

Devoir surveillé n°4

Samedi 13 janvier 2024

Épreuve d'analyse de documents de géologie

durée : 2 heures

Exercice 1 – Analyse géophysique de l'Eurasie durée conseillée : 30 min

Cette partie se propose d'étudier les résultats d'études géophysiques (gravimétrie, mesures sismiques, déformation et tomographie) de la région de l'Iran et de l'Arabie.

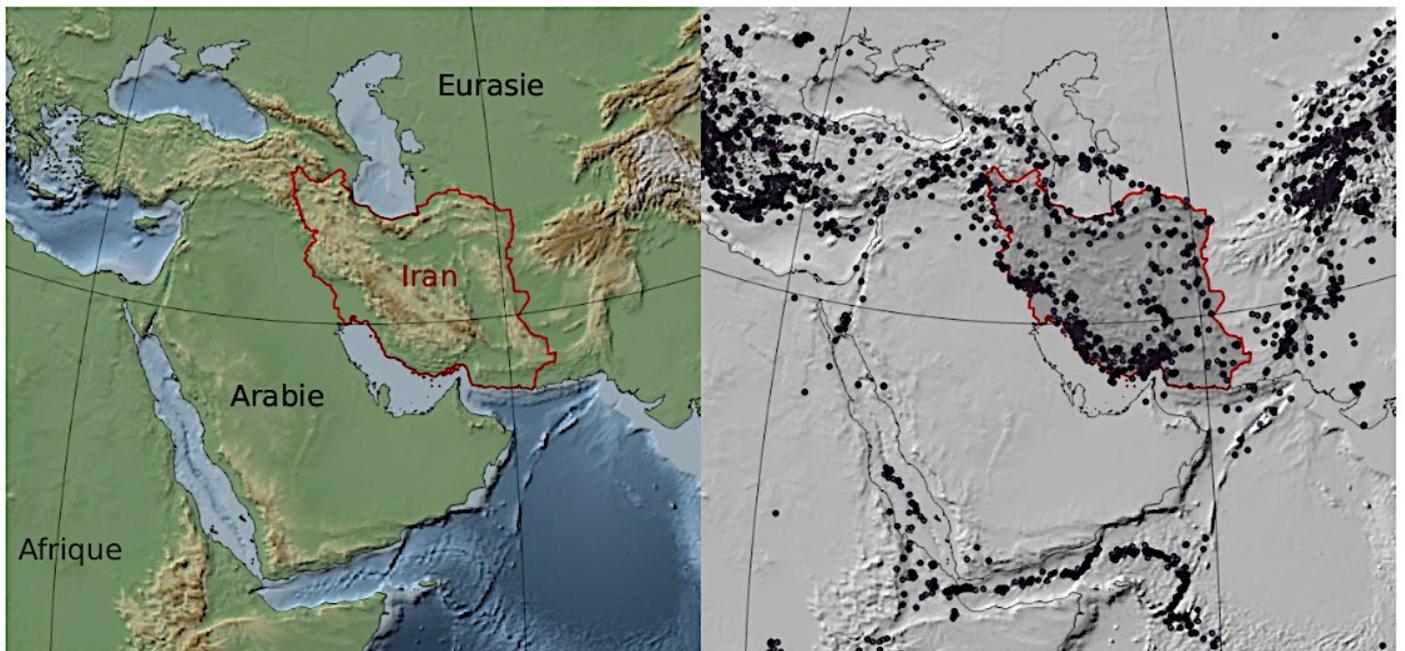
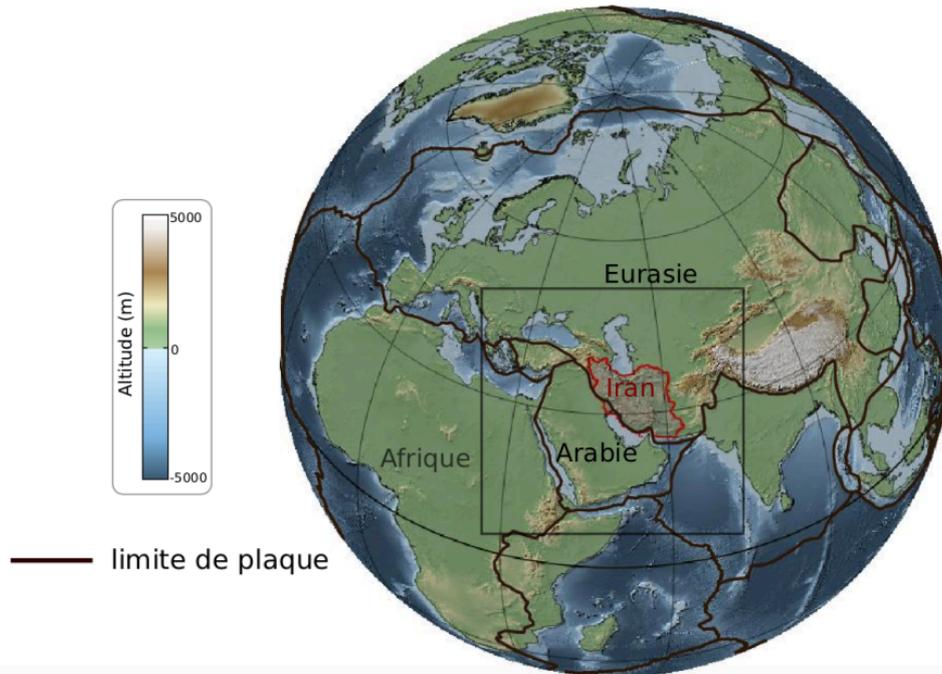


FIGURE 1 - Données de topographie et position des séismes à l'échelle mondiale

En haut : topographie et limites de plaques à l'échelle du globe. En bas : Topographie et localisation des séismes. Les frontières de l'Iran sont marquées en rouge.

Question 1 – À partir de la figure 1, donnez des arguments permettant d'identifier l'Arabie comme une plaque indépendante.

L'Arabie ne présente pas de séisme au sein de la plaque mais en possède tout autour. Elle montre également, dans sa partie Sud et Ouest, une dépression immergée qui semble appartenir à une zone de lithosphère océanique : la plaque est donc mixte et abrite une marge passive avec la mer Rouge (Ouest) et l'Océan Indien (Sud).

Ses bords Est et Nord sont des zones hautement sismiques, présentant des montagnes, témoins peut-être de zones de convergence passées ou actuelles.

Question 2 – À partir de la figure 1, identifiez le type de limite de plaque entre l'Arabie et l'Afrique. Justifiez.

Il s'agirait d'une limite de plaque en divergence, probablement une dorsale ou du moins un rift.

La justification vient de la **bathymétrie** : la zone est **plus profonde**, témoignant de l'enfoncement d'une lithosphère océanique et il semble y avoir un **relief positif** entre l'Afrique et l'Arabie, pouvant être une **dorsale**. L'allure est **symétrique** de part et d'autre de la dorsale.



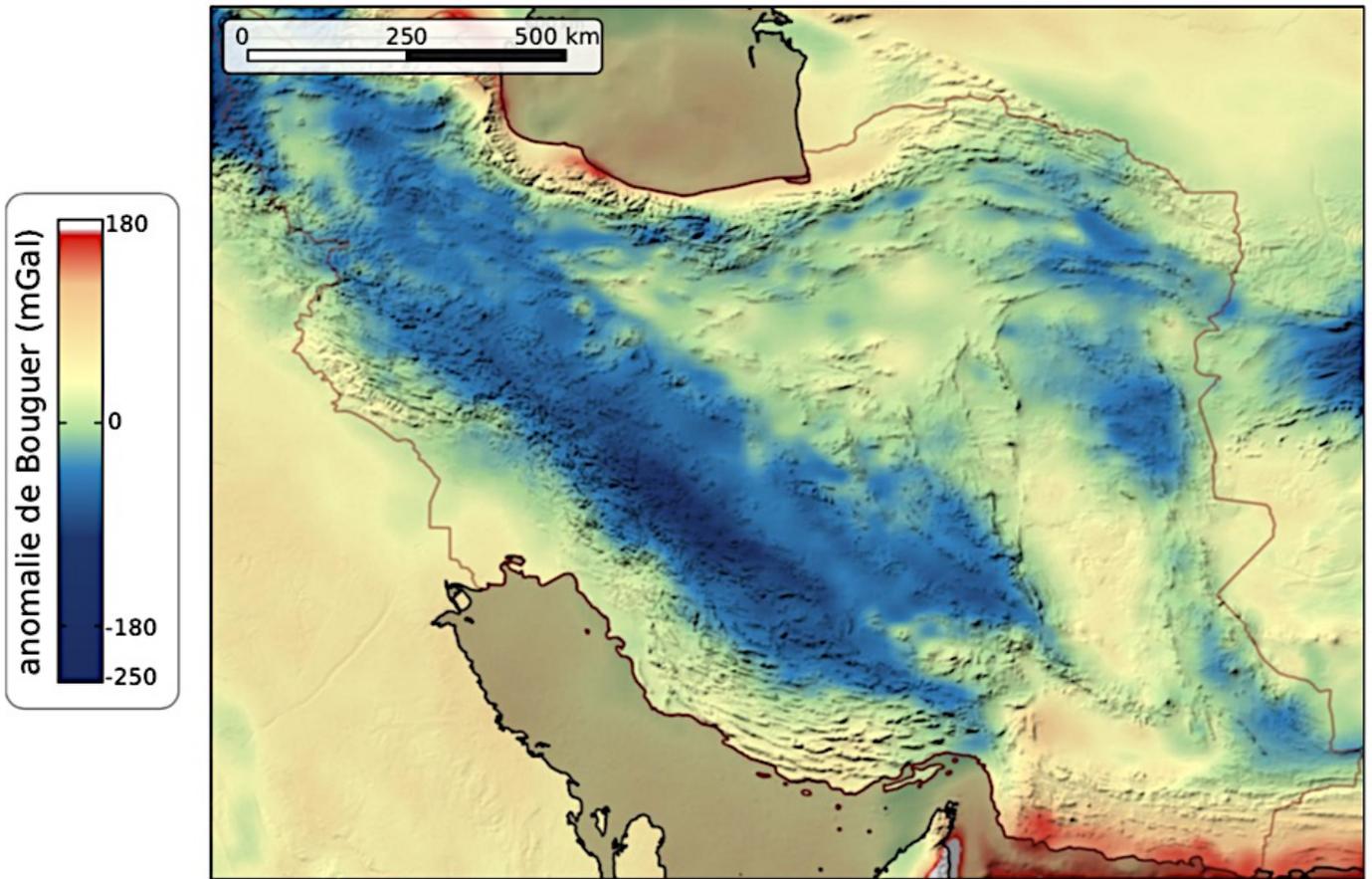


FIGURE 2 - Carte de l'altitude (Haut) et de l'anomalie de Bouguer (Bas) en Iran

Question 3 – Analysez la figure 2 pour déterminer quelques caractéristiques de la croûte de la zone étudiée (Zagros / Sanandaj – Sirjan).

Analyse : La région étudiée présente :

- une altitude positive allant jusqu'à des valeurs élevées (3 000 à 4 000 m) ;
- une orientation du relief du Nord-Ouest au Sud-Est, parallèle à la limite de plaque Arabie – Iran ;
- une anomalie de Bouguer négative allant jusqu'à des valeurs de -250 mgal dans les zones de plus haute altitude (corrélation nette) avec la même orientation NO-SE. Cette anomalie montre un **déficit de masse** localement, par rapport au modèle de référence PREM.

L'existence d'un relief positif, corrélé à une anomalie de Bouguer négative, permet de faire l'hypothèse de la présence d'une croûte épaissie (donc une racine crustale), expliquant le déficit de masse observé.

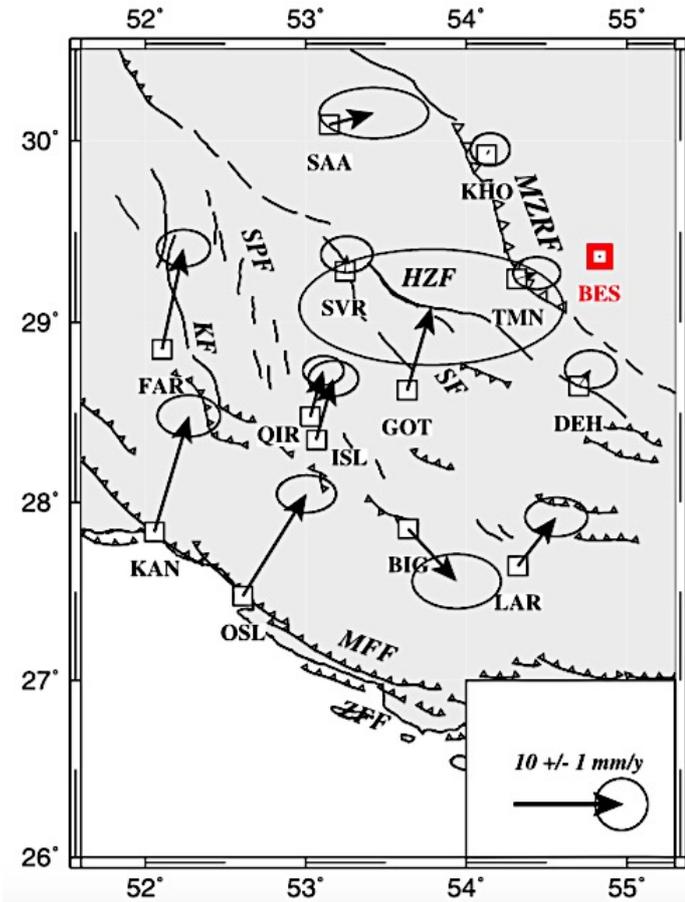


FIGURE 3 - Résultats de mesures du réseau GPS iranien dans les régions du Zagros Sanandaj – Sirjan.

Les vecteurs vitesse sont représentés relativement à la station BES (dans la région centrale de Iran, au Nord de la MZRF), supposée fixe. Les valeurs sont exprimées en millimètres par an (mm.a^{-1}). Les ellipses contiennent l'intervalle de confiance à 95 %.

MZRF correspond à un accident majeur de la région (Main Zagros Reverse Fault).

Question 4 – À partir de la figure 3, décrivez la norme et la direction des déplacements des stations dans le Zagros en fonction de leur distance à la station BES, et tirez-en des conclusions concernant la région au sud-ouest de la MZRF.

Les déplacements sont globalement **orientés** vers la station BES, donc vers le Nord-Est (**direction**). Il y a une diminution de la longueur du vecteur vers le Nord, donc vers la station BES : la vitesse passe de 12 mm.a^{-1} à OSL ou KAN à 8 mm.a^{-1} à HZF voire 1 ou 2 mm.a^{-1} pour des stations comme TMN ou DEF. Plus on s'approche de la zone de collision, plus la vitesse de déplacement est faible : le mouvement serait donc accommodé en déformation des roches (plis), en mouvement vertical, ou en déplacement de failles. Ce schéma concorde avec un contexte de convergence, ici avec **compression**.

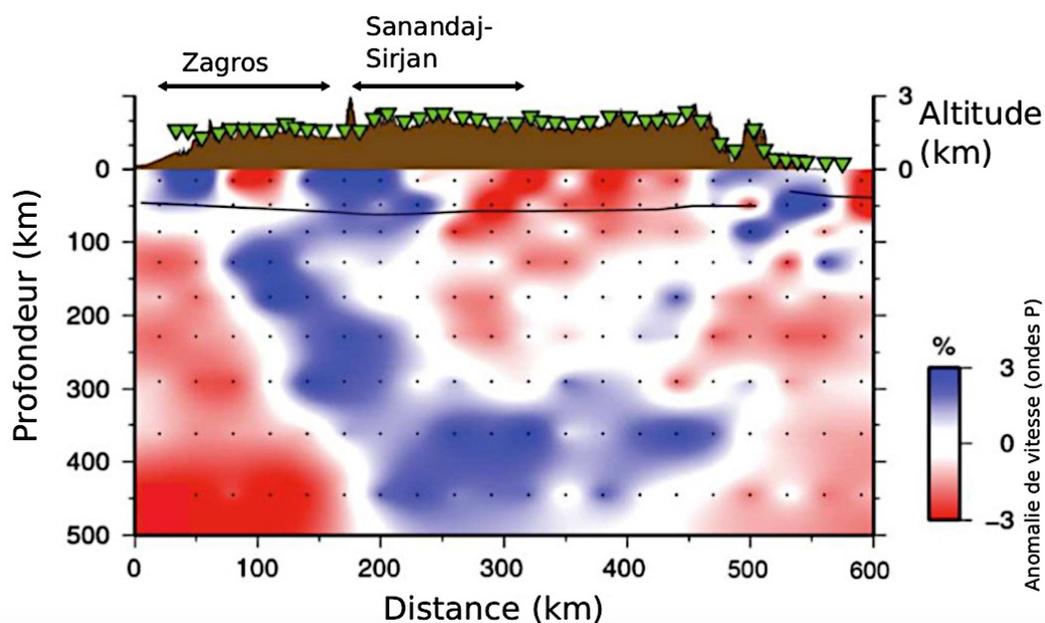


FIGURE 4 - Profil de tomographie sismique sur les ondes P.

La figure 4 présente une tomographie sismique, dont la position est indiquée à la figure 2.

Question 5 – Présentez le principe d'obtention d'une tomographie et précisez ce que signifie « anomalie de vitesse ».

Une image de tomographie sismique est obtenue par comparaison des vitesses des ondes sismiques mesurées lors de séismes avec la vitesse de référence déduite du modèle PREM.

L'anomalie est la différence entre valeur mesurée et valeur du modèle PREM. Elle est exprimée ici en % par rapport à la vitesse de référence.

Une valeur positive indique que la vitesse des ondes sismiques est supérieure à celle du modèle PREM, témoignant de la traversée de matériel à plus forte masse volumique (un matériau soit plus dense, soit plus froid). À l'inverse, une anomalie négative indique un ralentissement des ondes par rapport au modèle PREM, témoignant d'un matériau moins dense ou plus chaud.

Question 6 – Interprétez le profil tomographique puis précisez le contexte géodynamique de l'Ouest Iranien (zones Zagros et Sanandaj – Sirjan).

L'image présente un panneau de matériel plus dense et/ou plus froid qui plonge en direction du NE. Ceci concorde avec un panneau lithosphérique en subduction, ayant conduit à la collision. Le contexte est donc un contexte de convergence : ancienne **subduction** aujourd'hui **collision**.

Des anomalies positives et négatives accompagnent le panneau plongeant, témoignant de réajustements thermiques aux alentours du panneau plongeant, voire de phénomènes de fusion partielle faisant remonter du matériel chaud et peu dense du côté Nord-Est (lithosphère chevauchante).

https://www.concours-agro-veto.net/IMG/pdf/rapport_a-bcpst_svt_epreuve_sur_support_de_documents_2023_vf_le.pdf

Exercice 2 – Un aperçu des fonds océaniques

durée conseillée : 30 min

On appelle failles transformantes des failles qui décalent des portions de dorsales océaniques. On se propose d'étudier l'une d'elles : la faille de Mendocino.

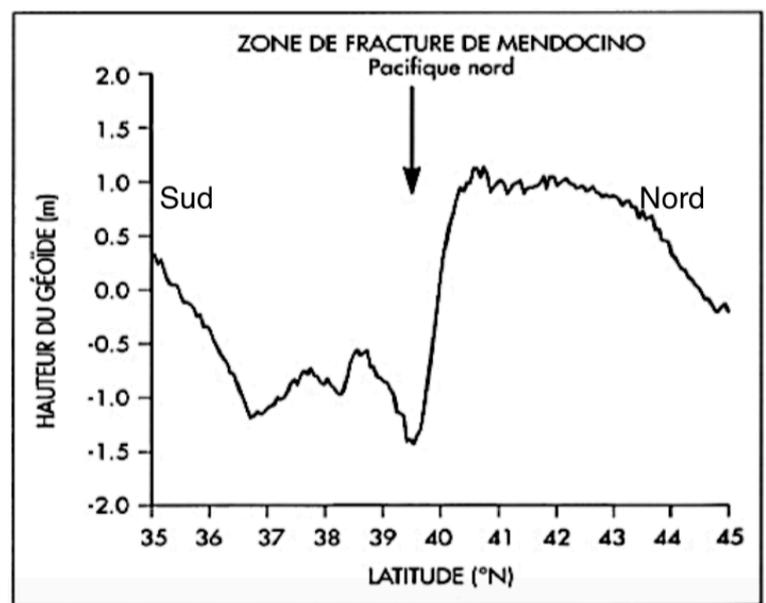


Figure 1 – Carte de la région étudiée (en violet) et profil de hauteur du géoïde mesuré par un satellite altimétrique. Ce profil traverse à angle droit la zone de fracture de Mendocino.

1) Décrivez le profil de hauteur du géoïde réalisé au niveau de cette faille en précisant le type d'anomalie observée.

Le géoïde montre un dénivelé peu important en surface (2,5 m).

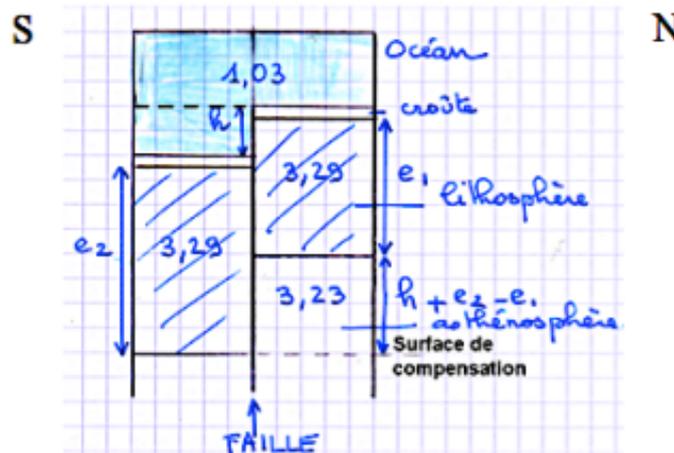
- bosse du géoïde du côté de la lithosphère nord, reflétant une remontée du fond océanique car la zone est proche de la dorsale.

- creux du côté de la lithosphère sud, témoignant d'un fond plus profond (plus loin de la dorsale).

2) Montrez, en exploitant la carte, que la lithosphère océanique n'a pas le même âge de part et d'autre de la faille. Qu'en déduire quant à son épaisseur ?

La proximité de la dorsale au nord indique une lithosphère plus jeune qu'au sud de la faille. La lithosphère au nord est donc moins épaisse qu'au sud.

3) À partir de ces données, et en respectant le modèle d'équilibre isostatique d'Airy, représentez sous la forme d'un schéma la lithosphère océanique de part et d'autre de la faille.



4) Exprimer le dénivelé constaté h en fonction de la différence d'épaisseur puis d'âge des deux compartiments lithosphériques séparés par la faille.

D'après le principe d'isostasie :

on place le niveau de compensation à la base de la lithosphère sud.

on néglige la masse océanique commune

alors :

$$h \cdot d_{\text{eau de mer}} + e_2 \cdot d_{\text{lithosphère}} = e_1 \cdot d_{\text{lithosphère}} + (h + e_2 - e_1) \cdot d_{\text{asthénosphère}}$$

$$(e_2 - e_1) \cdot d_{\text{lithosphère}} - (e_2 - e_1) \cdot d_{\text{asthénosphère}} = h \cdot (d_{\text{asthénosphère}} - d_{\text{eau de mer}})$$

$$h \cdot (d_{\text{asthénosphère}} - d_{\text{eau de mer}}) = (e_2 - e_1) \cdot (d_{\text{lithosphère}} - d_{\text{asthénosphère}})$$

$$h \cdot (d_{\text{asthénosphère}} - d_{\text{eau de mer}}) = 9(\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}) \cdot (d_{\text{lithosphère}} - d_{\text{asthénosphère}})$$

Application numérique

L'épaisseur de la lithosphère suit la loi suivante : $e_l = 9\sqrt{t}$ avec e_l l'épaisseur de la lithosphère en km et t l'âge en Ma.

Calculez h pour une lithosphère au nord âgée de 36 MA et une lithosphère au sud âgée de 49 MA.

On adoptera les densités : $d(\text{eau de mer}) = 1$; $d(\text{lithosphère}) = 3,3$ et $d(\text{asthénosphère}) = 3,2$.

$$2,2 \cdot h = 0,9 (\sqrt{49} - \sqrt{36}) = 0,9 (7 - 6) = 0,9$$

$$h = 0,9 / 2,2 \text{ approximé à } 0,41 \text{ km} = 410 \text{ m}$$

Exercice 3 – Des subductions variées

durée conseillée : 20 min

Partie A – Tomographie et connaissance des zones de subduction

Le document 1 présente plusieurs images de tomographie sismique dans le Pacifique.

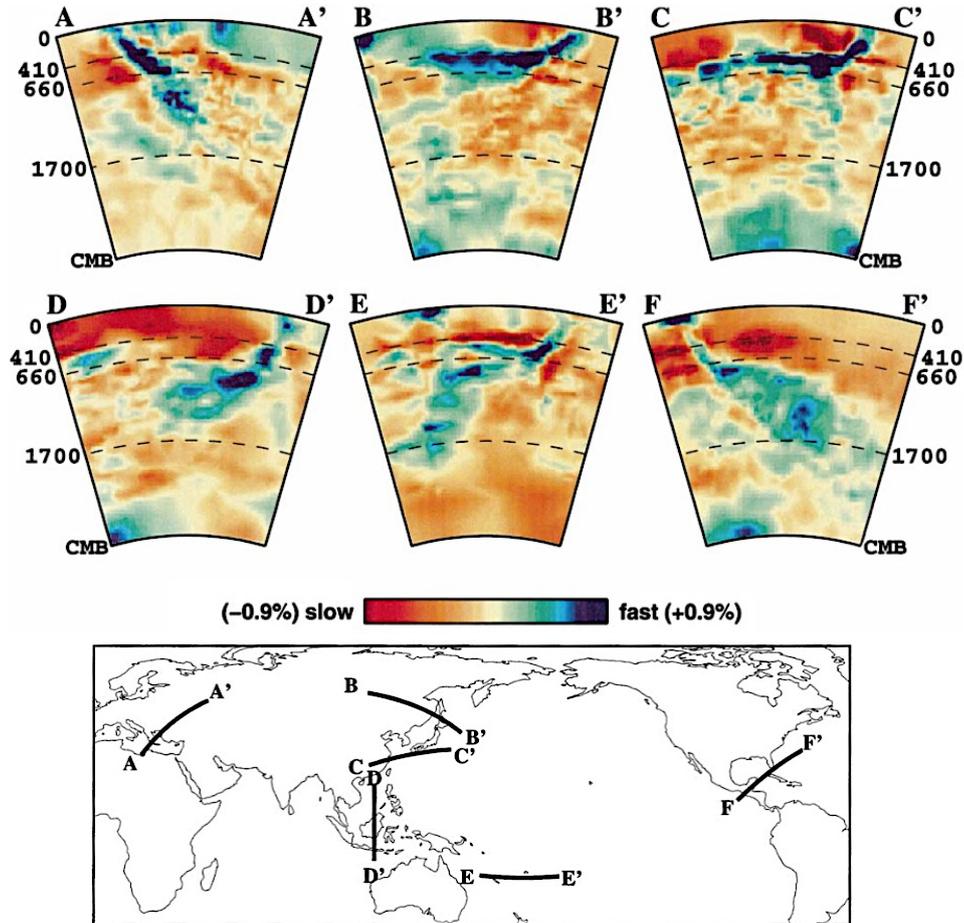


Figure 1 - Coupes verticales de manteau sous l'arc hellénique (AA'), l'arc du Nord Japon (BB'), l'arc du sud Japon (CC'), l'arc de Java (DD'), l'arc des Tonga (EE') et l'Amérique Centrale (FF')

1) Définissez le terme de tomographie sismique. Quel(s) type(s) d'onde peut-on utiliser ?

La tomographie sismique est l'étude des anomalies de vitesse de propagation des ondes sismiques par rapport au modèle PREM. On utilise les ondes P ou S.

2) Décrivez et interprétez avec précision la coupe AA'.

La coupe montre l'enfoncement d'une plaque lithosphérique froide au sud, plongeant sous une plaque chevauchante au nord. La plaque est visible au-delà des 660 km et plonge avec un angle important, deux arguments témoins d'une forte densité. La plaque chevauchante ne présente pas d'anomalie thermique positive : le continent eurasiatique semble plutôt froid en surface. Une faible anomalie thermique est visible sous 400 km.

3) Observez les coupes BB' et CC'. Quelle est la différence majeure avec la coupe AA' ? Proposez une explication.

Les lithosphères plongeantes semblent s'arrêter de plonger et adopter un aplanissement vers 660 km. Ceci pourrait être dû à l'arrivée de la plaque sur la transition de phase des olivines : le manteau sous-jacent, plus dense, ne permet plus l'enfoncement de la plaque.

Autre particularité : la plaque chevauchante présente des anomalies négatives témoignant d'une zone chaude liée à la remontée de matériel mantellique chaud, ce qui n'était pas visible sur AA'.

4) Interprétez les différentes zones de subduction en terme de subduction en compression ou en extension. Argumentez.

Coupes AA' – DD' – EE' – FF' : subduction probablement en extension car les angles de plongement sont importants et la plaque va au-delà de 660 km, ce qui témoigne d'une forte densité.

Coupes BB' – CC' : subduction probablement en compression car l'angle est moins important et la plaque est moins dense (ne s'enfonce pas au-delà de 660 km).

La figure 2 présente une coupe tomographique détaillée du manteau au niveau de l'arc insulaire de Tonga.

5) Commentez l'évolution de l'épaisseur E de la plaque Pacifique en fonction de la profondeur. plaque Pacifique de 100 km d'épaisseur

La plaque moins épaisse (75 km) à la flexure car il y un étirement de la plaque dû à la flexion et à la traction gravitaire.

La plaque est épaissie vers 400 km et dans la zone de transition (160 km d'épaisseur) car frein à l'enfoncement donc accumulation de matière.

6) Déterminez approximativement l'angle de plongement de la plaque Pacifique sur cette section tomographique. On admettra pour cela que l'échelle horizontale est identique à l'échelle verticale.

L'angle est d'environ 45°.

7) Estimez la vitesse des ondes P au cœur de la plaque Pacifique, à 450 km de profondeur. À cette profondeur, la vitesse de référence des ondes P donnée par le modèle PREM est $V_p = 9,65 \text{ km.s}^{-1}$. Elle sera approximée à 10 km.s^{-1} .

anomalie de + 6% pour $V_p = 10 \text{ km.s}^{-1}$ donc $V_p = 1,06 \times 10 = 10,6 \text{ km.s}^{-1}$.

8) En utilisant la loi empirique de Birch qui relie la vitesse de propagation des ondes P et la masse volumique des roches mantelliques, calculez l'anomalie de masse volumique associée à l'anomalie de vitesse.

Loi de Birch : $V_p = -1,87 + 3,05 \rho$ avec V_p en km.s^{-1} et ρ en g.cm^{-3} .

Loi de Birch approximée : $V_p = -2 + 3 \rho$ avec V_p en km.s^{-1} et ρ en g.cm^{-3} .

La densité ρ est donnée par $\rho = (V_p + 2) / 3$

$\rho = 4$ pour la référence.

$\rho = 4,2$ pour la zone anormale.

9) Quelle hypothèse formule-t-on implicitement sur la composition de la lithosphère et asthénosphère en effectuant tous ces calculs ?

que le matériau est identique partout : il s'agit de manteau de péridotite.

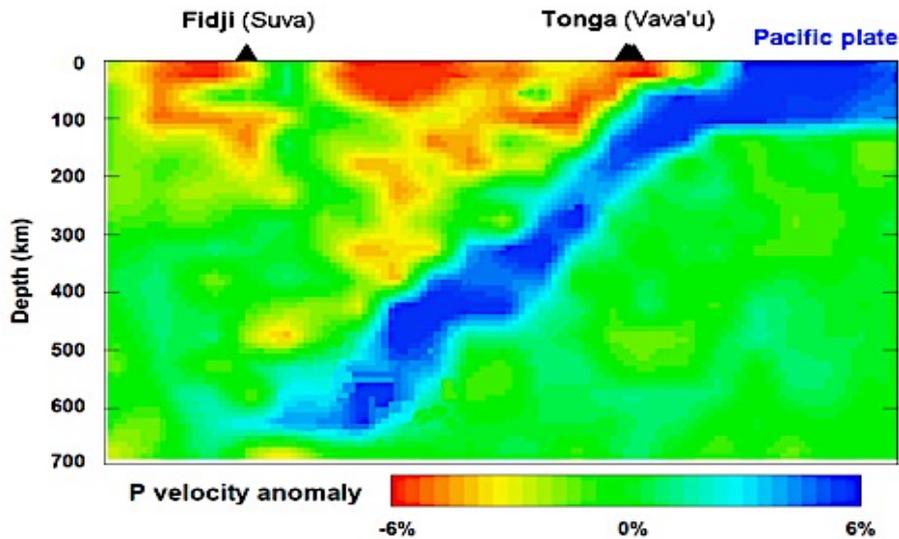


Figure 2 – Profil de tomographie sismique dans l'arc des Tonga

Exercice 4 – Une région à dater

durée conseillée : 20 min

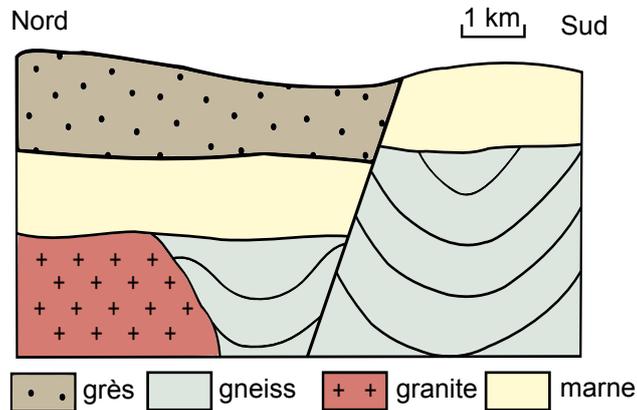


FIGURE 1 – Coupe géologique simplifiée de la région étudiée

Afin de raconter l'histoire géologique de la région, des repères temporels sont utilisés.

Le granite a été daté par datation absolue en utilisant le couple isotopique K/Ar.

On va considérer que 10% des atomes de ^{40}K se désintègrent en ^{40}Ar .

Constante de désintégration sera approximée à $\lambda = 5.10^{-10} \text{ a}^{-1}$

La roche contient à l'heure actuelle 2.10^{-9} atomes de ^{40}Ar pour $1,4.10^{-7}$ atomes de ^{40}K .

Des fossiles ont été retrouvés dans le gneiss et la marne.



Fossile d'*Olenellus gilberti*



Fossile *Lytoceras fimbriatum*

Question 1 – Identifier le groupe de chacun des 2 fossiles ainsi que l'ère qu'ils représentent.

Olenellus est un fossile d'Arthropode Trilobite, caractéristique du Paléozoïque.

Lytoceras est un fossile de Mollusque céphalopode du groupe des Ammonites, caractéristique du Mésozoïque.

Question 2 – Calculer l'âge du granite. À quelle ère correspond cet âge ?

On va considérer que la roche ne contenait pas d'argon au moment de la fermeture du système.

Alors on a

$${}^{40}\text{K} \rightarrow {}^{40}\text{Ar} \text{ dans } 10\% \text{ des cas.} \quad \text{Soit } {}^{40}\text{Ar} = 0,1 \times {}^{40}\text{K} (e^{\lambda t} - 1)$$

$$\text{Donc } (e^{\lambda t} - 1) = 10 \cdot {}^{40}\text{Ar} / {}^{40}\text{K} \text{ d'où } \lambda t = \ln(10 \cdot {}^{40}\text{Ar} / {}^{40}\text{K} + 1)$$

$$\text{Donc } t = 1/\lambda \times \ln(10 \cdot {}^{40}\text{Ar} / {}^{40}\text{K} + 1)$$

$$\text{Application numérique : } t = 1/5 \times 10^{10} \times \ln(10 \times 2 \cdot 10^{-9} / 1,4 \cdot 10^{-7} + 1) = 2 \cdot 10^9 \times \ln(20/140 + 1)$$

$$t = 2 \cdot 10^9 \times \ln(1/7 + 1) \approx 2 \cdot 10^9 \times \ln(1,15) \approx 2 \cdot 10^9 \times 0,14 = 280 \text{ Ma.}$$

Le granite date du Paléozoïque, il a 280 Ma environ.

Question 3 – Avec tous ses éléments, retracer la suite des événements qui conduisent à la coupe observée et y placer les repères temporels.

Indiquer les principes de stratigraphie qui ont permis d'ordonner les épisodes de l'histoire.

1. dépôt des roches sédimentaires à l'origine des gneiss.
2. plissement et métamorphisme => naissance des gneiss, le plus probablement suite à une émergence.
3. Mise en place du pluton de granite de 280 Ma : principe de recoupement
4. Émergence et érosion
5. Immersion et dépôts des sédiments à l'origine des marnes (principe de superposition)
6. Dépôt des sables à l'origine des grès (principe de superposition)
7. Apparition d'une faille (principe de recoupement)
8. Émergence et érosion jusqu'à l'actuel.

Table de ln

n	ln (n)
1	0,000
1,05	0,049
1,1	0,095
1,15	0,140
1,2	0,182
1,25	0,223
1,3	0,262
1,35	0,300
1,4	0,336
1,45	0,372
1,5	0,405
1,55	0,438
1,6	0,470
1,65	0,501

1,7	0,531
1,75	0,560
1,8	0,588
1,85	0,615
1,9	0,642
1,95	0,668
2	0,693