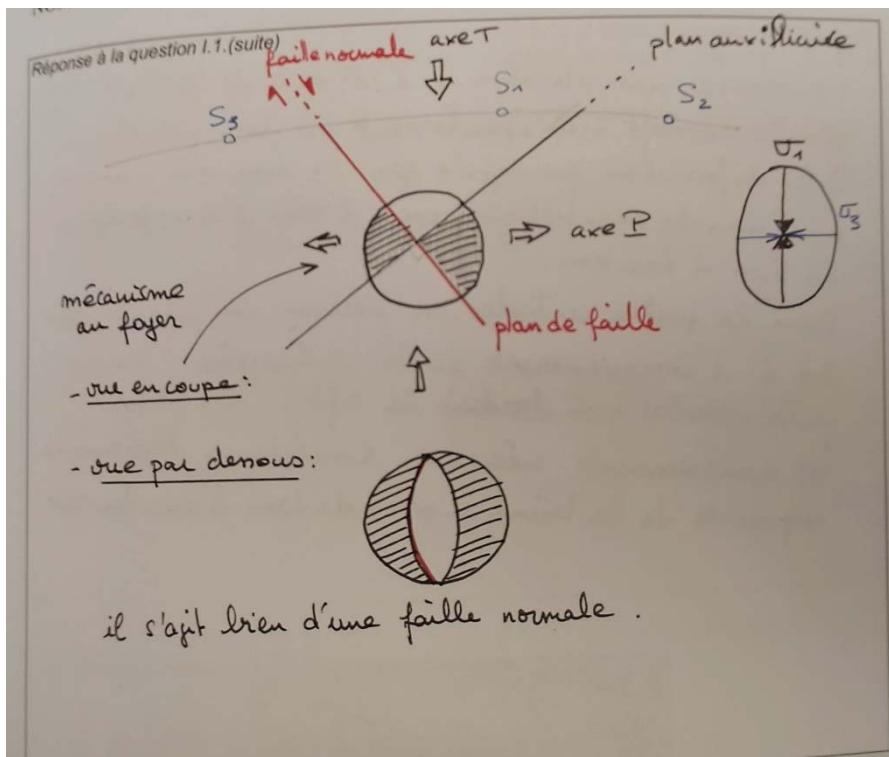
Réponse à la question I.1.

Les mécanismes aux foyers sont des représentations (projections stéréographiques) permettant de retrouver le jeu d'une faille active. Ils sont obtenus par l'analyse de données sismiques liées au fonctionnement de la faille. Les premiers mouvements perçus par les sismographes permettent d'identifier deux types de mouvement : vers le haut ou vers le bas. La compilation d'un grand nombre de données issues de plusieurs stations sismiques permet de distinguer des secteurs dits en « dilatation » (bloc descendant) représentés en blanc ou en « compression » (bloc montant) représentés en noir. La disposition de ces secteurs permet de retrouver le jeu de la faille : inverse, normal ou décrochant.

Concernant la zone Est africaine ; la majorité des mécanismes aux foyers indique un jeu de faille normale, témoin d'une dynamique extensive.

Réponse à la question I.1.(suite)

Une production jugée satisfaisante



Question I.2. Vous réaliserez un schéma d'échelle lithosphérique expliquant l'origine des reliefs observés dans la zone encadrée en tirets blancs. Vous émetterez des hypothèses sur les processus mis en jeu.

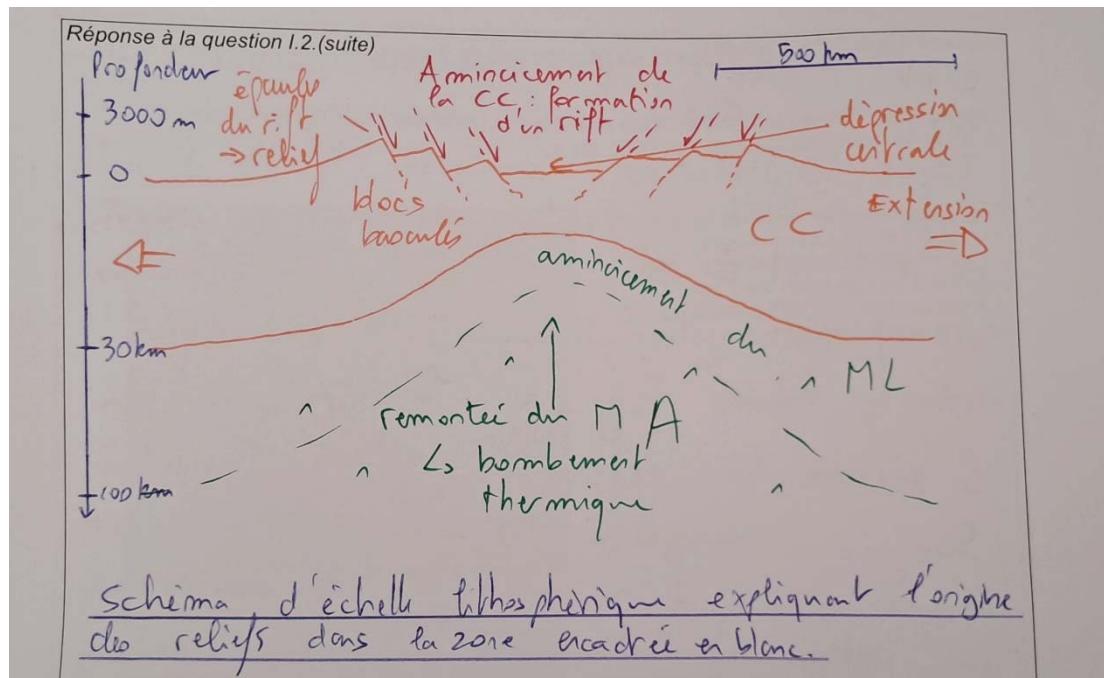
Réponse à la question I.2.

Les reliefs présents dans le secteur d'étude montrent deux particularités : une dépression étroite (le rift) et des haut plateaux (éthiopien et somalien). Cette configuration est expliquée par la combinaison de deux mécanismes :

- une subsidence tectonique, où l'amincissement de la croûte continentale (liée au fonctionnement des failles normales) entraîne une densification de la colonne de roche et donc cet enfoncement.
- un bombement thermique, où l'amincissement de la lithosphère en réponse à l'étiement provoque une remontée de l'asténosphère (peu dense) et donc un soulèvement régional (épaulement du rift).

Réponse à la question I.2.(suite)

Une production jugée satisfaisante



A la suite d'un séisme dont l'épicentre est situé dans la zone encadrée en rouge (voir Figure 1), on cherche à déterminer le jeu de la faille correspondante. Les données du mécanisme au foyer sont indiquées en **figure 2**.

NOM :

PRENOM :

Salle :

Date : 30/08/2014
Heure : 12h 53m 0,69 sec
Direction : N 150
Pendage : 70°
Pitch du vecteur glissement : -25°

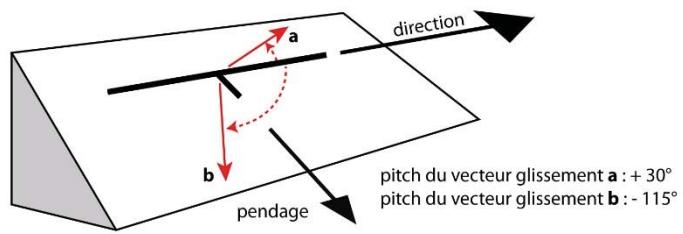


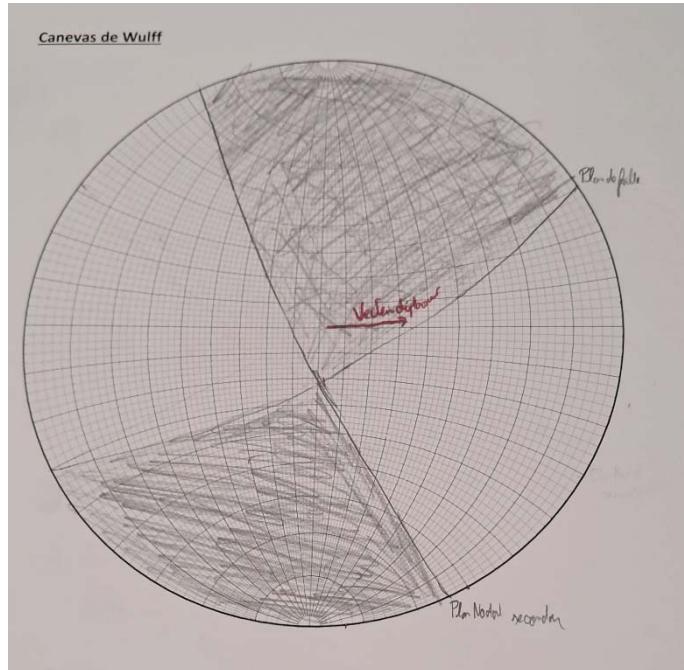
Figure 2. Données du mécanisme au foyer correspondant au séisme du 30 août 2014 (Mulibo et al. 2022) et relation entre la valeur du pitch et le sens du glissement pour deux exemples théoriques a et b.

Question I.3. A l'aide du canevas de Wulff, du papier calque et de la punaise fournis, vous construirez le mécanisme au foyer du séisme du 30 août 2014. Vous en déduirez le jeu de la faille.

Réponse à la question I.3. -> canevas de Wulff à rendre avec la copie

Le mécanisme du séisme du 30 aût 2014 correspond à une faille décrochante.

Une production jugée satisfaisante



NOM :

PRENOM :

Salle :

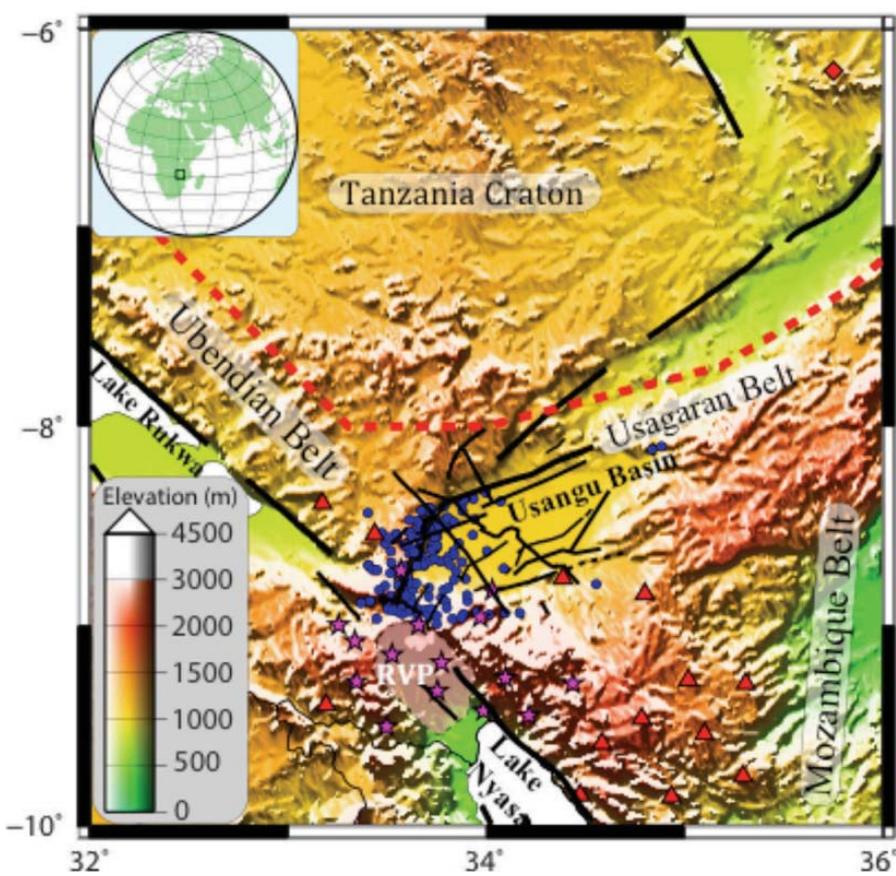
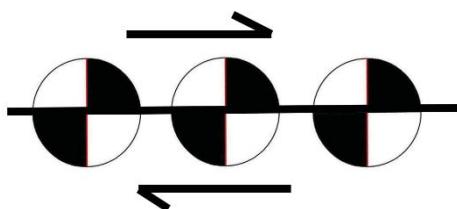


Figure 3. Sismicité à proximité du Bassin Usangu. Les ronds jaunes localisent des séismes identiques à celui du 30 août 2014. Les ronds bleus et les étoiles violettes correspondent à d'autres types de séismes. Les triangles rouges indiquent les stations sismiques (Muliblo et al. 2022)

Question I.4. D'autres séismes du même type que celui du 30 août 2014 ont été détectés dans cette même zone, ils sont présentés en **Figure 3** (points jaunes). Vous préciserez en quoi ces données permettent d'affiner la réponse à la question I.3.

Réponse à la question I.4.

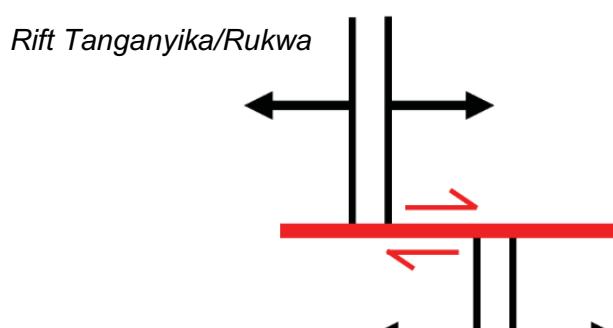
*La figure 3 montre plusieurs séismes identiques à celui du 30 août 2014 dont la distribution montre un alignement Est-Ouest. Cet alignement matérialise la faille et permet de privilégier l'un des deux plans nodaux du mécanisme au foyer (le plan Est-Ouest). Cette déduction amène à préciser le jeu de la faille impliquée : un **décrochement dextre**.*



Question I.5. Vous formulerez une hypothèse expliquant l'existence de ce type de faille dans ce secteur (un schéma est attendu)

Réponse à la question I.5.

Le secteur étudié en figure 2 est une zone de jonction entre deux rifts (Tanganyika/Rukwa et Malawi). Or ces deux rifts sont décalés. La zone décrochante dextre pourrait correspondre à une faille de transfert (zone transformante) accommodant le jeu de ces deux axes extensifs non continus.



NOM :

PRENOM :

Salle :

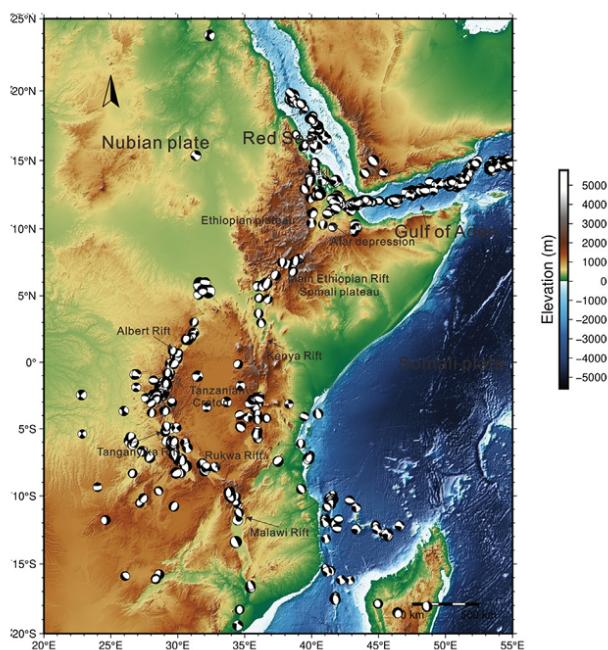
Faille transformante

Rift Malawi

Question I.6. Vous indiquerez par des hachures rouges sur la **Figure 1 p.2** une/d'autre(s) zone(s) susceptible(s) de présenter une dynamique identique. Vous justifierez cette proposition.

Réponse à la question I.6. : compléter la Figure 2 (page 2) – commentaire dans ce cadre

La figure 2 montre, plus au Nord un décalage conséquent entre les rift Albert et Ethiopien. Une zone transformante senestre, est donc susceptible de se former entre ces deux rifts.



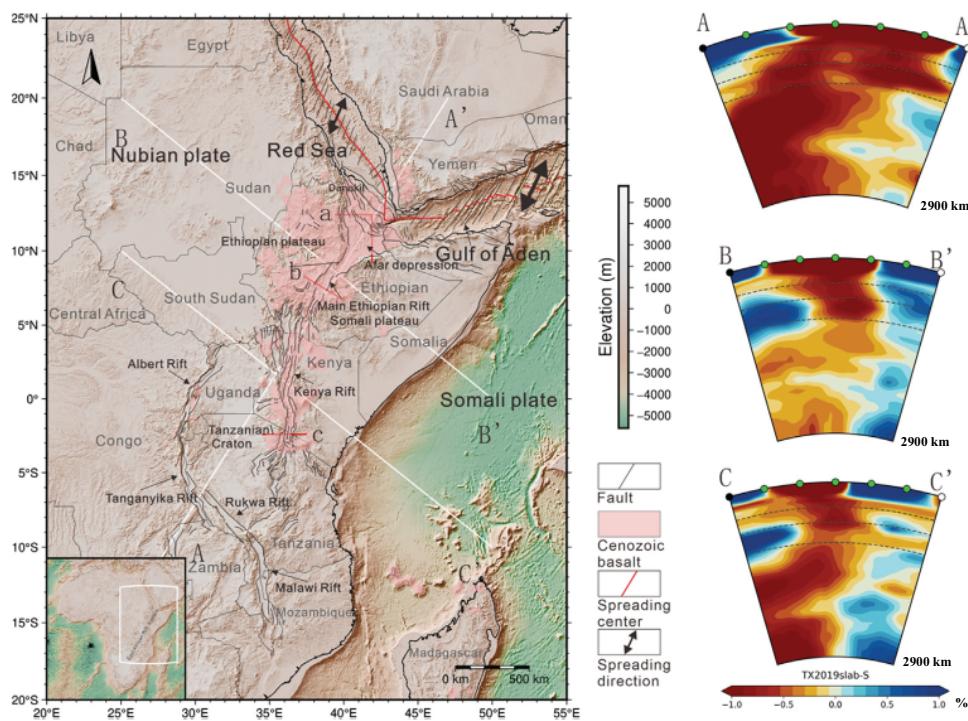


Figure 4. Carte tectonique et de tomographie sismique dans la zone du rift Est-africain (Lu et al. 2019). En rose : volcanisme pré-rift.

Question I.7. Vous préciserez le mode d'obtention des coupes de tomographie sismique présentées en **Figure 4**.

Réponse à la question I.7.

Le principe de la tomographie est de comparer les temps d'arrivée réels des ondes sismiques à des temps d'arrivée calculés à partir d'une référence. La référence classiquement utilisée est le modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model) où chaque enveloppe de la Terre est caractérisée par une vitesse sismique (ou une gamme de vitesses). L'utilisation de plusieurs séismes naturels permet d'identifier des anomalies en profondeur (écarts par rapport au modèle).

Réponse à la question I.7. (suite)

Ces anomalies sont positives (vitesses plus importantes) ou négatives (vitesses plus faibles) et peuvent être interprétées par des variations de densité. Or, en considérant le manteau minéralogiquement homogène (péridotite), seules des variations de température peuvent expliquer ces variations.

Ainsi une anomalie négative correspond à une portion de manteau anormalement chaude (peu dense). Cette situation correspond à une remontée mantellique. Du manteau profond remonte en se refroidissant très peu, il sera donc plus chaud que les roches qui l'entourent.

NOM :

PRENOM :

Salle :

Question I.8. Vous proposerez une interprétation des anomalies de vitesses observées dans la Figure 4.

Réponse à la question I.8.

Les trois coupes tomographiques montrent une forte anomalie négative dont la base se situe à la limite manteau/noyau (2900 km). Elle peut être interprétée comme un panache mantellique (solide) chaud remontant vers la surface. La tête du panache est centreé à l'aplomb de la branche orientale du rift.

Question I.9. A partir de la réponse à la question I.8, vous proposerez des mécanismes probables pour l'initiation du rifting dans les deux zones suivantes :

- le rift éthiopien
- le rift de Tanganyika

Réponse à la question I.9.

Les données de tomographie sismique témoignent d'une remontée mantellique engrainée à la base du manteau : un panache. La tête de ce panache est située à l'aplomb des rift éthiopien et kényan. Par ailleurs, ce secteur est le lieu d'un intense volcanisme au Cénozoïque. On peut,

NOM :

PRENOM :

Salle :

dans cette zone (branche orientale du rift Est-africain) suggérer un mécanisme de rifting où la remontée mantellique induit le volcanisme en surface puis déclenche le rifting par érosion thermique de la base de la lithosphère et glissement gravitaire.

En revanche, la zone du rift Tanganyika (branche occidentale) ne montre pas ces caractéristiques, il semblerait ici que seules les contraintes aux limites soient responsables de l'extension. Contraintes qui se sont vraisemblablement propagées depuis la branche orientale. Ici ce n'est pas la remontée du manteau qui initie l'extension.

NOM :

PRENOM :

Salle :

La formation d'un rift peut être expliquée par l'isostasie. On considère une lithosphère continentale à l'équilibre isostatique constituée de :

- 30 km de croûte continentale de masse volumique moyenne de 2,7 g/m³
- 70 km de manteau lithosphérique de masse volumique de 3,3 g/m³

Question I.10. Vous calculerez la valeur de la subsidence tectonique (en km) pour un amincissement de 50% de la croûte continentale sans prendre en compte un remplissage par l'eau ou les sédiments.

Réponse à la question I.10.

L'équilibre isostatique implique une égalité des pressions ($P = \rho.g.h$) exercées à la base de colonnes de roches au niveau d'une surface repère dite surface de compensation. Pour simplifier les calculs, celle-ci peut être située à la base de la croûte continentale de la colonne 1.

$$P_1 = P_2$$

$$(\rho_C.g.hC_1) = (\rho_M.g.hM) + (\rho_C.g.hC_2) + (\rho_{\text{eau}}.g.hS)$$

Simplification par g et non prise en compte du remplissage par l'eau :

$$(\rho_C.hC_1) = (\rho_M.hM) + (\rho_C.hC_2)$$

$$\text{or } hM = hC_1 - hC_2 - hS$$

$$(\rho_C.hC_1) = \rho_M. (hC_1 - hC_2 - hS) + (\rho_C.hC_2)$$

$$(\rho_C.hC_1) = \rho_M.hC_1 - \rho_M.hC_2 - \rho_M.hS + (\rho_C.hC_2)$$

$$(\rho_C.hC_1) + \rho_M.hS = \rho_M.hC_1 - \rho_M.hC_2 + (\rho_C.hC_2)$$

$$\rho_M.hS = \rho_M.hC_1 - \rho_M.hC_2 + (\rho_C.hC_2) - (\rho_C.hC_1)$$

$$hS = [\rho_M.hC_1 - \rho_M.hC_2 + (\rho_C.hC_2) - (\rho_C.hC_1)] / \rho_M$$

$$hS = (3,3.30 - 3,3.15 + 2,7.15 - 2,7.30) / 3,3$$

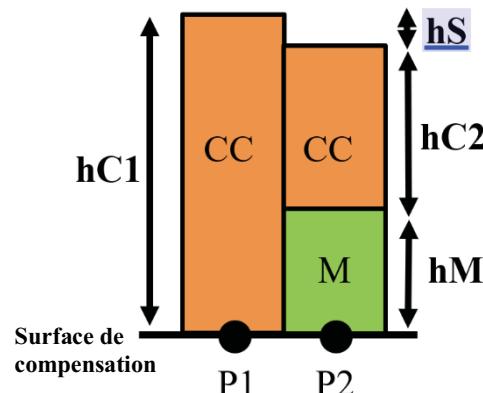
$$hS = (99 - 49,5 + 40,5 - 81) / 3,3$$

$$hS = (99 - 49,5 + 40,5 - 81) / 3,3$$

$$hS = 9 / 3,3$$

$$hS = 2,73 \text{ km}$$

La subsidence tectonique est de 2,73 km



Des forages ont été réalisés dans le bassin du lac Albert (cadre violet de la Figure 1). La **Figure 5** localise le secteur étudié et indique la position des différents puits (well en anglais) réalisés.

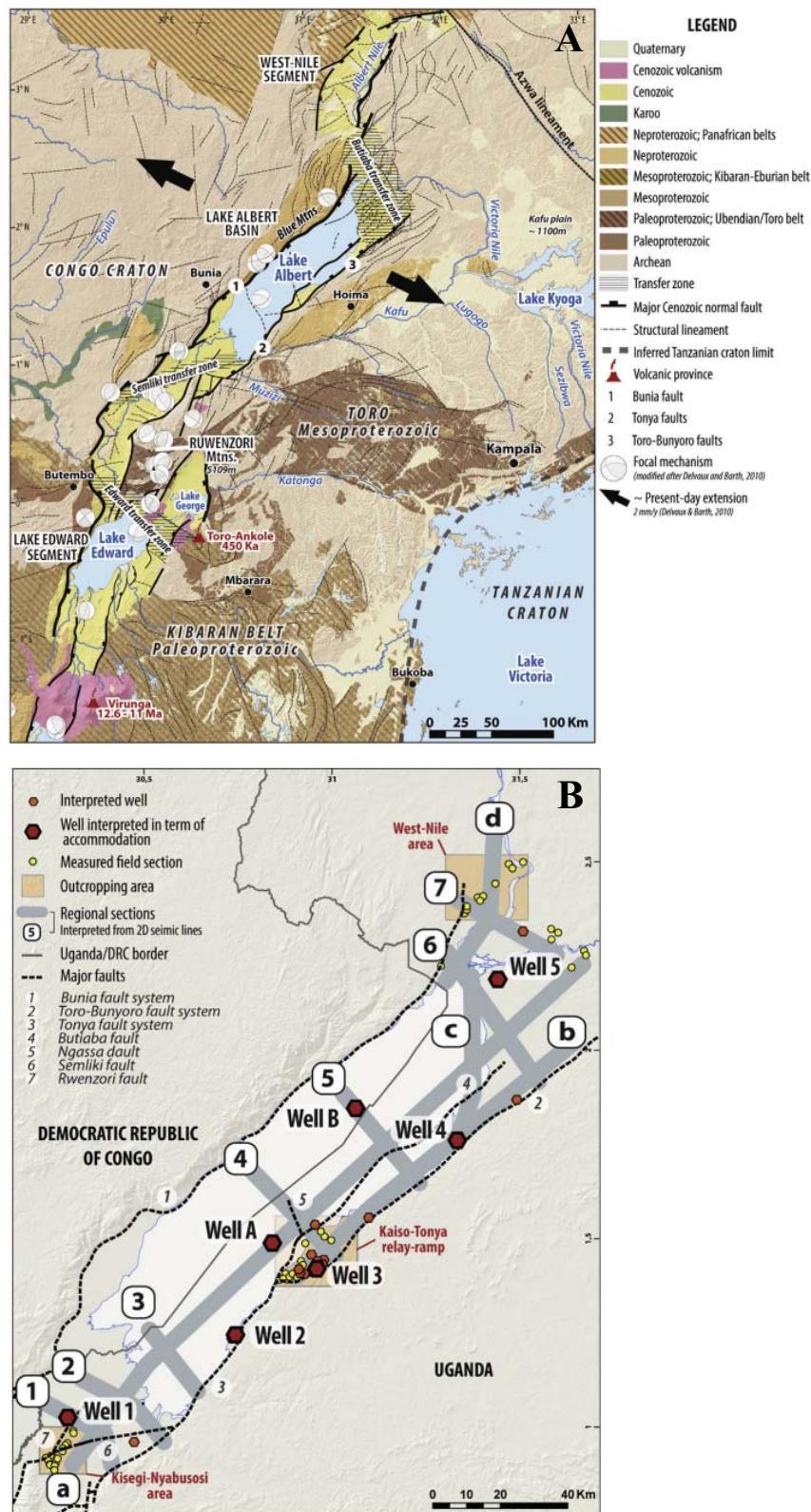


Figure 5. Carte géologique du bassin du lac Albert (A) et cadre tectonique de ce même bassin localisant les études réalisées (B)– puits (wells) et coupes sismiques (seismic lines) (Simon et al. 2017).

Les données issues des puits ont permis une interprétation en termes de variation d'accommodation (**Figure 6**).

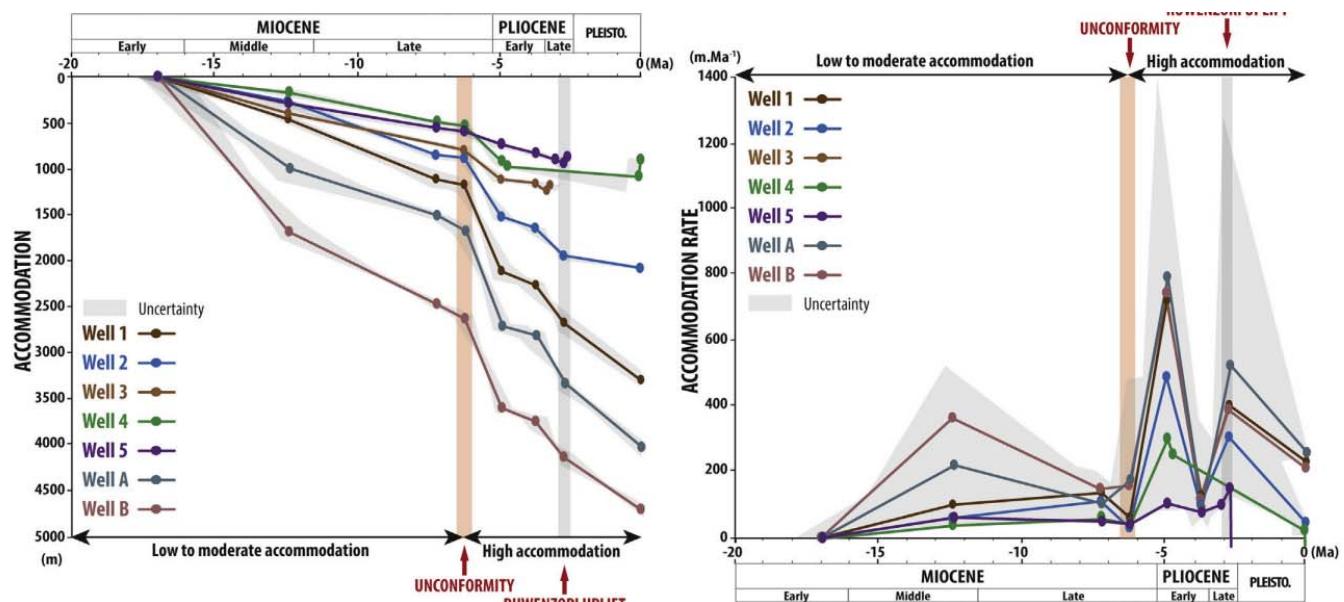
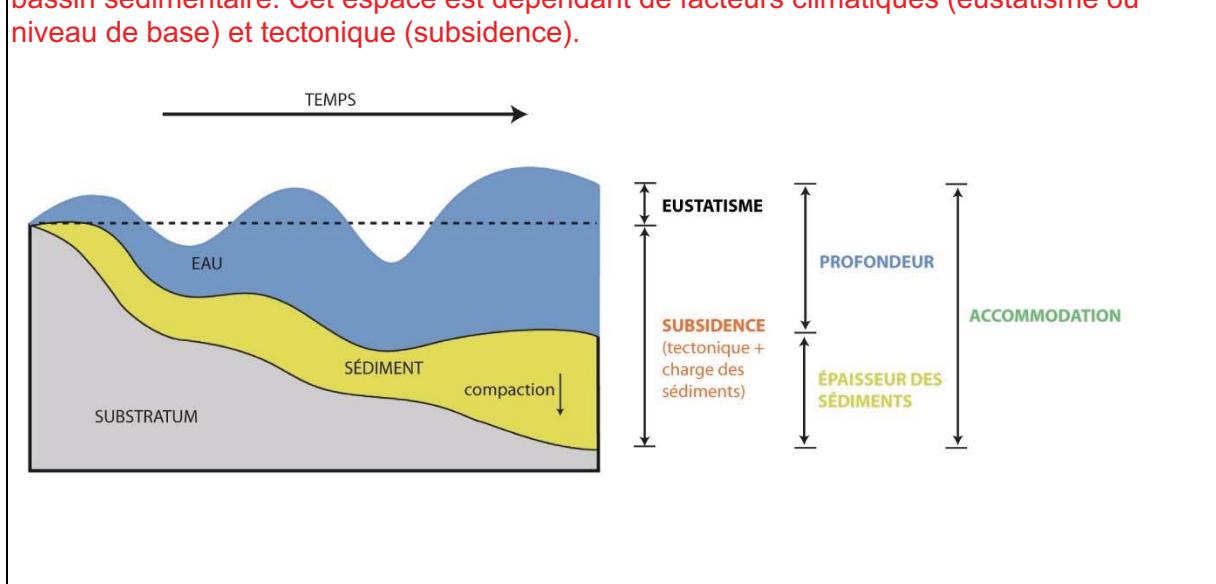


Figure 6. Evolution de l'accommodation et du taux d'accommodation au cours du temps pour le bassin du lac Albert. Reconstitutions déduites des données issues des puits (well) localisés en Figure 5 (Simon et al. 2017).

Question I.11. Vous définirez ce qu'est l'accommodation ; un schéma est attendu.

Réponse à la question I.11.

L'accommodation est définie comme l'espace disponible total pour la sédimentation dans un bassin sédimentaire. Cet espace est dépendant de facteurs climatiques (eustasme ou niveau de base) et tectonique (subsidence).



Question I.12. Vous expliquerez comment ont été reconstituées les variations d'accommodation à partir des données de forages.

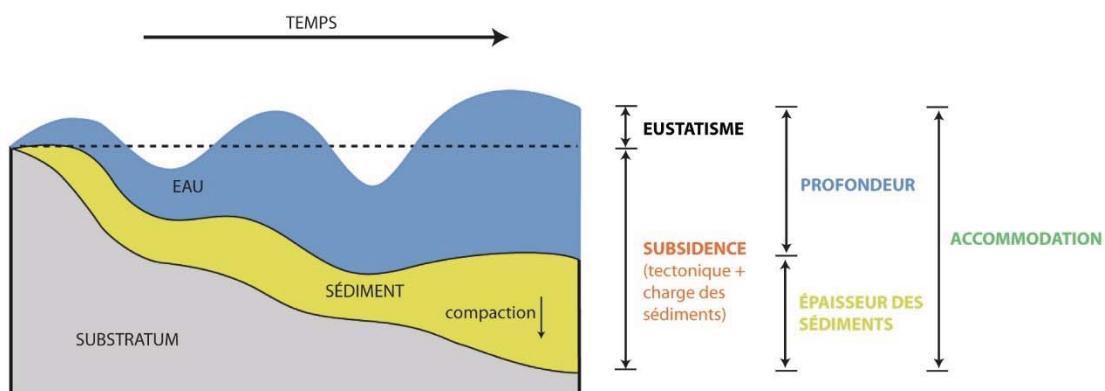
Réponse à la question I.12.

Les forages permettent d'accéder à deux informations :

- l'épaisseur des sédiments (que l'on corrige de l'effet de la compaction)
- la nature des roches sédimentaires.

Réponse à la question I.12. (suite)

L'analyse des roches sédimentaires (sédimentologie) le long du forage permet d'en reconstituer le faciès et donc de déterminer la paléobathymétrie de mise en place des sédiments au moment du dépôt. La connaissance de cette profondeur (espace encore disponible) ainsi que celle de l'épaisseur des sédiments (espace comblé) renseignent sur l'espace disponible total : l'accompmodation.



Question I.13. Vous analyserez les variations du taux d'accompmodation observées en Figure 6 en lien avec l'histoire géologique de cette région.

Réponse à la question I.13

Le taux d'accompmodation évolue en deux phases :

- un taux faible à modéré pendant le Miocène
- une accélération depuis la fin du Miocène

Cet à-coup n'est pas enregistré de la même manière d'un puits à l'autre, cela sous entend un contrôle tectonique (et non climatique, dont l'influence serait identique en tout point). Cette évolution de l'accompmodation correspond au fonctionnement des failles normales, responsables de la subsidence du rift (voir figure 5).

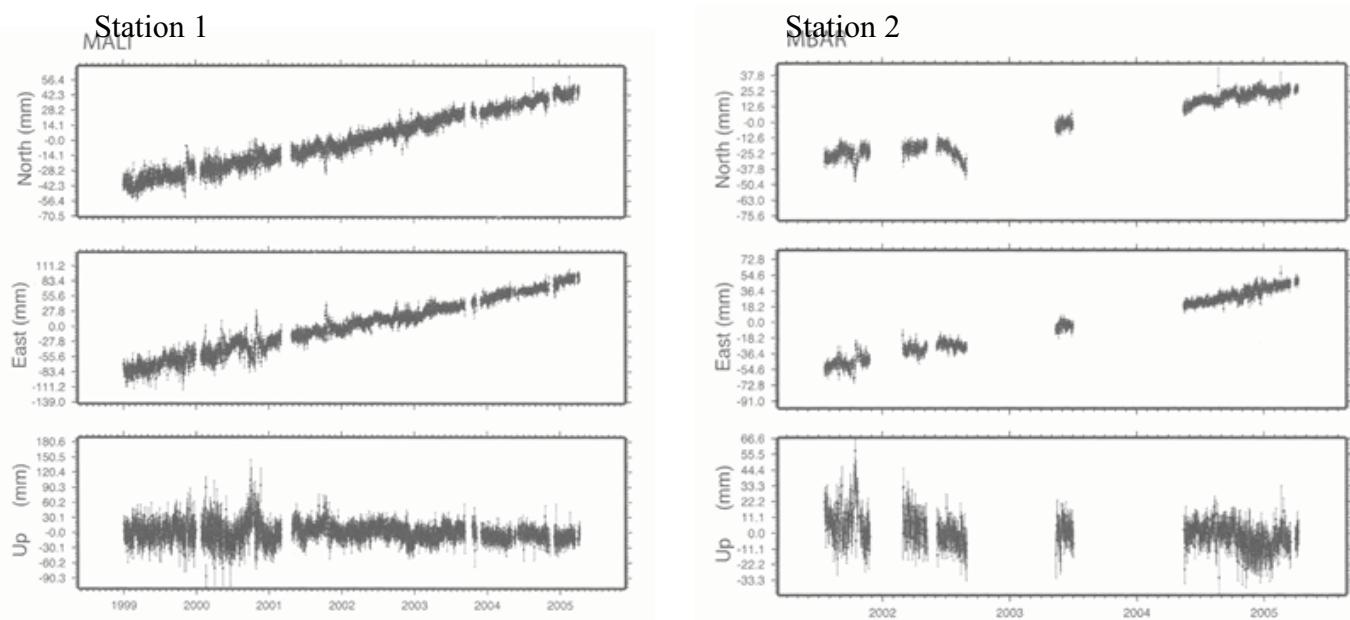


Figure 7. Positions GPS pour deux stations (1 et 2) au cours du temps. Les stations sont localisées en Figure 8. Chaque composante (Nord-Sud, Est-Ouest, verticale) est indiquée séparément (Calais et al. 2006).

Question I.14. Des données GPS sont présentées en **Figure 7**. Vous décrirez brièvement le mode d'obtention de ces données.

Réponse à la question I.14

Le principe du GPS (Global Positioning System) : une constellation de 30 satellites envoie en permanence des signaux codés dans toutes les directions de l'espace, à la vitesse de la lumière ($300\ 000\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$). Lorsqu'un récepteur, situé sur Terre, reçoit le signal d'un satellite, il compare l'instant d'arrivée et l'instant d'émission par le satellite (via des horloges internes). La durée d'émission du signal étant ainsi calculée, la distance satellite-récepteur peut être précisée (la vitesse du signal étant connue). Néanmoins, un seul satellite ne suffit pas pour positionner un point sur Terre. Il reste en effet d'innombrables possibilités, localisées sur une surface sphérique, dont le rayon est égal à la distance calculée (le satellite étant au centre de la sphère). Il faut au moins trois satellites pour localiser un point précis. En pratique, quatre sont utilisés car l'imprécision des horloges peuvent conduire à des incertitudes. Pour estimer un déplacement (sens et vitesse), on effectue plusieurs positionnements sur un intervalle de temps donné (quelques dizaines d'années).

NOM :

PRENOM :

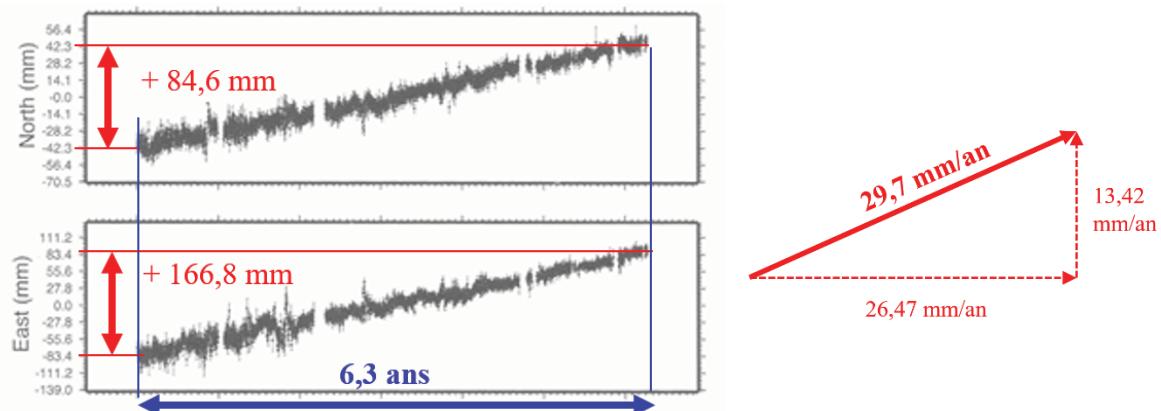
Salle :

Question I.15. Vous tracerez, sur la Figure 8, les vecteurs GPS correspondants aux stations 1 et 2. Vous explicitez la méthode suivie.

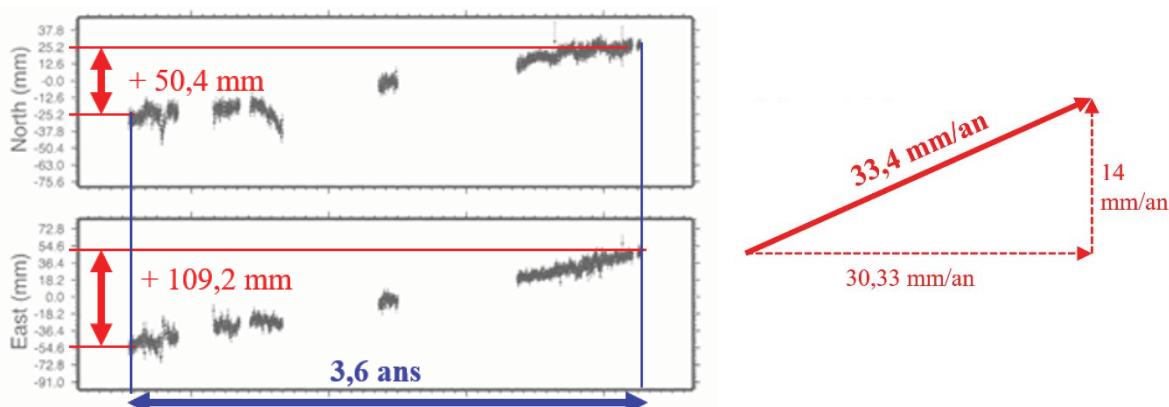
Réponse à la question I.15.(vecteurs sur la figure 8 (page 16) – commentaire dans ce cadre)

Les composantes Est-Ouest et Nord-Sud permettent, par le calcul, de connaître la norme du vecteur déplacement en utilisant le théorème de Pythagore.

Station 1



Station 2



NOM :

PRENOM :

Salle :

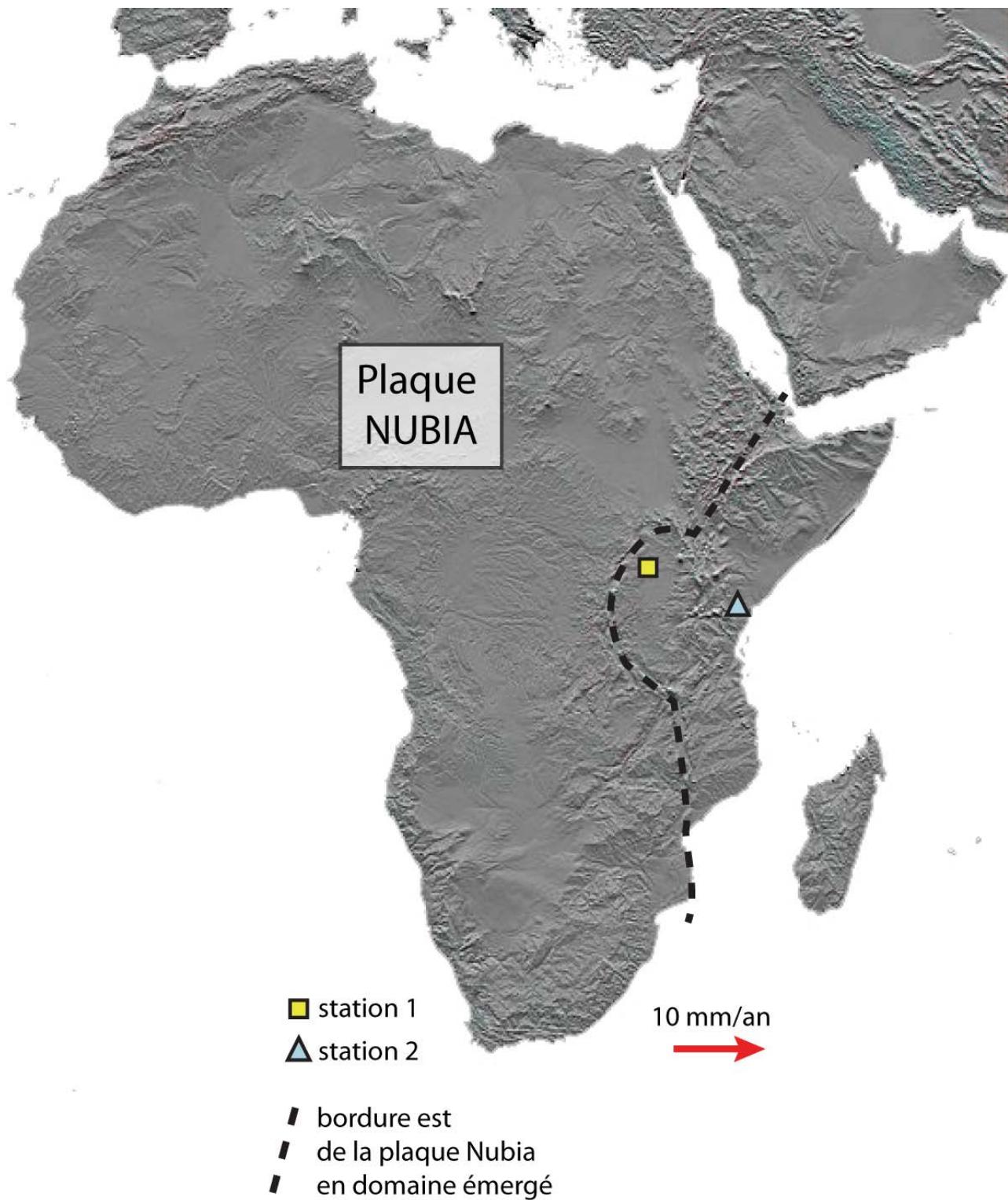
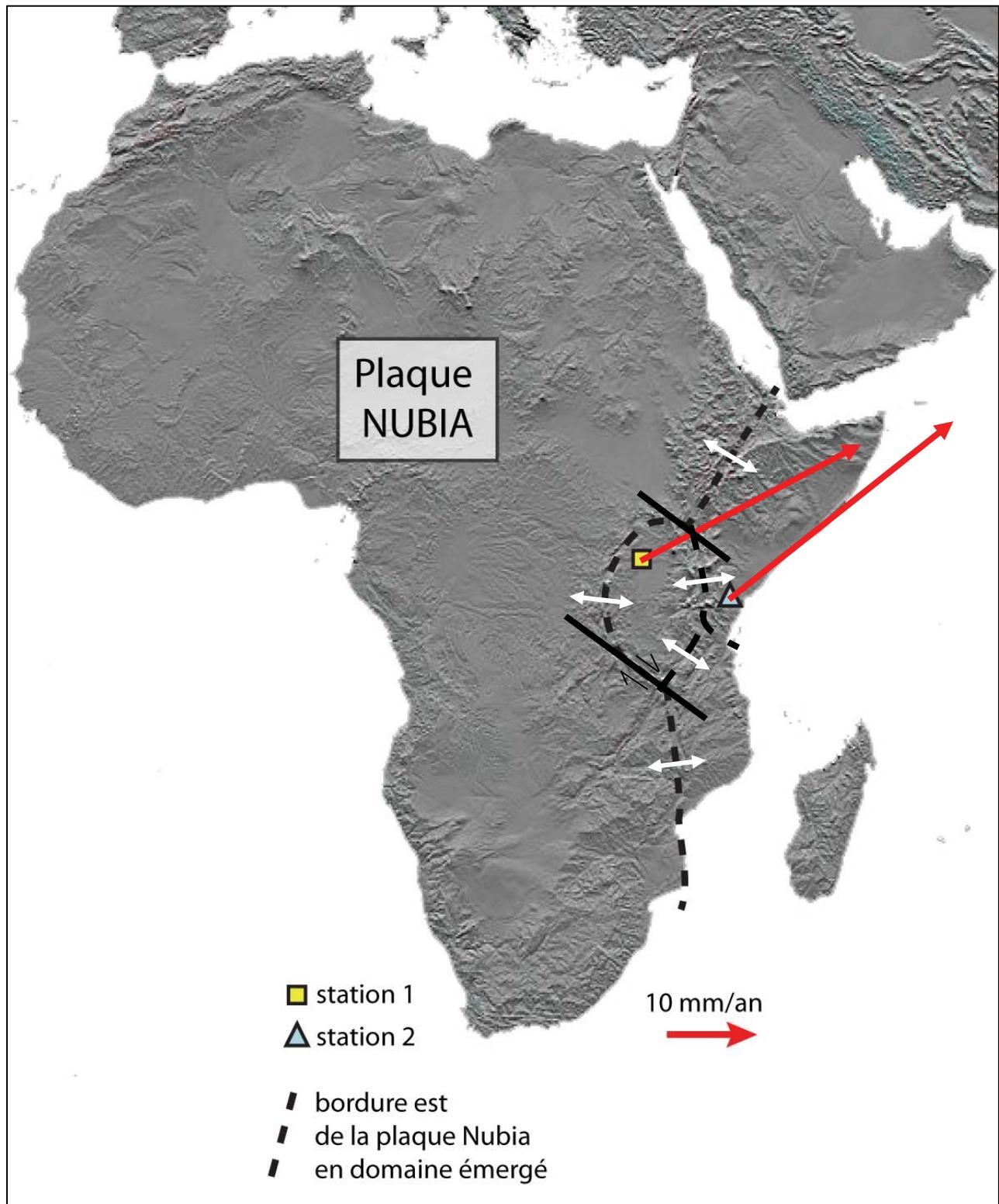


Figure 8. Fond de carte topographique de l'Afrique et position des stations GPS 1 et 2.

NOM :

PRENOM :

Salle :



Question I.16. A l'aide des résultats GPS et de la carte, vous discuterez d'un possible déplacement relatif entre les deux stations.

Réponse à la question I.16.

Il y a une différence de vitesse de 3,7 mm/an (= 33,4 – 29,7) entre les deux stations, cela sous entend donc un déplacement relatif. La station 2 (située à l'Est de la première) montrant la vitesse la plus importante, ce déplacement relatif est une **divergence**.

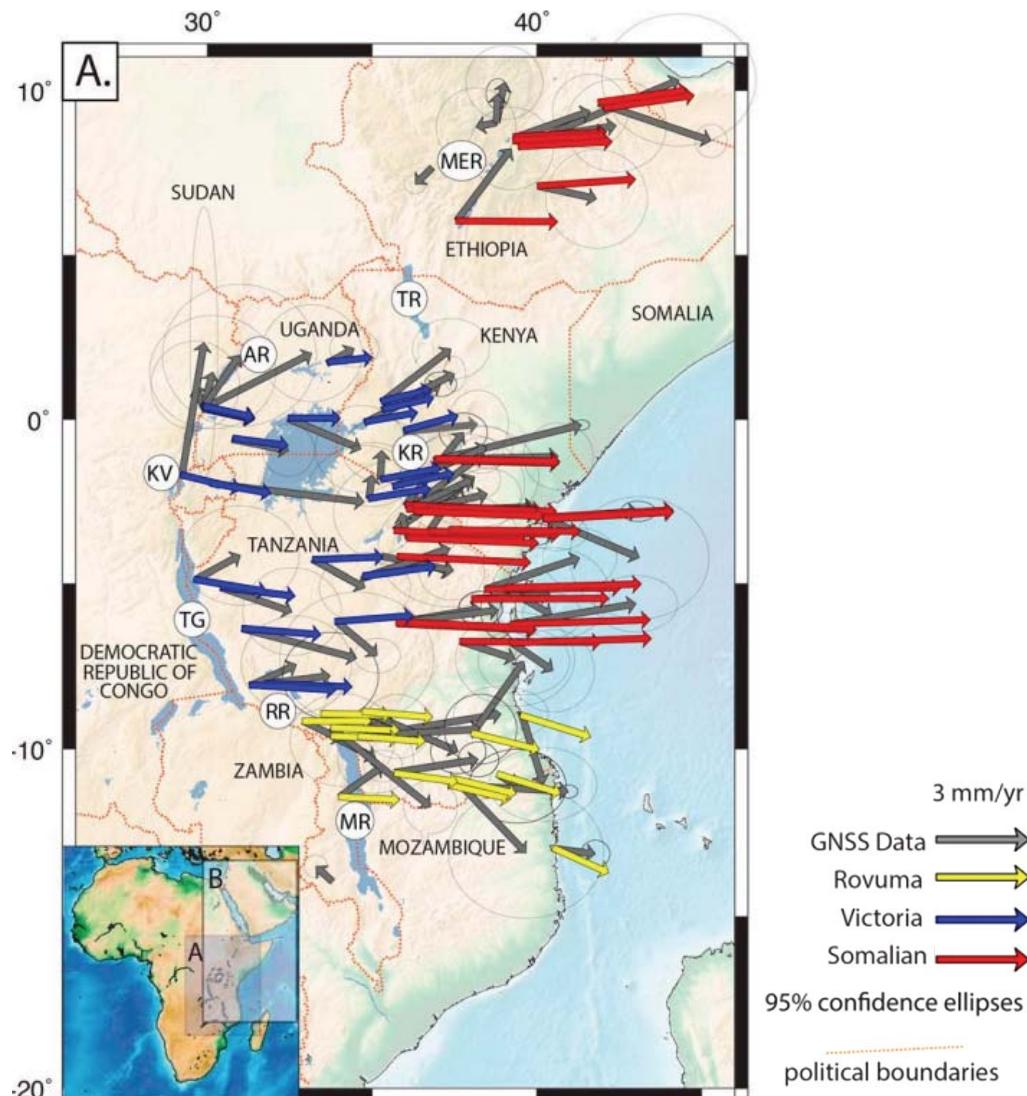


Figure 9. Donnée GPS le long du Rift Est africain, en considérant la plaque Nubia fixe.
(Rajaonarison et al. 2021)

NOM :

PRENOM :

Salle :

Question I.17. Des données complémentaires de même type (issues d'autres stations GPS) sont présentées en **Figure 9**. Elles représentent les vecteurs de déplacement par rapport à la plaque Nubia, considérée fixe. A partir de ces informations, vous complèterez la **Figure 8** en y représentant toutes les limites de plaques en présence ainsi que les mouvements relatifs entre celles-ci, par des flèches. Vous expliquerez votre raisonnement en intégrant notamment les informations des questions I.1 à I.5.

Réponse à la question I.17 (représentation des limites de plaques et leurs mouvements en figure 8, commentaire dans ce cadre)

L'ensemble des vecteurs GPS montre un déplacement vers l'Est par rapport à la plaque Nubia (la frontière est donc divergente). Par ailleurs, tous les vecteurs n'ont pas la même norme. Par exemple, ceux du secteur somalien (en rouge) ont une norme plus grande que celle des vecteurs de la zone Victoria (en bleu). Cela indique la présence de deux microplaques dont la frontière est également divergente. La microplaque somalienne montre un déplacement plus rapide que celui de la zone Rovuma. Les réponses aux questions I.1 à I.5 indiquent un régime extensif dans ces mêmes frontières ainsi que des zones transformantes accommodant ces déplacements relatifs. Le système du rift Est africain correspond donc à trois microplaques qui s'éloignent de la plaque Nubia.

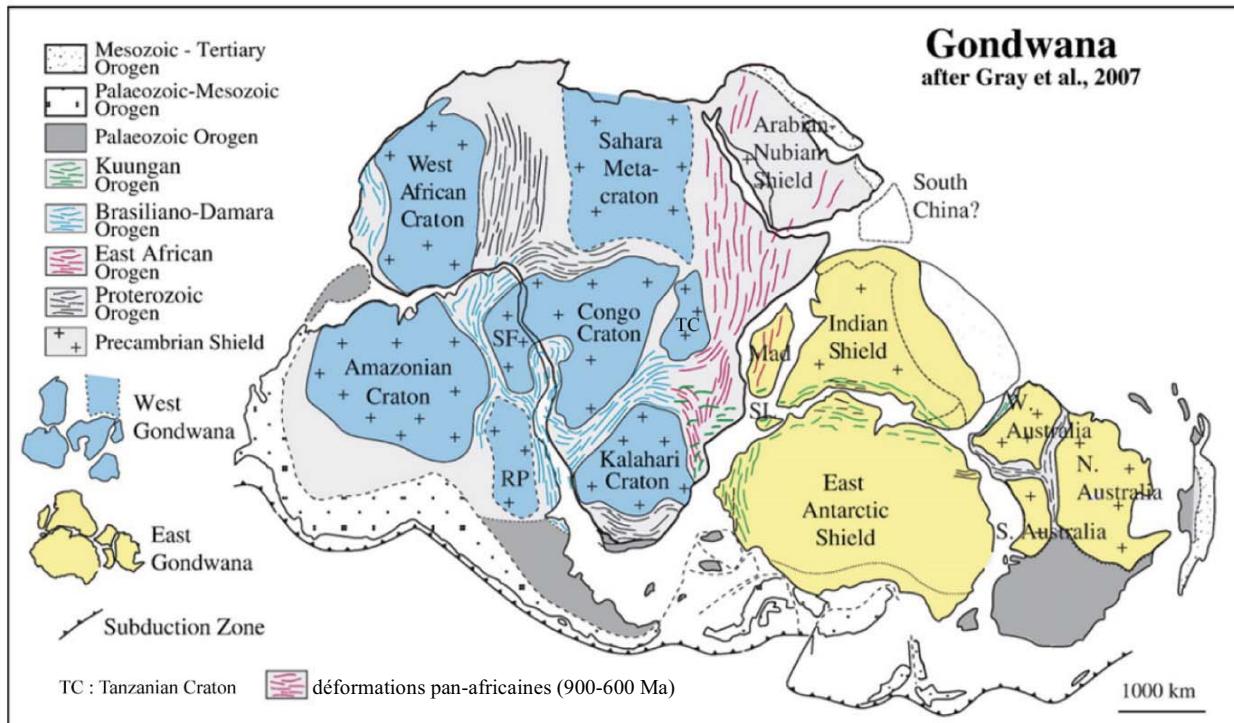


Figure 10. Carte structurale du Gondwana (Gray et al. 2007)

Question I.18. Vous montrerez comment les informations de la Figure 10 peuvent expliquer la géométrie du système d'extension Est africain.

La figure 10 montre un parallélisme fort entre les structures anciennes (déformations pan-africaines) et les branches du rift est africain. Par ailleurs le cratons tanzanien (croûte continentale archéenne, froide et resistante) correspond à l'une des microplaques identifiées en question I.16. Ainsi, ces zones de faiblesse et de résistance anciennes sont un cadre structural important pour l'extension est africaine : c'est l'héritage structural.

NOM :

PRENOM :

Salle :

Partie II. Le volcanisme est-africain

Vous avez étudié le contexte géodynamique global de l'Afrique de l'Est. Nous vous proposons dans cette partie de vous focaliser sur le volcanisme actuel dans la zone encadrée en vert sur la **Figure I.1**.

Des échantillons ont été récoltés dans la région ; vous avez à disposition les compositions en éléments majeurs et traces (Tableau 1), et trois échantillons de roches et la lame mince correspondante (Poste 1, Pétrologie)

Question II.1. Dans le diagramme fourni (**Figure 11**), vous identifierez les axes correspondants dans les cadres noirs correspondants. Vous préciserez quelle(s) information(s) nous apporte cette représentation graphique. Vous reporterez les compositions du tableau 1 et vous conclurez sur le processus pétrologique qui relie les différents échantillons.

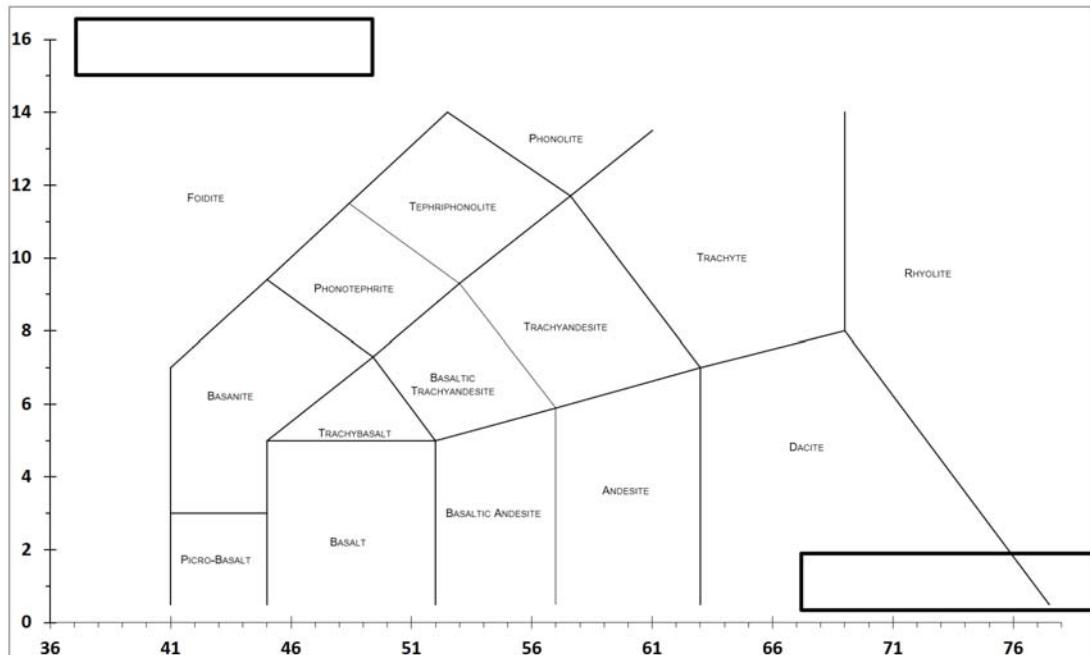


Figure 11 : Diagramme de classification des magmas (Lebas et al., 1992).

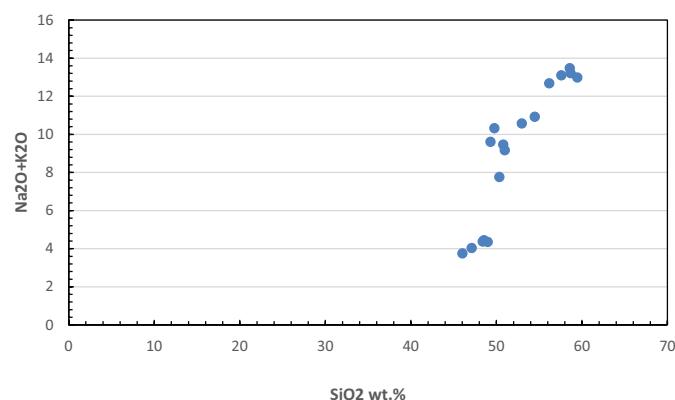
Réponse à la question II.1

Diagramme TAS c'est $Na_2O + K_2O = f(SiO_2)$

NOM :

PRENOM :

Salle :



SiO₂ est pris comme un indice de différenciation

Roches reportées définissent une série magmatique alcaline, par différenciation les basaltes alcalins donnent des phonolites (processus de cristallisation fractionnée)

ATELIER 1 : ROCHES MAGMATIQUE (20 min)

Question II.2. Réalisez une identification raisonnée de trois échantillons venant des roches du tableau 1 (roche et lames minces correspondantes). Vous réaliserez un schéma de la lame mince de l'échantillon 1 **uniquement**.

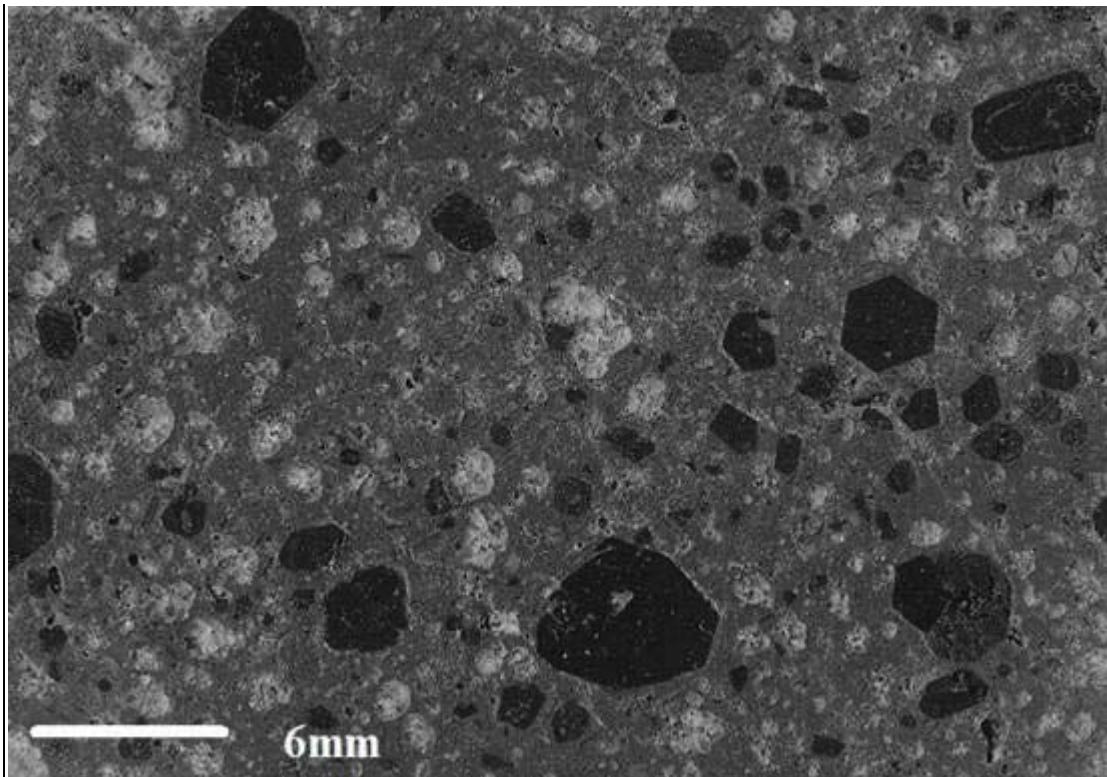
Réponse à la question II.2.

Les 3 échantillons étaient : Basalte, Tephrite à leucite, Phonolite à sanidine

NOM :

PRENOM :

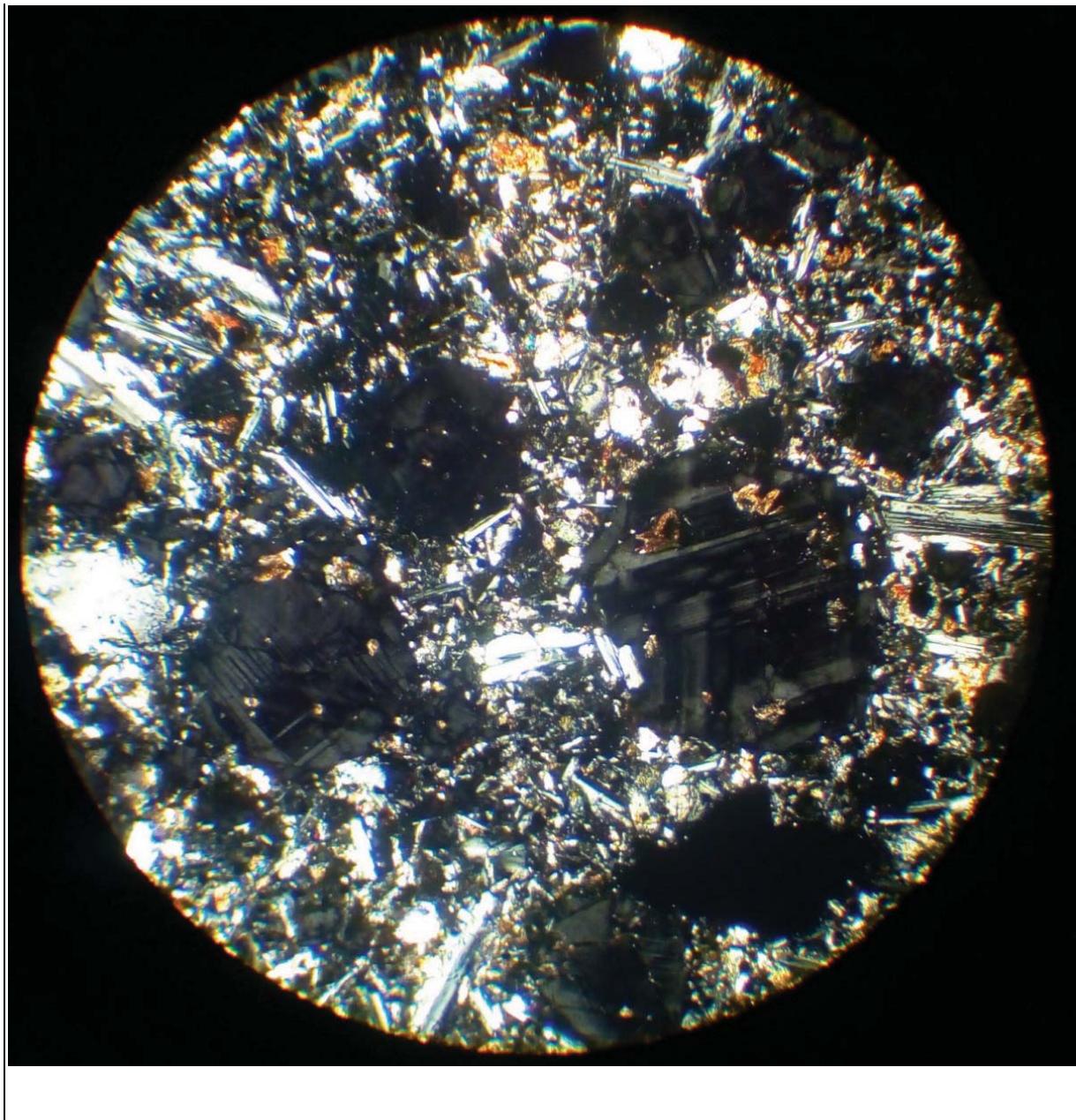
Salle :



NOM :

PRENOM :

Salle :



Réponse à la question II.2. (suite) (schéma à réaliser dans l'encadré bleu)

NOM :

PRENOM :

Salle :

--

Question II.3. Le tableau 1 vous donne aussi accès aux compositions en certains éléments traces. La Figure 12 représente une partie de ces données. Vous expliciterez les axes, en particulier (1) ce que signifie le rapport « sample / primitive mantle » en ordonnée, (2) de quels éléments il s'agit en abscisse et comment sont ordonnés ces éléments et (3) vous représenterez le spectre du manteau primitif sur la figure.

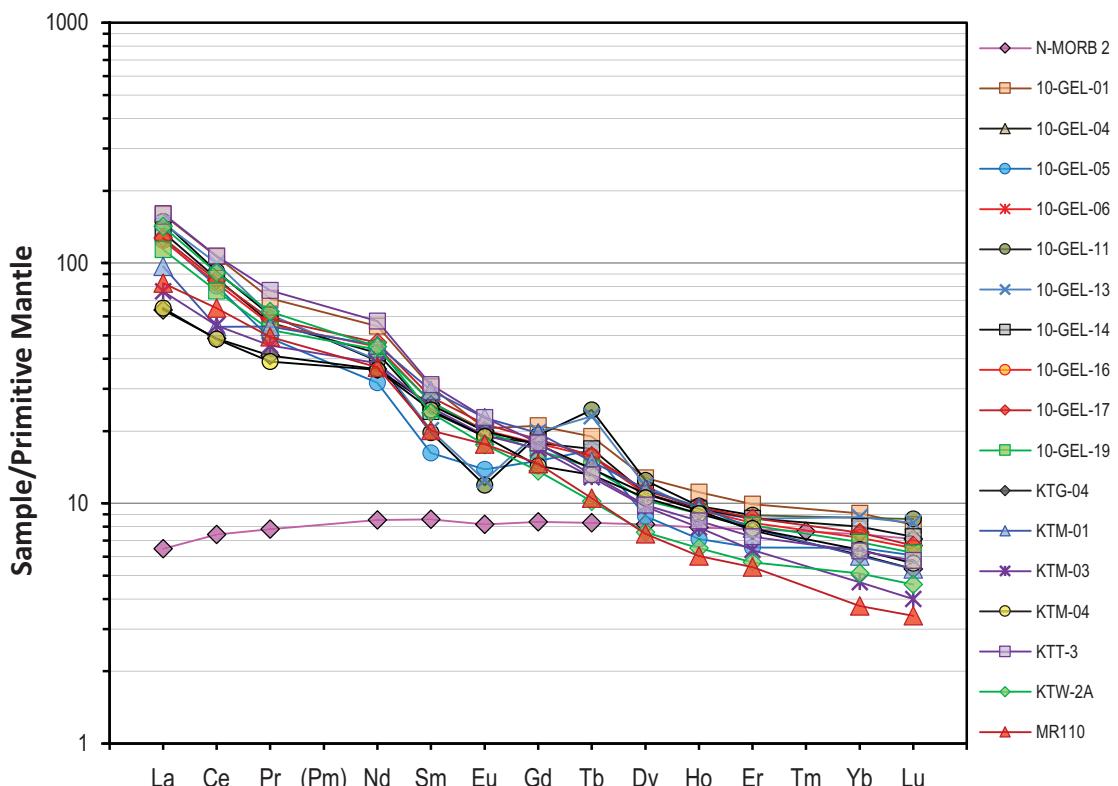


Figure 12 : Spectre d'éléments traces des magmas étudiés.

NOM :

PRENOM :

Salle :

Réponse à la question II.3

Sample / primitive mantle = normalisation par rapport au manteau primitif pour ne voir que les événements postérieurs = différenciation de la terre primitive par extraction des croûtes

Abscisse = Terres rares = éléments classés par ordre d'incompatibilité décroissante de gauche à droite

Spectre MP = droite à 1 dans la figure

Question II.4. Vous préciserez quelle(s) information(s) sur la source des magmas nous donne cette représentation. En particulier vous comparerez les résultats avec le spectre des N-MORB représenté en rose.

Réponse à la question II.4

MP → FP → liquide enrichi en éléments incompatibles = toutes les TR, mais davantage en TR légères, les plus incompatibles = spectre typique d'un basalte de type OIB = fusion du manteau primitif (spectre plat)

Spectre MORB = enrichi en TR MAIS moins et appauvri en TR légères = signe de la fusion d'un manteau source déjà appauvri par un épisode de FP

Question II.5. On cherche à estimer le taux de fusion partielle ayant généré les magmas étudiés. Pour cela on vous donne l'équation de la loi de fusion partielle. D'après Shaw '1970), la loi de fusion partielle peut s'écrire mathématiquement sous la forme suivante :

$$C_L^i = C_0^i / [D_0^i + F(1 - D_0^i)] \quad \text{Equation 1}$$

Avec

C_L^i = Concentration de l'élément i dans le liquide L à l'instant t

C_0^i = Concentration de l'élément i dans le solide initial qui fond

D^i_0 = coefficient de partage d'un élément i donnée, dans l'assemblage minéralogique initial

F = taux de fusion partielle

L'équation 1 peut se simplifier pour isoler F ; vous justifierez la simplification faite. Puis vous calculerez le taux de fusion partielle ayant produit les magmas de la zone d'étude, sur la base des questions II.3 et II.4 et des données du tableau 1. Vous discuterez votre résultat.

Réponse à la question II.5.

Si on prend un élément très incompatible = $D \sim 0$

Simplification $F = C_0^i / C_L^i$

Taux de fusion partielle en prenant en compte avec la gamme de valeur entre 50 ppm et 100 ppm dans le magma

$F = 1/50$ et $1/100$ soit entre 0,01 et 0,02 = 1 à 2 % de taux de FP,

Taux typique des contextes de point chaud

NOM :

PRENOM :

Salle :

Question II.6. On peut également retrouver dans la région des Komatiites, datées à 2.5 Ga. Ces roches proviennent également d'un processus de fusion du manteau mais avec un taux estimé autour de 50 %. (1) Vous comparerez avec le résultat obtenu à la question II.5 et (2) vous formulerez une hypothèse quant à l'origine de leur formation.

50% >> 1-2 %

Origine archéenne = manteau plus chaud qui fond avant de se déshydrater

NOM :

PRENOM :

Salle :

On peut trouver des analogues naturels actuels des éruptions des volcans ayant produits les magmas dont les compositions sont reportées dans le Tableau 1. Ainsi, vous avez en **figure 13** deux photos d'éruptions récentes qui auraient pu être celles ayant donné les champs volcaniques étudiés.

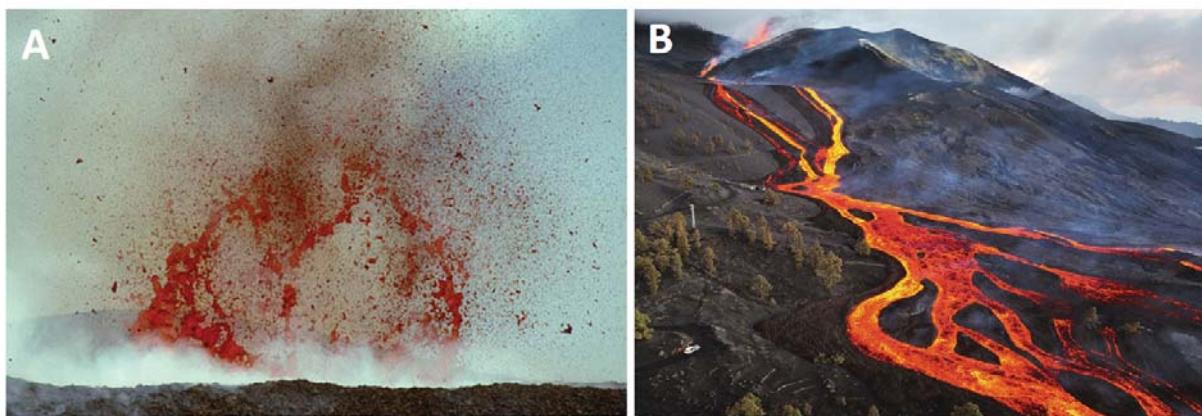


Figure 13 : A. Explosion strombolienne au Piton de la Fournaise, Novembre 2006. Photo: S. Gélabert. B. Coulée de lave prise à La Laguna, au nord-ouest du volcan Cumbre Vieja (île de la Palma). Photo: E. Morenatti

Dans la suite de cette partie, on cherche à caractériser le régime d'écoulement dans le conduit, c'est-à-dire le comportement des bulles vis-à-vis du magma lors de la remontée entre le réservoir et la surface, ayant donné en surface les deux types d'éruption observées. Ce comportement des bulles va conditionner le style éruptif en surface en jouant sur différents paramètres.

Le comportement des bulles dans le conduit est en partie conditionné par la vitesse d'ascension des magmas dans le conduit. On vous propose, dans un premier temps, d'estimer la vitesse d'ascension des magmas. C'est un paramètre complexe à estimer lors d'une éruption. A l'aide de la chronométrie diffusive appliquée aux cristaux transportés par les magmas, il est possible d'estimer cette vitesse d'ascension des magmas dans les conduits. Le minéral le plus communément utilisé pour des magmas basaltiques est l'olivine dans laquelle on mesure la concentration en hydrogène (H) le long d'un transect entre le cœur et la bordure du minéral.

Question II.7. Vous émettrez des hypothèses pour justifier l'utilisation de H comme traceur.

Réponse à la question II.7.

H = H₂O = élément volatil majeur des magmas = traceur des processus de dégazage

Question II.8. Quelle loi physique permet de décrire la diffusion d'un élément chimique ?

Réponse à la question II.8.

La loi de Fick

NOM :

PRENOM :

Salle :

ATELIER 2 : POSTE INFORMATIQUE - vitesse d'ascension des magmas par application de la diffusion intracristalline (15 min)

Vous avez à disposition au poste informatique (Atelier 2), une feuille excel. Par application de la méthode diffusion, on estime le temps d'ascension à 26,5 jours.

Question II.9. Vous expliciterez qualitativement les paramètres qui influencent le plus le processus de diffusion en faisant varier les paramètres libres sur la feuille excel (cellules en vert).

Réponse à la question II.9.

Conclusion = la température est le paramètre le plus important

Question II.10. Le but est de calculer la vitesse d'ascension du magma ayant transporté l'olivine analysée. Des études pétrologiques sur les réservoirs magmatiques donnent une profondeur du réservoir ayant alimenté l'éruption étudiée de 1,2 km. Vous calculerez la vitesse d'ascension du magma des échantillons étudiés, notée v . Vous commenterez votre résultat.

Réponse à la question II.10.

$V=D/t = 1\ 200 / 170 = 7 \text{ m/s soit } 25 \text{ km/h contre des pointes de Usan Bolt sur } 100 \text{ m à } 12 \text{ m/s (~45 km/h)}$

Question II.11. Connaissant la vitesse on est capable d'estimer le diamètre du conduit. A l'aide de l'expression de l'équation 2, calculez le diamètre du conduit correspondant à la vitesse trouvée à la question précédente II.10.

$$v = 7.7 [w^5 / \{\mu(\rho g \Delta \rho)^3\}]^{1/7} g \Delta \rho \quad \text{Equation 2 d'après Lister and Kerr (1991)}$$

Données : la viscosité $\mu = 10 \text{ Pa s}$, la densité du magma $\rho = 2600 \text{ kg m}^{-3}$, g l'accélération de la pesanteur ($\approx 9.81 \text{ m s}^{-2}$), et $\Delta \rho$ la différence de densité entre le magma et la croûte (50 kg m^{-3}) ; w le diamètre du conduit (en m) et v la vitesse d'ascension du magma (en m s^{-1} ; question II.10). 7,7 est un paramètre expérimental.

Réponse à la question II.11.

$$w = [(v/7.7g\Delta\rho)^7 \times \mu(\rho g \Delta \rho)^3]^{(1/5)}$$

soit 2,27 m

NOM :

PRENOM :

Salle :

Nous venons de regarder les informations portées par les cristaux. Nous allons regarder maintenant le comportement des bulles directement.

L'objectif de cette partie est de discuter du lien entre le style éruptif (figure 14) et le régime d'écoulement du magma dans les conduits d'alimentation, en particulier la façon dont les gaz influencent le type d'éruption observé.

Pour cela, on vous propose un atelier analogique. La modélisation analogique sert à mieux comprendre et prédire les comportements complexes du magma dans les conduits volcaniques, en offrant un moyen visuel, accessible et simplifié d'étudier ces phénomènes naturels. La remontée du magma dans les conduits volcaniques implique de nombreux facteurs physiques, tels que la viscosité et la densité du magma, la pression, la température et les interactions entre les différents composants du magma. Une modélisation analogique permet de simplifier ces phénomènes en les reproduisant avec des systèmes physiques plus simples, ce qui permet de visualiser et d'étudier le comportement du magma.

ATELIER 3 : MODELISATION ANALOGIQUE Modélisation analogique de l'ascension des magmas dans les conduits d'alimentation (EXPERIENCE DANS LE COULOIR) (40 min)

Vous disposez du matériel suivant :

- un tube en plexiglas de 40 cm de hauteur remplis de glycérol, de diamètre 5 cm
- un bulleur réglable
- un mètre, des feutres, un chronomètre
- une calculatrice scientifique

On cherche à vous faire compléter le diagramme de la Figure II.4 en fonction des résultats que vous obtiendrez lors de vos expériences. Pour cela il faut rapporter :

1. Le comportement des bulles observée qualitativement en faisant varier le débit du bulleur manuellement
2. La vitesse des bulles que vous aurez calculée

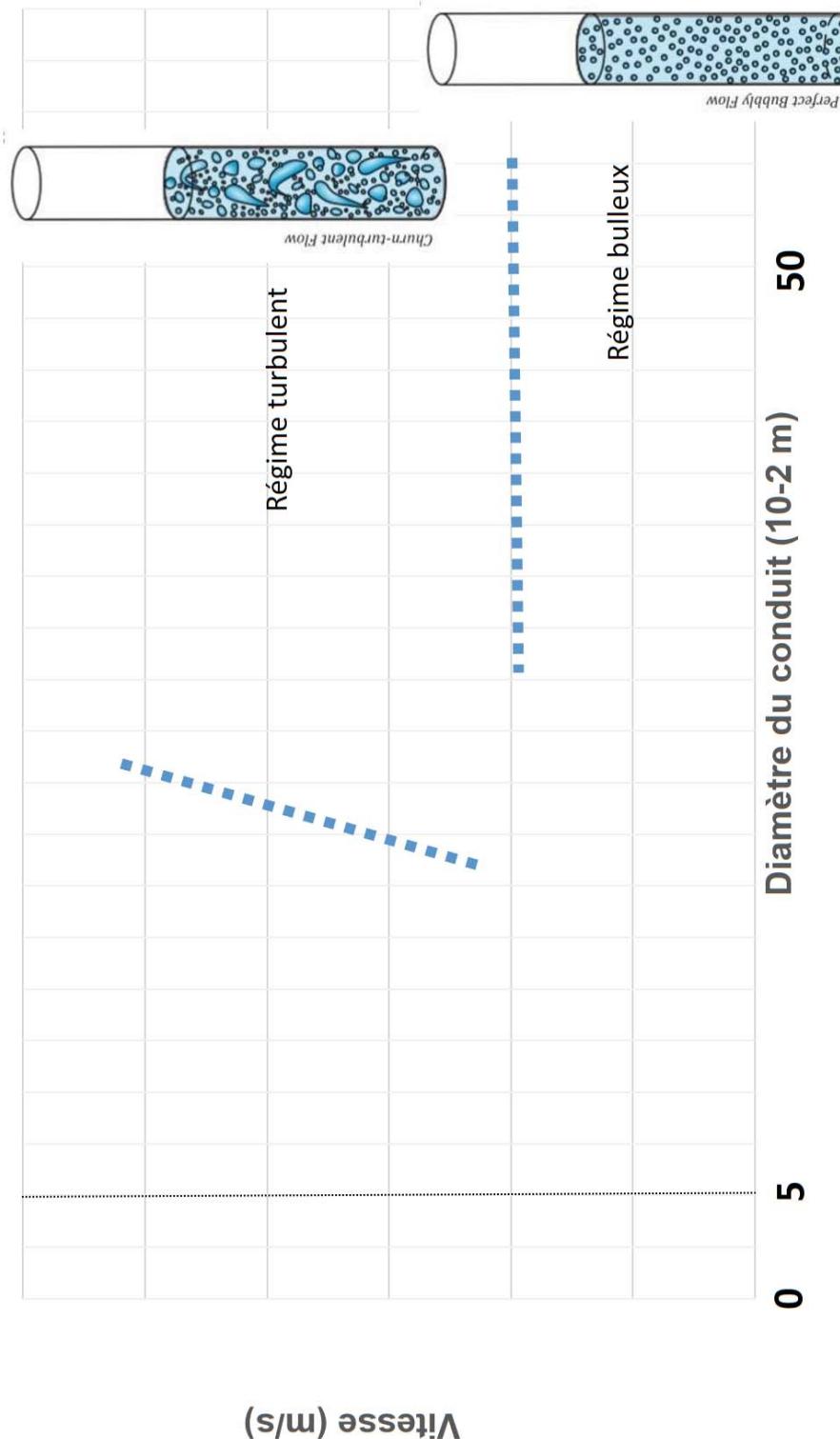
Ainsi vous pourrez compléter les domaines de régime d'écoulement des bulles comme reportés dans la **Figure 14** pour un diamètre de 50 cm.

Figure 14 : Vitesse d'ascension des magmas en fonction du diamètre du conduit. Le résultat est reporté pour un diamètre de 50 cm et le régime d'écoulement des bulles est précisé (régime bulleux ou turbulent).

NOM :

PRENOM :

Salle :



NOM :

PRENOM :

Salle :

Question II.12. Vous schématiserez le protocole suivi et vous en ferez une description orale à l'examinatrice.trice présent.e. Vous préciserez (1) les régimes d'écoulement des bulles observés qualitativement, puis (2) quel paramètre vous mesurez directement et (3) quel paramètre vous calculez pour compléter la **figure 14**.

Réponse à la question II.12.

(1)

Faible vitesse = plein de petites bulles = régime bulleux comme pour gros diamètre / faible vitesse

Vitesse élevée = coalescence des bulles pour former de grosses bulles de la taille presque du conduit = "slug"

+ à la frontière entre les 2 régimes pour une vitesse intermédiaire

(2)

On mesure = temps de remontée d'une bulle repérée entre 2 marques faites sur le tube.

(3)

On calcule la vitesse, connaissant la distance parcourue par la bulle

Question II.13. Vous réaliserez le nombre d'expérience nécessaire pour répondre à la problématique, en justifiant ce nombre, et vous reporterez vos résultats dans **le tableau 2**. Un tableau est à votre disposition pour noter par expérience la valeur du paramètre mesuré et celui calculé.

NOM :

PRENOM :

Salle :

	Mesure	Calcul
Quel paramètre ?		
Quelle unité ?		
Expérience 1		
Expérience 2		
Expérience 3		
Expérience 4		
Expérience 5		
Expérience 6		

Tableau 2 : Résultats des expériences effectuées à reporter dans ce tableau

Réponse à la question II.13.

Pour un débit donné = plusieurs mesures(>3?) pour une moyenne de temps

4 débits différents pour couvrir une large gamme de valeur de vitesse ?

On cherche ici à tester le candidat dans sa démarche.

- penser à répéter les mesures

- comment est effectuée cette mesure

- faire les 2 vitesses extrêmes puis une intermédiaire

- propreté des manipulations

- posture lors de la mesure (trait de repère, chronomètre..)

- passage préparé avant d'arriver sur l atelier

--

Question II.14. Vous complèterez la Figure II.4 en décrivant les régimes d'écoulement observés (et la frontière entre les différents régimes observés), et en quantifiant la vitesse d'ascension des bulles.

Réponse à la question II.14.

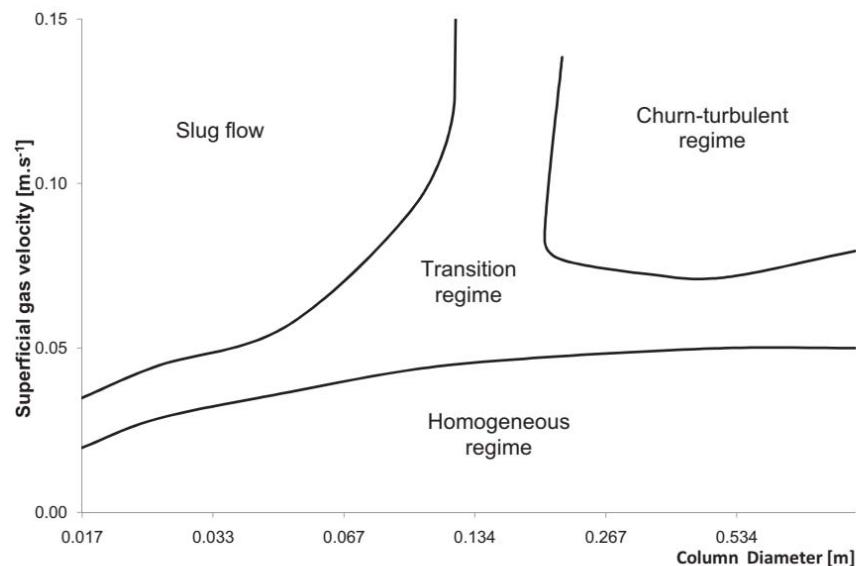
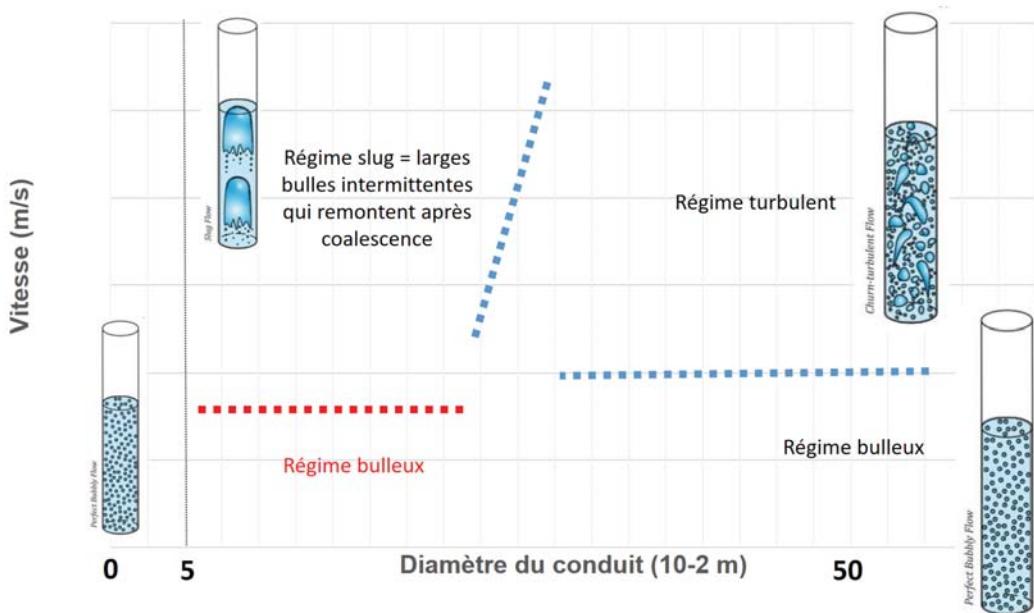


Fig. 2 – Flow regime diagram at ambient pressure and temperature. Air/water system. Adapted from (Kantarci et al., 2005).



NOM :

PRENOM :

Salle :

Question II.15. En vous aidant de vos résultats analogiques, vous proposerez un régime d'écoulement menant aux 2 types d'éruption de la **figure 14**.

Réponse à la question II.15.

A = slug = petit diamètre / vitesse élevée

B = faible vitesse, peu importe le diamètre

NOM :

PRENOM :

Salle :



Figure 15 : Activité de fontaine de lave. Lava fountain 450 m (1,475 ft) de haut du volcan Kīlauea. Durée 10 secondes. Photo: C. Heliker.

Question II.16. On peut également parfois observer des fontaines de lave (**figure 15**). A partir de ce que vous avez montré dans cette partie, comment expliqueriez vous ce type d'activité (quel régime d'écoulement dans le conduit ?, quelle vitesse d'ascension ?)

Réponse à la question II.16.

Régime annulaire = teneur en gaz élevé et coalescence formant un jet central dans le conduit qui repousse le magma aux parois

Partie III. Géologie de l'Oman

Situées à l'extrémité orientale de la péninsule arabique, les montagnes de l'Oman forment un arc de 700 km de long. Vous avez à disposition la carte géologique de Seeb au 1/50 000 couvrant le secteur central de cet arc. Sa localisation est précisée en **Figure 16**

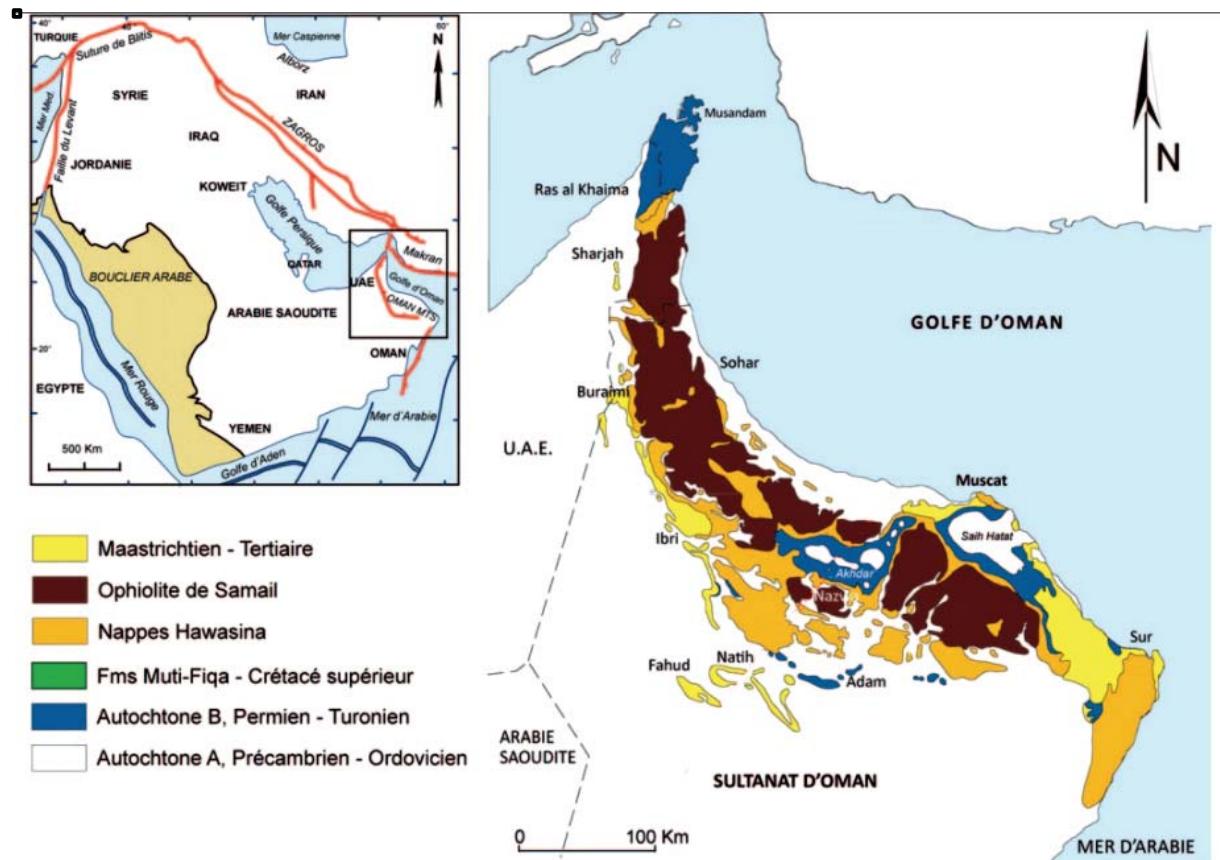


Figure 16. Carte schématique des montagnes d'Oman (Béchennec, 2023). La cadre rouge localise la carte géologique de Seeb, l'ellipse rouge entoure la fenêtre de Saïh Hatat (voir question III.9).

NOM :

PRENOM :

Salle :

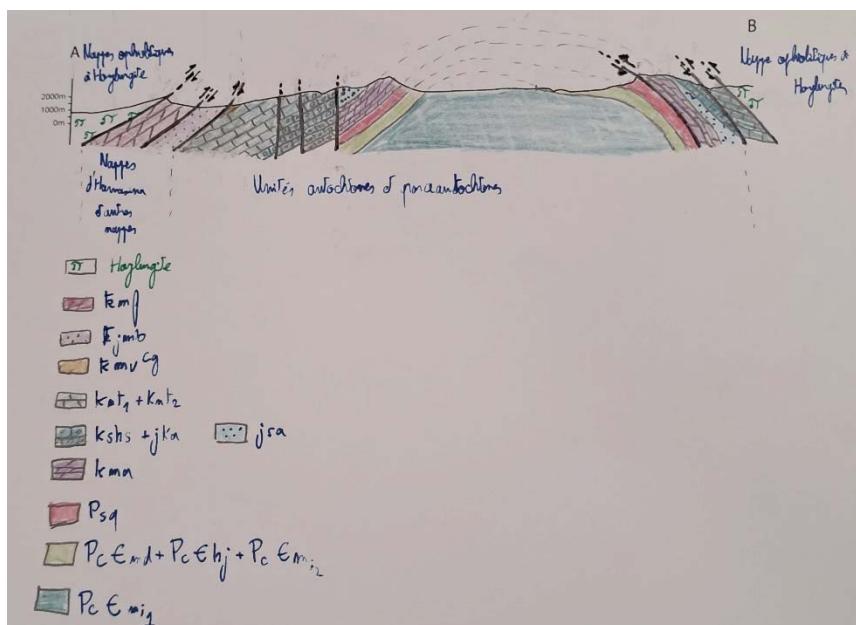
Question III.1. Vous réaliserez une coupe géologique selon le tracé indiqué sur la carte géologique de Seeb sur le papier millimétré A3 fourni.

Réponse à la question III.1-> à effectuer sur le papier millimétré A3 fourni.

Question III.2. Vous reconstituerez la chronologie des principaux événements géodynamiques, tectoniques et sédimentaires de la région à l'aide des informations apportées par la coupe réalisée ainsi que la carte géologique.

Réponse à la question III.2.

Une production jugée satisfaisante



Les grandes étapes de l'histoire géologique de la région sont :

1-sédimentation Cambrienne (détritique) puis Trias à Crétacé-Turonien/Santonien (carbonatée, marine)

2-mise en place d'une nappe (identification d'une fenêtre) post-Crétacé => obduction de la nappe ophiolitique de Samail

Etude sédimentologique de la région de Djebel Akhdar

On cherche à reconstituer le paléoenvironnement de la plate-forme arabe au Trias. Celle-ci affleurant au niveau du dôme de Djebel Akhdar. Pour cela, 3 sites localisés sur la **Figure 17** sont à étudier.

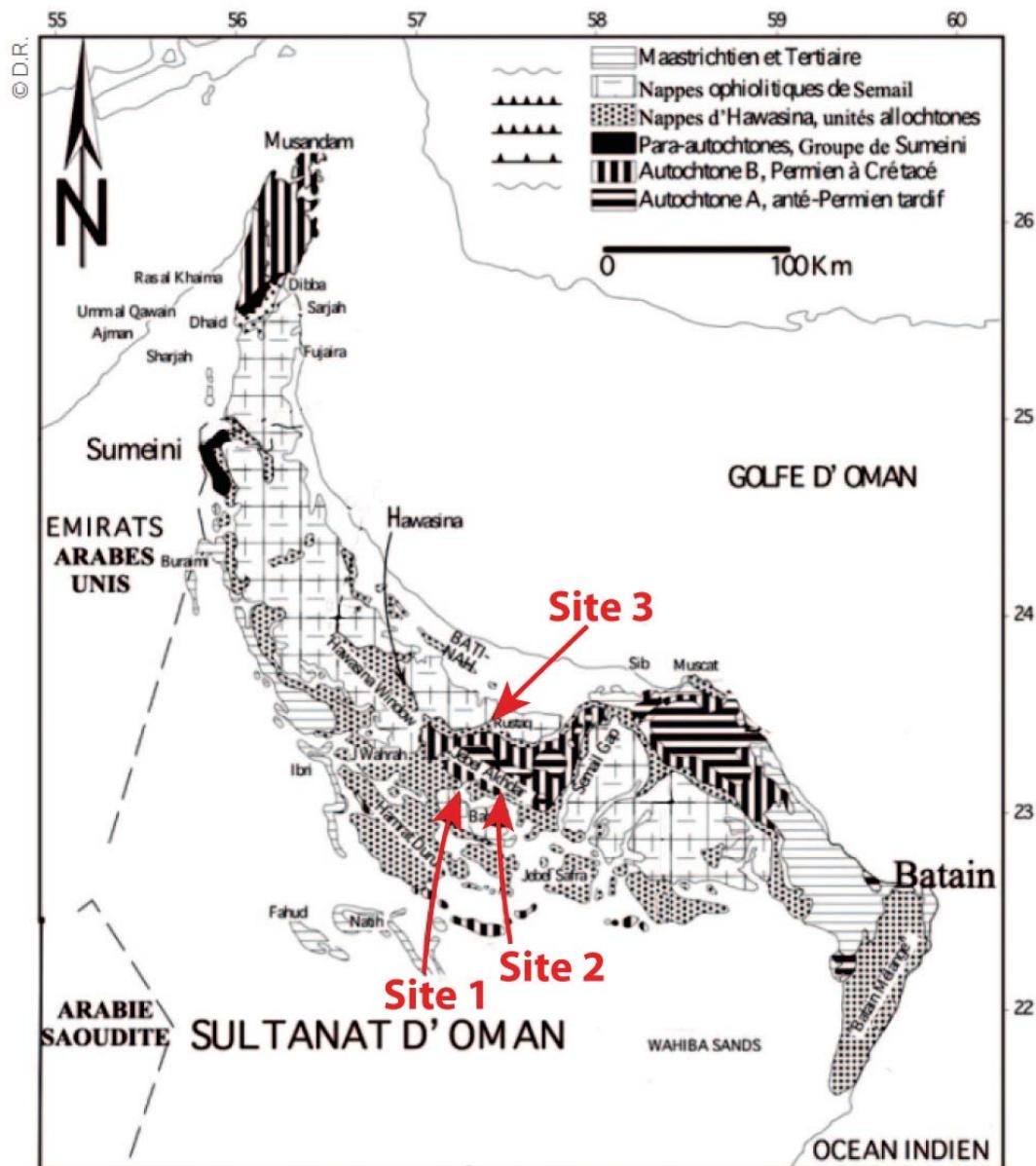


Figure 17. Carte géologique simplifiée des montagnes d'Oman localisant les 3 sites à étudier. Les terrains correspondant à ces sites sont tous d'âge permo-trias. (Baud, 2023).

NOM :

PRENOM :

Salle :

ATELIER 4 : SEDIMENTOLOGIE ET PALEONTOLOGIE (30 min)

Question III.3. Pour chaque site, vous décrirez et identifierez les roches et/ou fossiles fournis puis interprétez les observations en termes de milieu de dépôt. Vous réaliserez un dessin d'observation de **deux fossiles** des sites 1 et 3 (encadrés bleus) mettant en évidence les caractéristiques permettant leur identification. Vous annoterez les photos pour le site 2.

Réponse à la question III.3.

SITE 1 : (dessin annoté de l'échantillon A)

Echantillon A

Brachiopode /Térébratulidé

NOM :

PRENOM :

Salle :

Réponse à la question III.3. (suite)

Commentaire pour le Site 1 :

Echantillon A :

-Organisme bivalve dont l'axe de symétrie est perpendiculaire à la charnière =>
Brachiopode
-coquille lisse, stries de croissance, crochet développé, léger sinus dorsal => **Térébratulidés**

Organisme marin, fixé grâce à un pédoncule, de **plateforme continentale** (maximum : 50 m de profondeur)

Echantillon B :

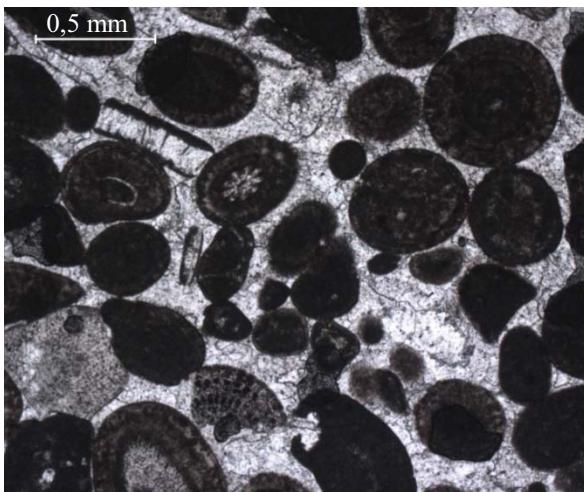
Le fossile correspond à une bioconstruction montrant un organisme colonial (loges nombreuses) présentant des cloisons rayonnantes (septes). Cette symétrie radiale est la caractéristique du groupe des **Cnidaires**. Il s'agit d'un polypier (ou boundstone) squelette calcaire des coraux caractérisant les milieux récifaux (eau chaude peu profonde-profondeur maximum : 10 m).

Bilan :

Les informations fossiles indiquent, pour le **site 1**, un **milieu marin peu profond** (récifal).

Réponse à la question III.3. (suite)

SITE 2 (commentaire de l'échantillon macroscopique et annotation et commentaire de la lame mince)



Oolithe (structure ovoïde formée de couches concentriques de carbonate autour d'un nucleus).

Sparite (ciment carbonaté-

Grainstone (ou oosparite)

Echantillon macroscopique :

roche beige, faisant effervescence à l'acide chlorydrique et constituée de grains millimétriques arrondis => **calcaire oolithique**.

La présence d'oolithes tout comme la nature de la phase de liaison (sparite) indiquent un milieu régulièrement agité.

Les **oolithes** se forment par enrobage de couches de carbonates autour d'un noyau (ou nucleus) qui peut être un débris coquiller ou un grain de quartz. Cet enrobage sur toutes les faces nécessite une **agitation régulière** de l'objet.

La présence d'un **ciment sparistique** (et non d'une matrice) témoigne d'un sédiment lavé des fines particules. Le milieu est donc **suffisamment agité** pour empêcher le dépôt des particules les plus fines. Lors de la diagenèse, la porosité est comblé par cristallisation de la calcite (cimentation).

Bilan :

ces informations indiquent un milieu de dépôt de type avant-côte, soumis à l'action régulière de la houle, au dessus de la limite d'action des vagues de beau temps (moins de 60 m de profondeur).

NOM :

PRENOM :

Salle :

Réponse à la question III.3. (suite)

SITE 3 : (dessin annoté du fossile)

Cératite

Commentaire pour le Site 3 :

Fossile :

organisme à coquille univalve, enroulée et cloisonnée => Céphalopode
Les sutures (traces des cloisons) présentent des sinusoïdes => Ammonoïdes
Les lobes sont dentés et les selles lisses => Cératite

Organisme marin, vivant dans la tranche d'eau.

Echantillon macroscopique :

roche carbonatée (test positif à l'acide chlorydrique) à grain très fin (non visible à l'oeil nu). => mustone (ou micrite).
Les grains fins indiquent un milieu très calme

Bilan :

Ces informations indiquent un milieu de dépôt au niveau du large (supérieur ou inférieur) au delà de 60 m de profondeur.

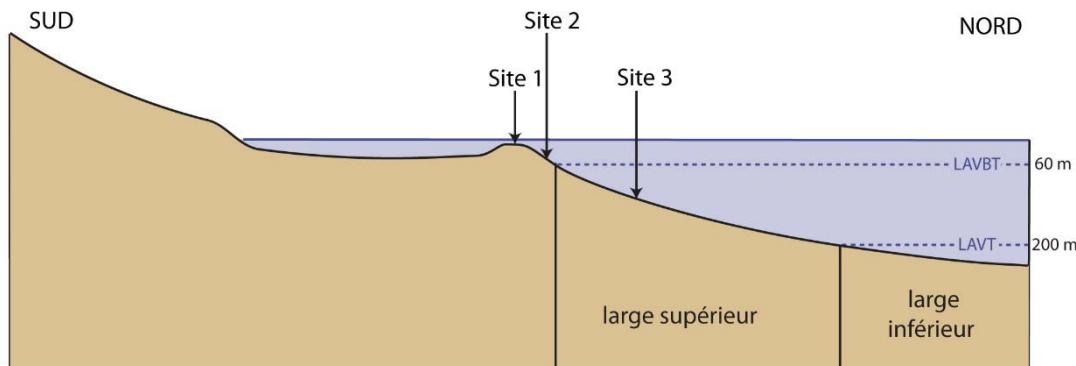
NOM :

PRENOM :

Salle :

Question III.4. Vous intégrerez spatialement les données obtenues à la question III.3 en remplaçant chaque site sur un profil de dépôt orienté, que vous schématiserez.

Réponse à la question III.4.



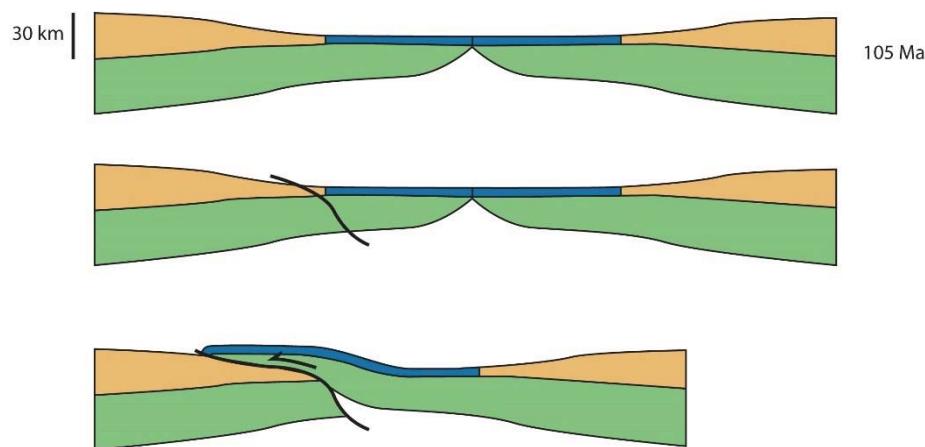
Question III.5. A partir de ces interprétations, vous déterminerez le contexte paléogéographique de la plate-forme arabe au Trias.

Réponse à la question III.5.

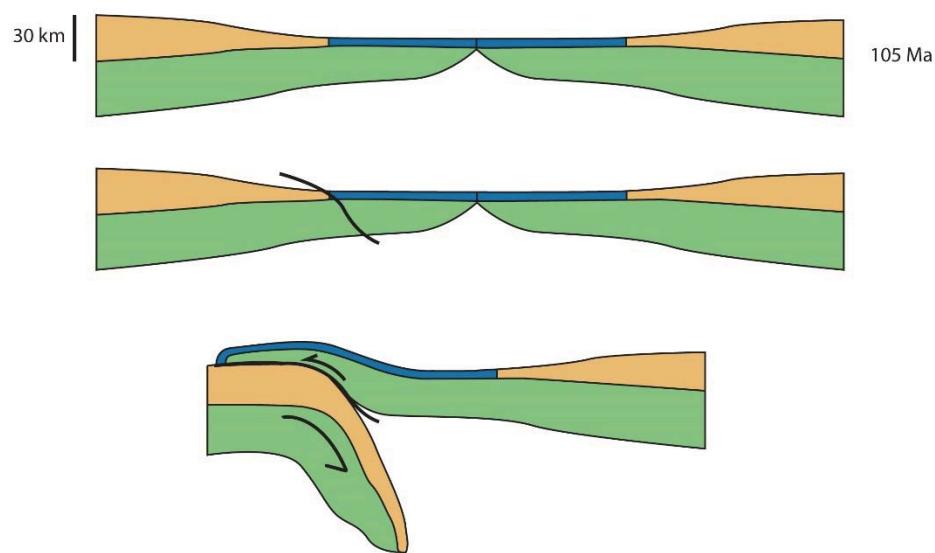
Cette plate-forme carbonatée correspondrait à la marge Sud de l'océan Téthys.

On cherche maintenant à déterminer les conditions de mise en place de la nappe ophiolitique de Samail. Quatre modèles géodynamiques sont proposés en **Figure 18** (voir planche A3). Les questions III.7 à III.18, organisées en trois grands thèmes, guident l'exploitation des données, permettant de privilégier l'un de ces quatre modèles.

Modèle 1 : obduction simple



Modèle 2 : subduction continentale



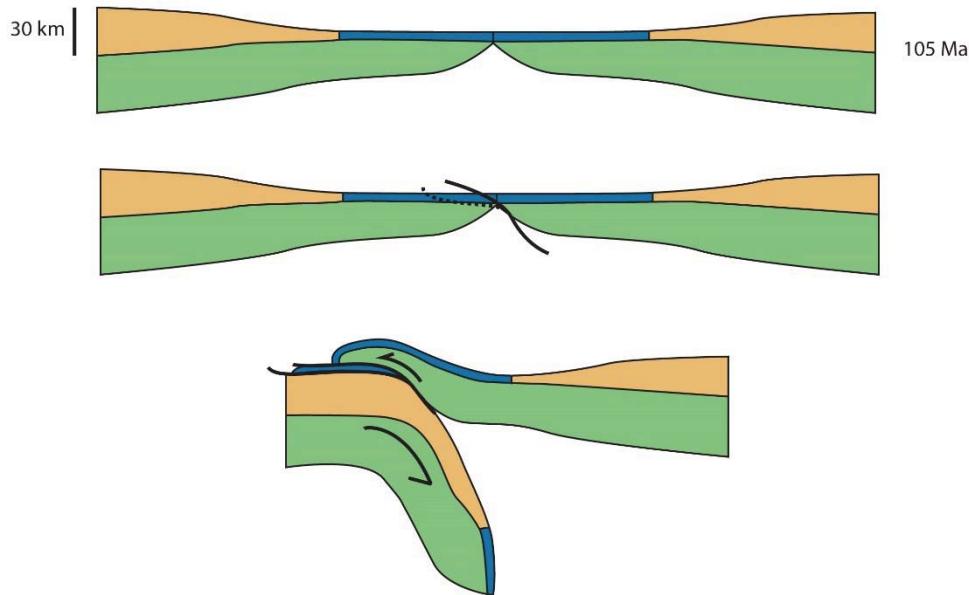
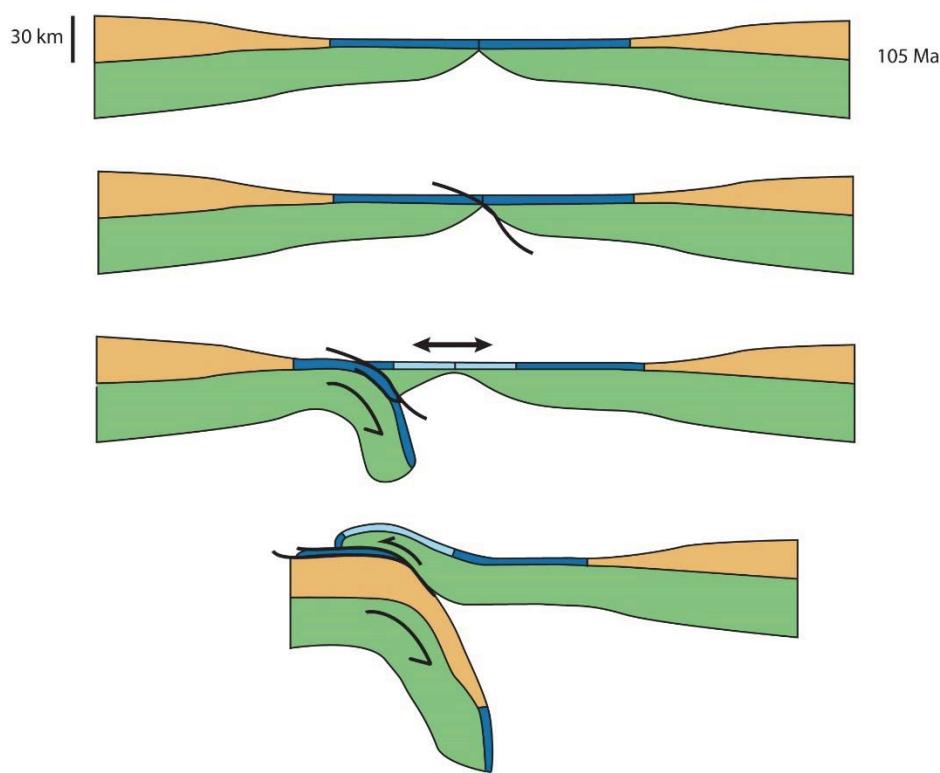
Modèle 3 : subduction intra-océanique**Modèle 4 : supra-subduction (production de nouvelle croûte océanique synchrone de la subduction)**

Figure 18. Quatre modèles possibles de mise en place des ophiolites de Samail

NOM :

PRENOM :

Salle :

Question III.6. Vous définirez le terme « ophiolite ».

Réponse à la question III.6.

Une ophiolite est une séquence de roches (péridotite, gabbro, dolérite, basalte) correspondant à une portion de la lithosphère océanique, charriée sur le continent.

Etude pétrologique et chronologique des roches de la fenêtre de Saih Hatat

Deux roches métamorphiques, équivalentes à celles retrouvées dans la fenêtre de Saih Hatat (localisée en figure 1) sont à étudier.

ATELIER 5 : ROCHES METAMORPHIQUES (20 min)

La roche A est un ancien sill basique d'âge Permien, mis en place dans la marge continentale arabe. Un échantillon macroscopique est fourni.

Pour la roche B, un échantillon macroscopique et une lame sont à analyser.

Question III.7. Vous décrirez et identifierez les 2 échantillons fournis et vous proposerez un contexte de formation pour chacun d'eux en précisant également le protolith possible de la roche B. Un schéma annoté de l'**échantillon A** ainsi que de la lame de l'**échantillon B** est attendu (dans les encadrés bleus).

NOM :

PRENOM :

Salle :

Réponse à la question III.7

ECHANTILLON A : (schéma annoté de l'échantillon macroscopique)

Commentaire pour l'échantillon A :

roche composée de grenat et omphacite => éclogite

Les couronnes de hornblende indique un cristallisation postérieure à l'assemblage grenat-omphacite (réaction coronitique) : $Gt + Omph + H2O \rightarrow Hbd$

NOM :

PRENOM :

Salle :

Réponse à la question III.7 (suite)

ECHANTILLON B : (schéma annoté de la lame mince)

Commentaire pour l'échantillon B :

échantillon macroscopique :

roche présentant une schistosité marquée, composée pour l'essentiel de micas blancs => **micaschiste**.

Lame mince :

la lame précise la minéralogie avec **micas blancs, chlorites, chloritoïdes et grenats**.

Le protolith de cette roche métamorphique est une **pélite** (roche sédimentaire argileuse). Les argiles de la roche initiale recristallisent en micas lors du métamorphisme.

Question III.8. A partir de l'analyse de l'échantillon A, vous tracerez le trajet Pression-Température de la roche dans le diagramme fourni.

Réponse à la question III.8.

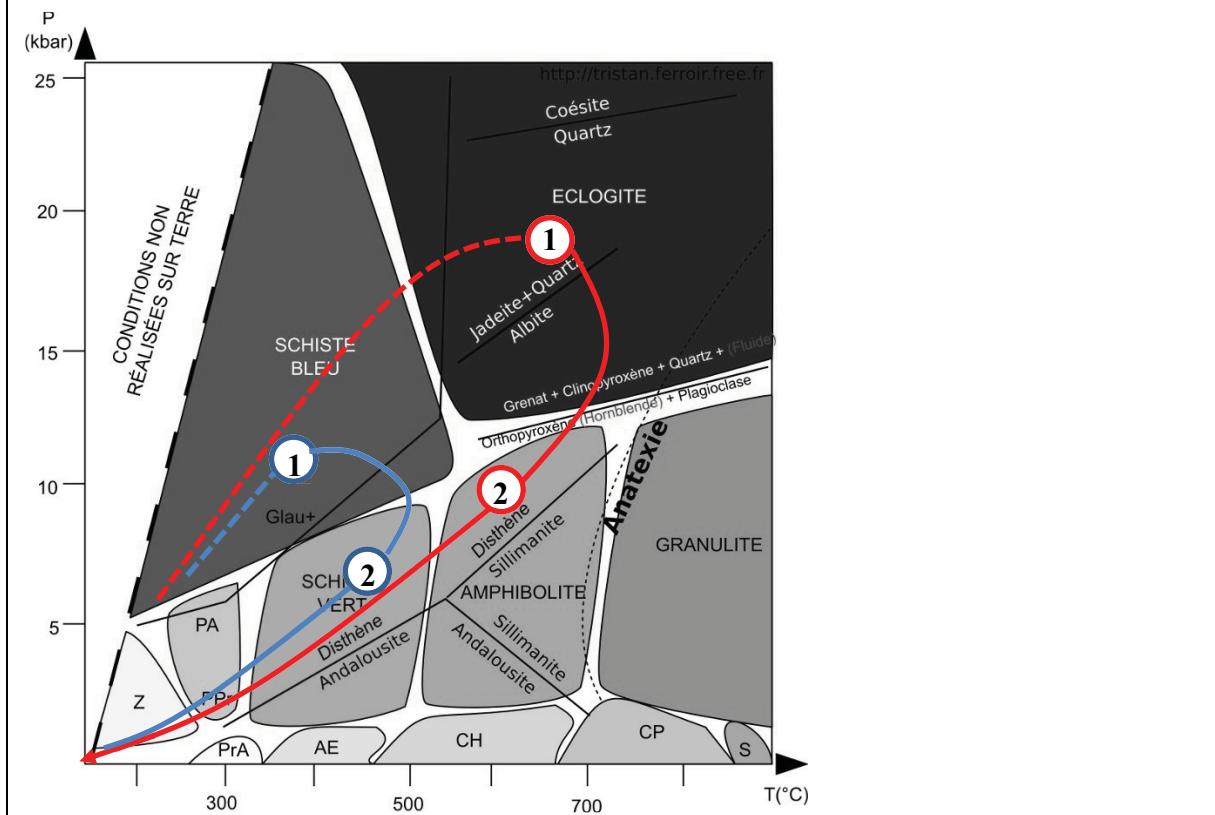
La réaction déduite de la description de l'échantillon indique l'ordre suivant :

1-Omph (Jadéite) + Gt : facies **éclogite**

2-Hbd : facies **amphibolite**

Il s'agit d'une réaction de **rétrömorphe**.

Trajet P-T en rouge ci-dessous



Une analyse pétrographique fine a permis de reconstituer les conditions d'enfouissement puis d'exhumation des roches correspondant à l'échantillon **B**. La figure de gauche montre une image en électrons rétro-diffusés acquise au microscope électronique à balayage d'une lame mince de cette roche. Les images suivantes (d à f) montrent les zonations de composition en magnésium des prismes de chloritoïde (Ctd) en silice pour les phengites (micas blancs) et en magnésium pour les chlorites. Notez les extrémités plus riches en magnésium des chloritoïdes (flèche noire). Pour les phengites et les chlorites, les valeurs maximales sont préservées autour du groupement de cristaux de chloritoïde (groupe α et groupe 1), et peuvent être reliées à la croissance principale de ceux-ci et donc à leur cœur. Les compositions évoluent vers des valeurs plus basses le long de la schistosité (groupe β et groupe 2).

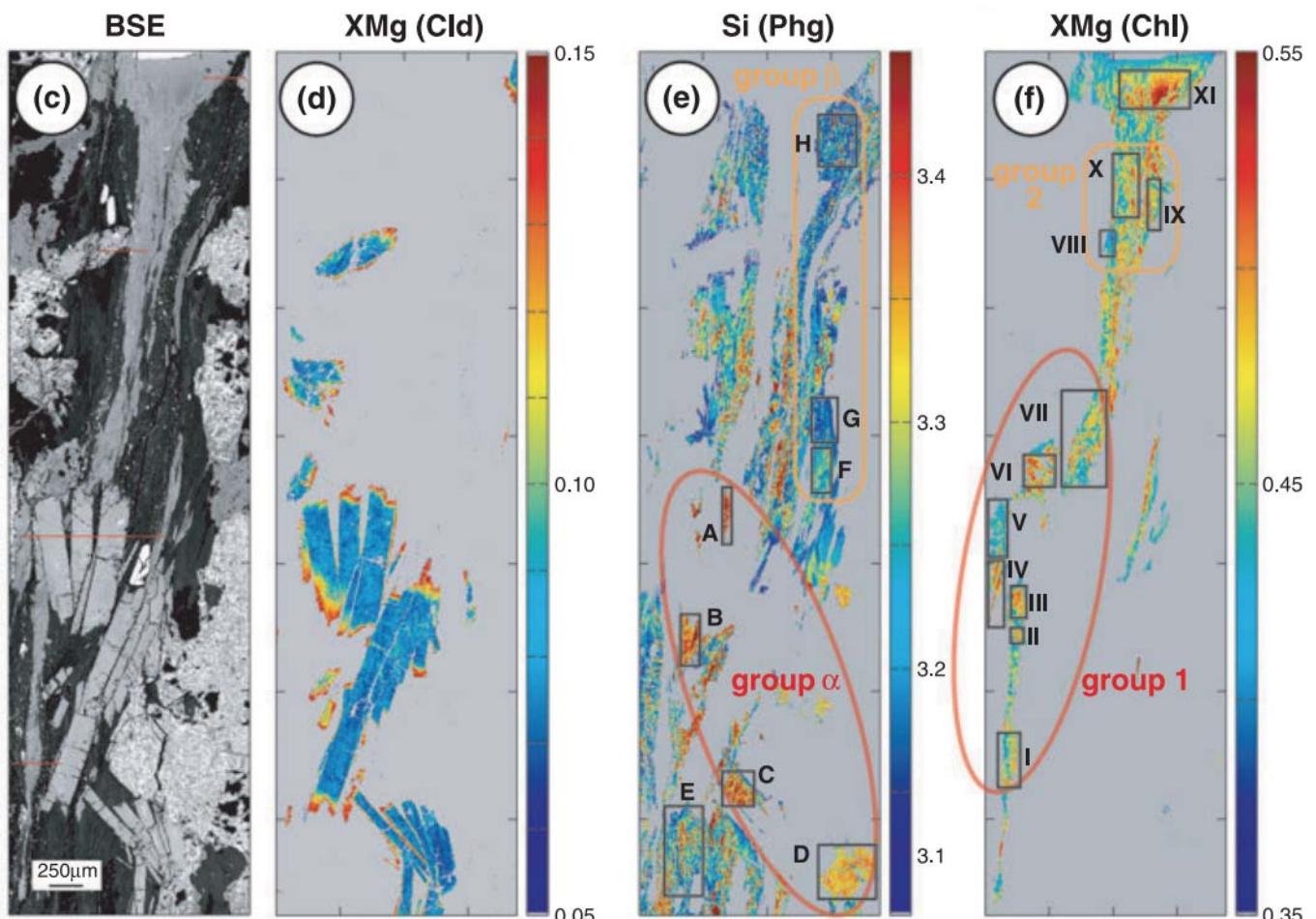


Figure 19. Cartographie chimique d'une roche métamorphique de Saih Hatat (équivalent de la roche B). (Yamato et al. 2007).

NOM :

PRENOM :

Salle :

Question III.9. Vous discuterez d'une interprétation possible des différences chimique entre le cœur et les bordures observées dans les minéraux ainsi que celles décrites le long de la schistosité (**Figure 19**) ?

Réponse à la question III.9.

-les minéraux ayant une croissance centrifuge, les différences chimiques entre le cœur et le bordure sont interprétées comme une évolution de la chimie au cours de la croissance du minéral (en lien avec des **variations des conditions P-T**). Les compositions dans les **cœurs** correspondent donc à des conditions **plus précoces** que celles des bordures.

-les phases minérales le long de la schistosité sont **plus tardives** que celles non déformées. Là encore une différence de chimie témoignerait d'une évolution des conditions **P-T**.

Table 4. Examples of calculations performed with TWEEQU (version 2.02., Berman, 1991).

Cld*	Chl	%Fe ³⁺	Minerals involved in the paragenesis		P-T calculations				
			Phg	Others	Chl Mod.	P	Pdev	T	Tdev
d11.2 (compositional map)									
0.10	I	14	D	–	V2001	9.2	0.7	327	26
					VP209	9.1	0.9	330	33
0.13	IV	7	B	–	V2001	10.2	0.6	376	19
					VP209	10.0	0.8	383	26
0.12	VIII	6	E	–	V2001	8.6	0.8	442	28
					VP209	8.4	0.6	447	24
–	X	7	F	–	V2001	6.4	0.3	469	12
					VP209	6.4	0.5	469	17

* X_{Mg} value of chloritoid.

Figure 20. Conditions P-T estimées à partir de données thermodynamiques sur les équilibres chlorite-phengite. Les chiffre romains (I, IV, VIII, X) et les lettres (D, B, E, F) renvoient aux secteurs localisés en figure 4.

NOM :

PRENOM :

Salle :

Question III.10. A partir des données pression-température fournis en **Figure 20**. Vous tracerez le trajet pression-température de l'échantillon B sur le diagramme fourni en question III.8. Vous expliquerez votre démarche.

Réponse à la question III.10.

*D'après la réponse à la question III.9, il est possible d'établir une **chronologie** de mise en place des différents phases minérales.*

1-phases précoce (coeurs des minéraux) : groupe a et groupe 1

Elles correspondent aux secteurs I-D et IV-B

*C'est dire aux **conditions P-T suivantes** : 9,2-10,2 kb et 327-376 °C*

→ faciès des Schistes Bleus

2-phases tardives (le long de la schistosité) : groupe β et groupe 2

Elles correspondent au secteur X-F

*C'est à dire aux conditions **P-T suivantes** : 6,4 kb et 469 °C*

→ faciès des Schistes Verts

Trajet P-T en bleu sur le diagramme de la question III.8

NOM :

PRENOM :

Salle :

Question III.11. En intégrant les réponses aux questions III-8 et III-10 vous déterminerez le gradient métamorphique correspondant aux 2 roches A et B et préciser, en argumentant, le contexte géodynamique correspondant.

Réponse à la question III.11.

*Les facies aux pics du métamorphisme sont ceux des **Schistes bleus** (roche B : micaschiste à chloritoïde) et **Eclogite** (roche A : éclogite). Ils correspondent à un **gradient Haute Pression-Basse Température** (environ 8°C/km). C'est-à-dire un gradient anormalement faible par rapport à un géotherme stable (30°C/km). Cela suggère le plongement d'une lithosphère froide dans le manteau : une **subduction**. Les facies Schistes Verts et Amphibolites correspondent aux conditions des chemins retrogrades.*

Question III.12. Vous préciserez en quoi ces résultats permettent d'éliminer l'un des 4 modèles de mise en place des ophiolites d'Oman.

Réponse à la question III.12.

*La **subduction** (voir question III.13.) est une étape de la mise en place des ophiolites d'Oman. On peut donc éliminer le modèle 1 qui ne présente pas ce contexte. Les modèles 2 à 4 restent possibles.*

NOM :

PRENOM :

Salle :

Question III.13. En vue d'effectuer une datation de la roche A, des analyses Rb-Sr ont été effectuées sur plusieurs échantillons (**figure 21**). A partir de ces données, tracez l'isochrone correspondante (à l'aide du papier millimétré fournis). Vous déterminerez ensuite l'âge de la roche en explicitant la démarche empruntée.

N° de l'échantillon	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
1	1,7578	0,71903
2	2,1926	0,71965
3	2,6272	0,72015
4	3,1319	0,72058
5	3,3737	0,72091
6	3,7229	0,72115
7	4,1099	0,7218

$$\text{On donne } \lambda = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$$

Figure 21. Données rubidium-strontium sur roche totale.

Réponse à la question III.13. (tracé de l'isochrone à rendre avec la copie)

Pour estimer l'âge de la roche, il faut tracer une isochrone dans un repère $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}) = y / ^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} = x$.

L'alignement des points (correspondant chacun à un échantillon) confirme le caractère isochrone de l'ensemble des échantillons.

$$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}) = (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 + (^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})(e^{\lambda t} - 1)$$

Calculer la pente de cette droite isochrone permet d'obtenir l'âge des échantillons et donc de la cristallisation de l'éclogite, car la pente $a = e^{\lambda t} - 1$.

$$\text{Donc } t = \ln(a+1)/\lambda$$

$$\text{Or } a = 0,0011 \text{ (obtenu graphiquement)}$$

$$t = 77,4 \text{ Ma (âge de l'éclogite et donc de la subduction)}$$

Etude de la semelle de la nappe ophiolitique de Sémail

Les roches immédiatement à la base de la nappe forment une « semelle » qui peut être subdivisée en deux zones (zone 1 et 2 de la **figure 22**). Deux formations représentatives de la zone 1 sont présentées en photos A et B.

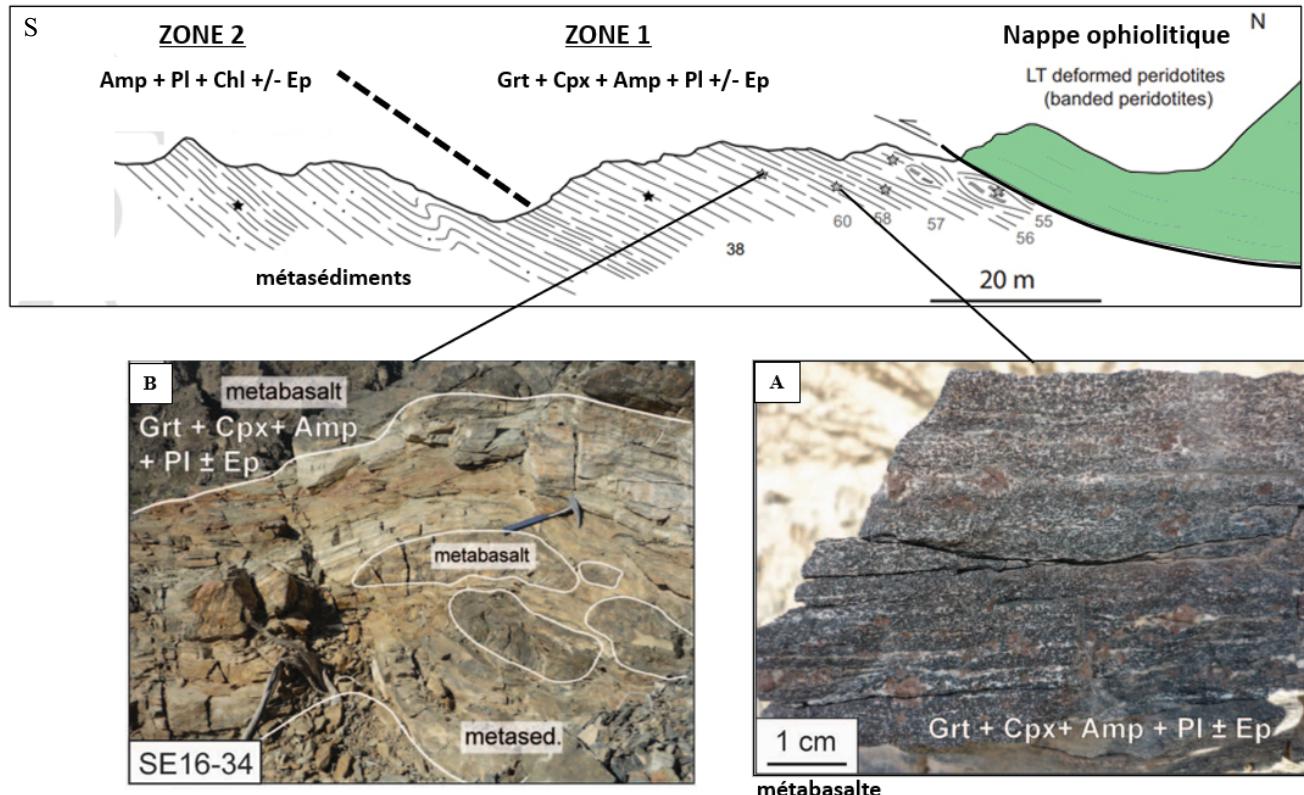


Figure 22. Coupe géologique passant par la nappe ophiolitique et sa semelle (d'après Soret et al., 2017). Grt : grenat, Cpx : clinopyroxène, Amp : amphibole, Pl : plagioclase, Ep : épidote, Chl : chlorite.

Question III.14. Vous préciserez ce que suggère la nature lithologique de la semelle (photos A et B) quant à son origine. A partir de cette information, vous argumenterez le modèle de mise en place des ophiolites de Sémail qui peut être éliminé.

Réponse à la question III.14.

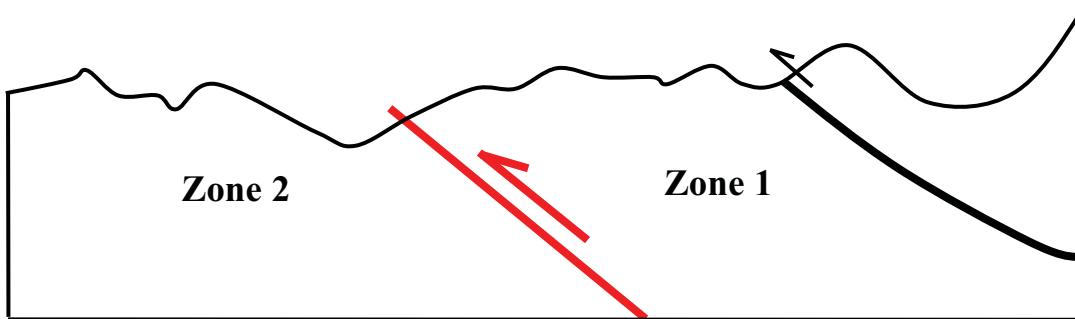
Les roches immédiatement à la semelle de la nappe ophiolitique sont de basaltes métamorphisés ainsi que des métasédiments : une lithologie d'affinité océanique. Or seul le modèle 2 indique un autochtone continental. Nous pouvons donc supprimer ce modèle. Les modèles 2 et 3 restent possibles.

Question III.15. Vous proposerez deux explications possibles de la distribution des paragenèses métamorphiques au sein de la semelle de la nappe ophiolitique (des schémas sont attendus).

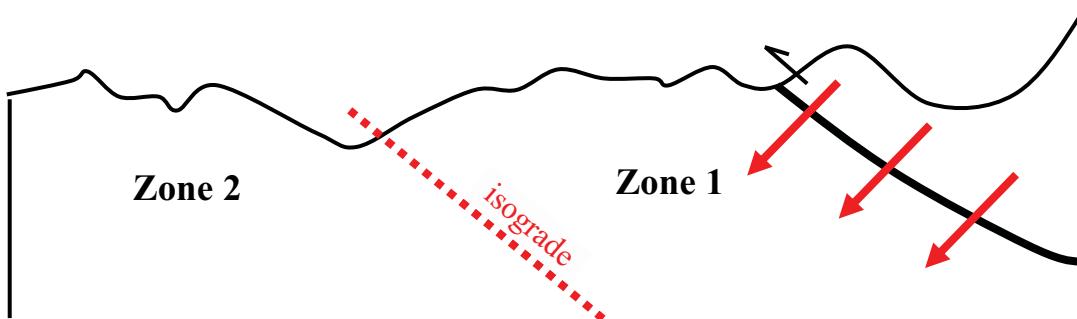
Réponse à la question III.15.

L'unité supérieure (zone 1) est caractérisée par un assemblage minéralogique du faciès Granulite (Cpx/Pl) alors que celui de l'unité inférieure (zone 2) montre une paragenèse de faciès des Schistes Verts, soit d'un degré de métamorphisme inférieur. Deux situations peuvent expliquer ce métamorphisme dit « inverse » :

-1- **deux unités séparées par un chevauchement** : une unité initialement profonde, chevauche celle plus superficielle



-2- **l'effet fer à repasser** : la nappe ophiolitique, chaude, transmet de la chaleur à l'autochtone, la zone immédiatement à son contact est davantage chauffée que celle plus éloignée.



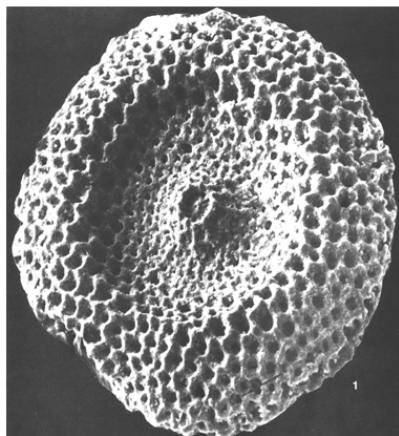
NOM :

PRENOM :

Salle :

Détermination de l'âge de la croûte ophiolitique

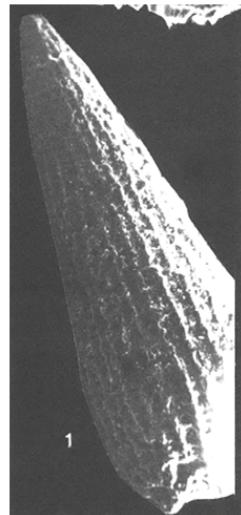
On cherche à déterminer l'âge de la croûte ophiolitique de la nappe de Sémail par biostratigraphie en utilisant les radiolaires présents dans les radiolarites de la séquence (voir figure 23).



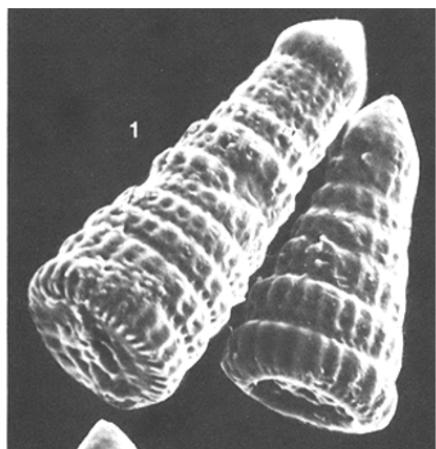
Chartonae
(Albien moyen à Turonien)



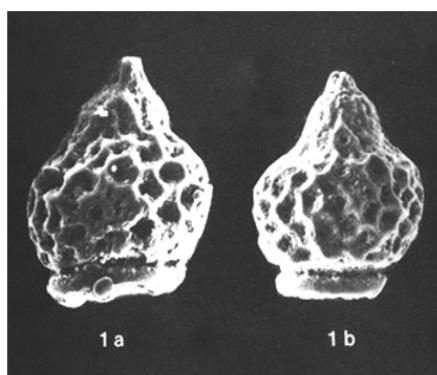
Somphedia
(Cénomanien)



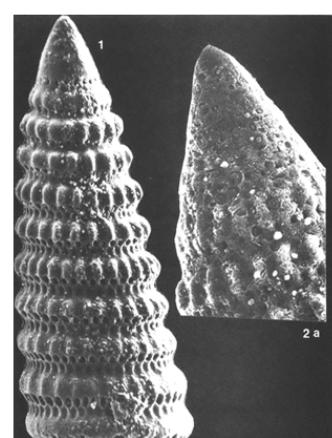
Gracilis
(Albien sup. au Turonien)



Pseudomacrocephala
(Albien supérieur au Turonien moyen)



Majuroensis
(Cénomanien moyen à Turonien)



Carpatica
(Valanginien-Turonien)

Figure 23. Radiolaires identifiés dans la radiolarite de la séquence ophiolitique d'Oman.

NOM :

PRENOM :

Salle :

Question III.16. Vous précieriez quelles sont les précautions à prendre pour que l'âge obtenu soit représentatif de celui de la croûte ophiolitique ?

Réponse à la question III.16.

Pour connaître l'âge du plancher océanique par biostratigraphie, il faut s'assurer :

- 1 : d'analyser les couches au contact direct de ce plancher
- 2 : que ce contact soit de nature sédimentaire (et non tectonique)

Question III.17. La **Figure 23** montre les radiolaires dégagés de la roche étudiée. Utilisez les informations données pour en déduire l'âge biostratigraphique de la croûte. Vous compléterez la **Figure 24** et décrirez la démarche empruntée.

Réponse à la question III.17.

Afin de connaître l'âge de la radiolarite, il faut déterminer la période commune à tous les genres présents dans la roche (voir figure 8). Il s'agit de l'intervalle Cénomanien moyen-supérieur, soit un âge de - 94 à -97 Ma environ.

NOM :

PRENOM :

Salle :

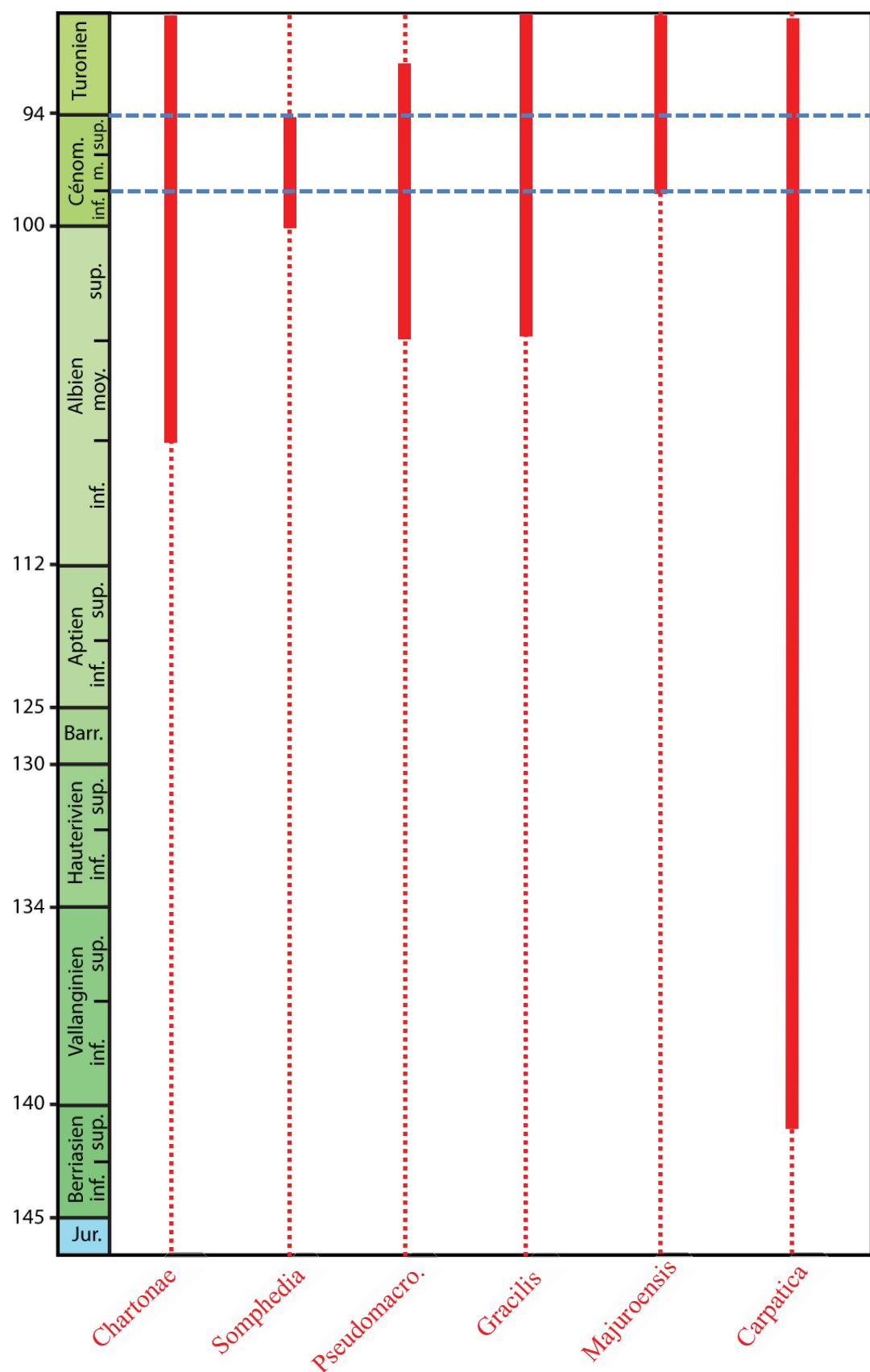


Figure 24. Echelle stratigraphique du Berriasiens au Turonien.

NOM :

PRENOM :

Salle :

Question III.18. Vous montrerez en quoi les résultats obtenus à la question III.17, associés aux réponses aux questions précédentes, permettent de privilégier l'un des quatre modèles de mise en place de la nappe ophiolitique.

Réponse à la question III.18.

La croûte ophiolitique est donc plus jeune (94-97 Ma) que celle formée au début des modèles 3 et 4 (105 Ma). Cela suggère une nouvelle formation de croûte au cours de la fermeture de l'océan (supra-subduction). Cette chronologie correspond au modèle 4 (croûte bleu clair, plus récente que celle bleu foncé). Par ailleurs, ce modèle est cohérent avec l'âge de la subduction continentale, daté à -77,4 Ma (voir question III.12). celle-ci est bien plus récente que la phase de supra-subduction océanique (94-97 Ma).