

Composition du 20 Septembre 2025

GEOLOGIE

Durée : 1h 30

L'usage d'une calculatrice est autorisé pour cette épreuve
Merci de composer sur des copies séparées de celles de biologie.

La plaque Juan de Fuca

Thème 1 Tectonique de la plaque Juan de Fuca

La plaque Juan de Fuca est une petite plaque lithosphérique qui longe la côte Ouest de l'Amérique du Nord. Nous cherchons ici à comprendre ses caractéristiques géologiques. Le document 1.1 fournit des informations paléomagnétiques concernant cette plaque, et le document 1.2 des informations tectoniques (page 4).

1.1A) Expliquer ce que sont une inversion magnétique et une anomalie magnétique (telles que celles représentées sur le document 1.1).

1.1B) Analyser et interpréter la disposition des anomalies magnétiques de part et d'autre de la dorsale Juan de Fuca (document 1.1). Utiliser ces informations pour déterminer la vitesse d'éloignement (en mm.an^{-1}) des deux plaques de part et d'autre de cette dorsale.

1.1C) Commenter cette valeur.

Le document 1.3 fournit les déplacements déterminés par GPS de trois stations indiquées sur le document 1.2. Une valeur positive indique un déplacement vers le Nord (latitude) ou vers l'Est (longitude).

1.2A) A l'aide des documents 1.2 et 1. compléter la carte schématique p. 5 en représentant à l'échelle les mouvements absolus des trois plaques étudiées (Pacifique, Juan de Fuca, Nord-américaine).

1.2B) Calculer les valeurs globales des vitesses de déplacement absolu de ces trois plaques.

1.2C) Représenter (toujours à l'échelle) sur votre carte les mouvements relatifs de la plaque Juan de Fuca par rapport aux deux autres plaques, et calculer les vitesses globales de déplacement relatifs correspondantes.

1.2D) Lequel de ces mouvements relatifs devrait correspondre avec le mouvement déterminé dans la question 1.1 ? Comparer et commenter. Que peut-on en déduire sur le fonctionnement de la dorsale Juan de Fuca au cours des derniers 10 Ma ?

station	JDF (Juan de Fuca)	PAC (Pacifique)	Portland (Am. du Nord)
déplacement en latitude (mm.an^{-1})	+ 26	+ 32	+ 10
déplacement en longitude (mm.an^{-1})	+ 32	- 40	- 4

Document 1.3 Déplacements GPS de trois stations (localisation sur le document 1.2).

1.3A) Analyser le reste des informations fournies par le document 1.2 et interpréter en particulier la répartition des séismes et du volcanisme des deux côtés de la plaque Juan de Fuca.

1.3B) A l'aide des informations précédentes, indiquer le contexte géologique correspondant à la frontière entre les plaques Juan de Fuca et Nord-américaine.

Thème 2 Étude gravimétrique de la dorsale Juan de Fuca

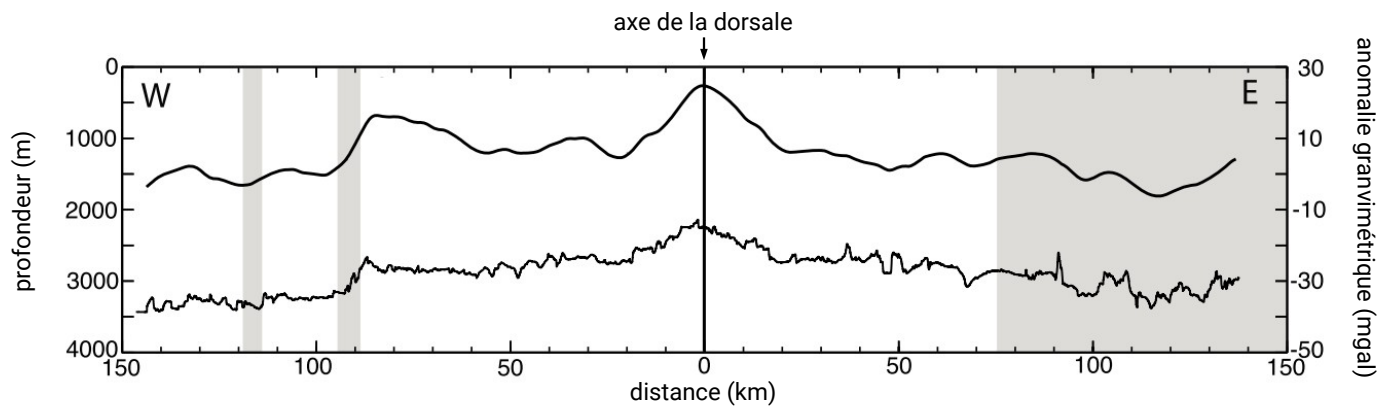
En 2002, une campagne océanographique a permis de déterminer un certain nombre de paramètres sur une ligne perpendiculaire à la dorsale de Juan de Fuca (indiquée W-E sur le document 1.2). Nous nous intéresserons ici uniquement aux données topographiques et gravimétriques, indiquées dans les documents 2.1a et 2.1b.

2.1A) De manière générale, comment détermine-t-on une anomalie gravimétrique ? Quelle est la différence entre l'anomalie à l'air libre et l'anomalie de Bouguer ? Que révèlent des variations négatives ou positives de ces deux anomalies ?

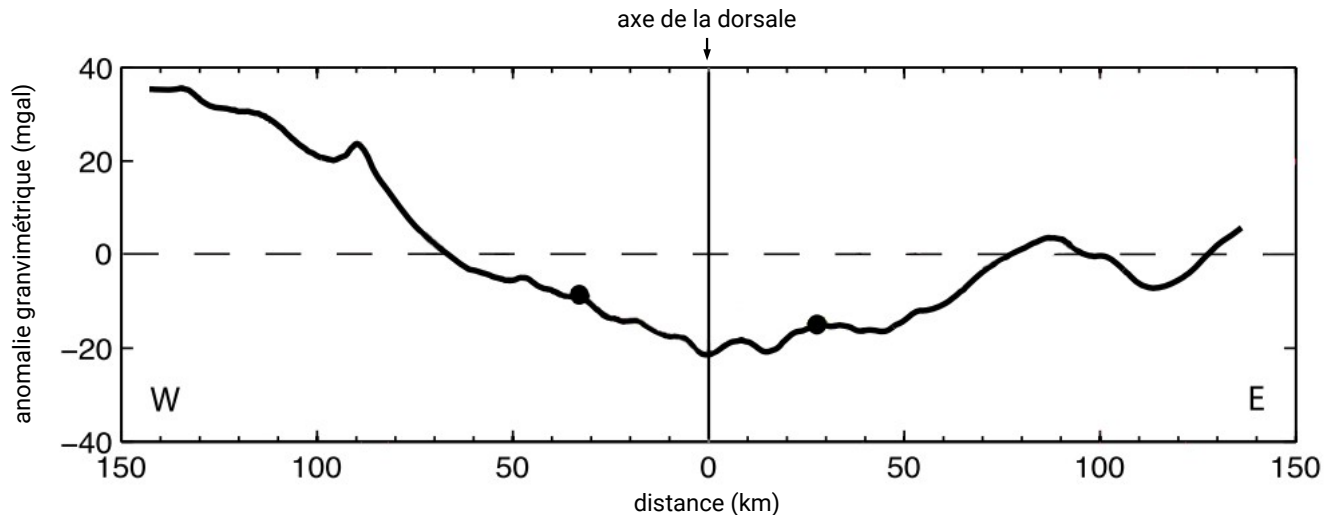
2.1B) Analyser et interpréter le document 2.1a.

2.1C) Analyser et interpréter le document 2.1b. Ces variations sont-elles cohérentes avec le document 2.1a ?

2.1D) D'après ces analyses, la région étudiée est-elle à l'équilibre isostatique ? Vous pouvez répondre de manière différente selon la zone.



Document 2.1a Relief du fond océanique (courbe du bas) et anomalie gravimétrique à l'air libre (courbe du haut) de part et d'autre de la dorsale Juan de Fuca.



Document 2.1b Anomalie gravimétrique de Bouguer de part et d'autre de la dorsale Juan de Fuca.

On veut tester la réponse à la question précédente au niveau de la dorsale. Pour cela on considère une lithosphère océanique dans une plaine abyssale, à l'équilibre, située à environ 4000 m de profondeur sous l'eau (dont la masse volumique $\rho_e = 1,0 \text{ t.m}^{-3}$). Cette lithosphère océanique est constituée d'une croûte océanique de 6 km d'épaisseur et de masse volumique $\rho_c = 2,9 \text{ t.m}^{-3}$, sur un manteau lithosphérique de 40 km d'épaisseur et de masse volumique $\rho_l = 3,35 \text{ t.m}^{-3}$, lui-même sur une asthénosphère de masse volumique $\rho_a = 3,3 \text{ t.m}^{-3}$.

D'autre part, au niveau de la dorsale océanique, on considère que la croûte fait elle aussi 6 km d'épaisseur mais qu'il n'y a pas de manteau lithosphérique, et qu'entre la croûte et l'asthénosphère il y a une chambre magmatique d'environ 10 km de hauteur et dont le contenu a une masse volumique $\rho_m = 3,2 \text{ t.m}^{-3}$.

2.2A) En utilisant un modèle d'Airy, modéliser les deux situations décrites (plaine abyssale / dorsale).

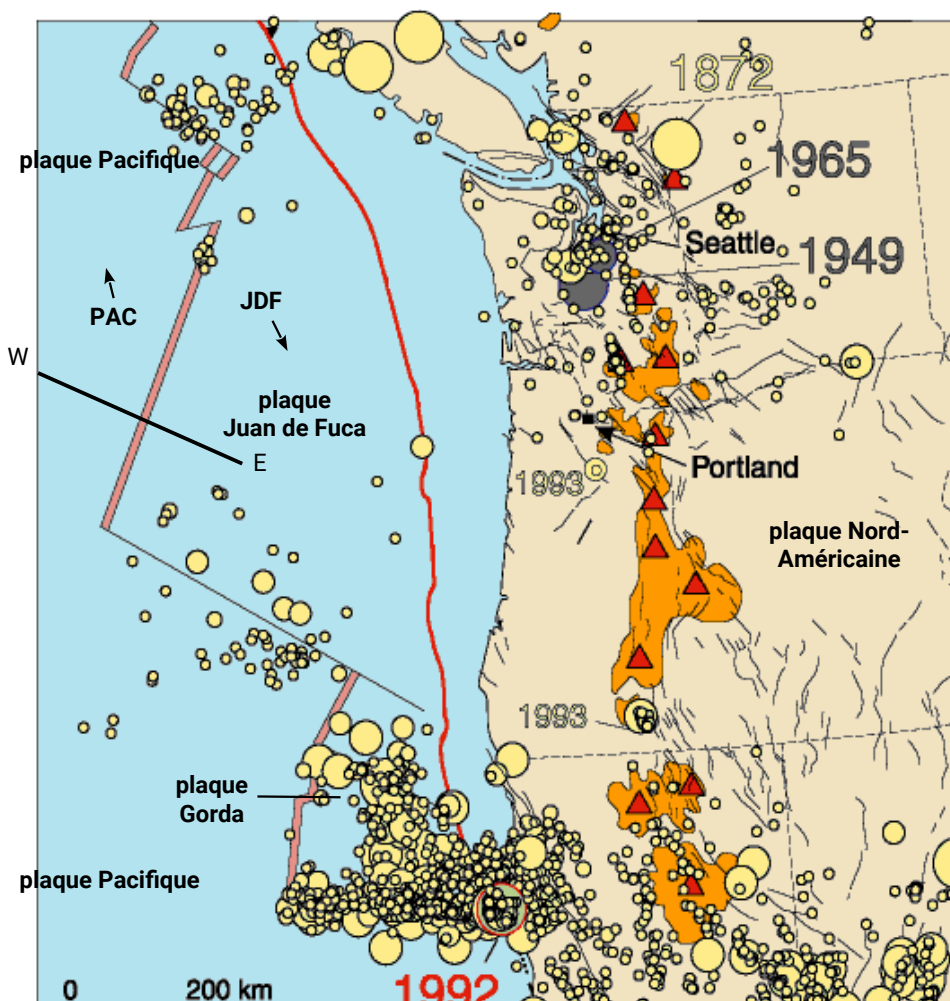
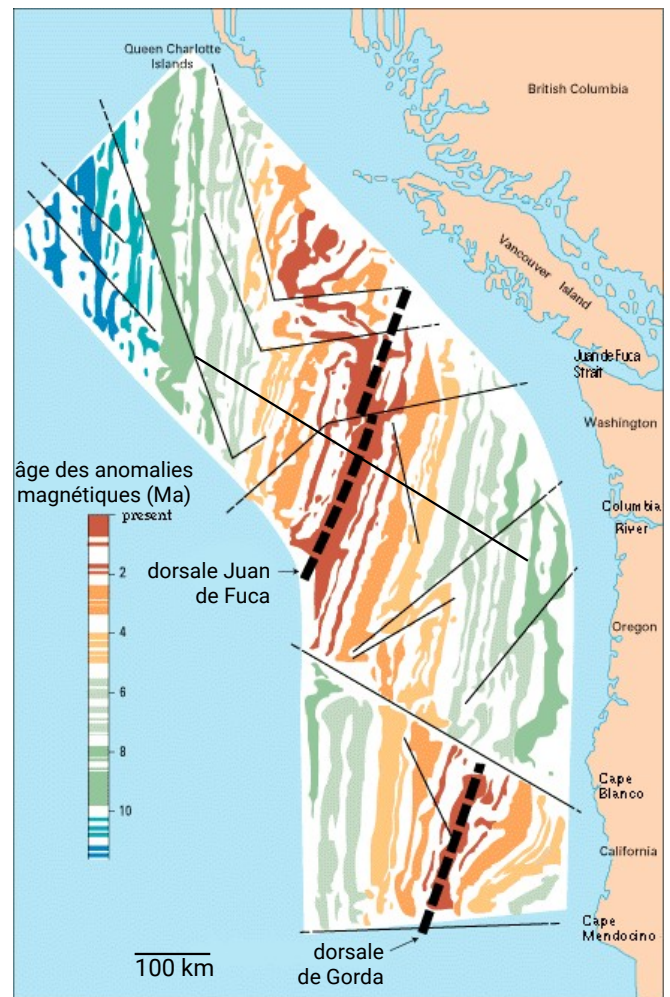
2.2B) Déterminer la profondeur que devrait avoir la dorsale océanique, en supposant que les deux situations sont à l'équilibre isostatique.

2.2C) Commenter la valeur obtenue. On attend une discussion suffisamment approfondie de la validité du modèle proposé.

Document 1.1 Carte des anomalies magnétiques au niveau de la dorsale Juan de Fuca.

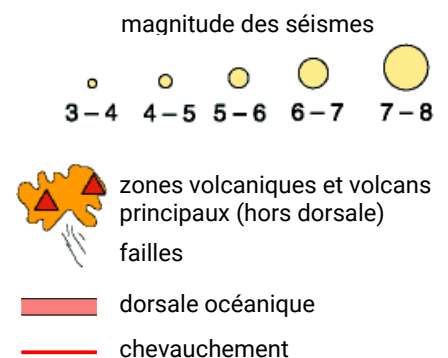
Les périodes normales sont représentées avec des couleurs différentes pour mieux les distinguer. Les périodes inverses sont représentées en blanc.

Nord
↑

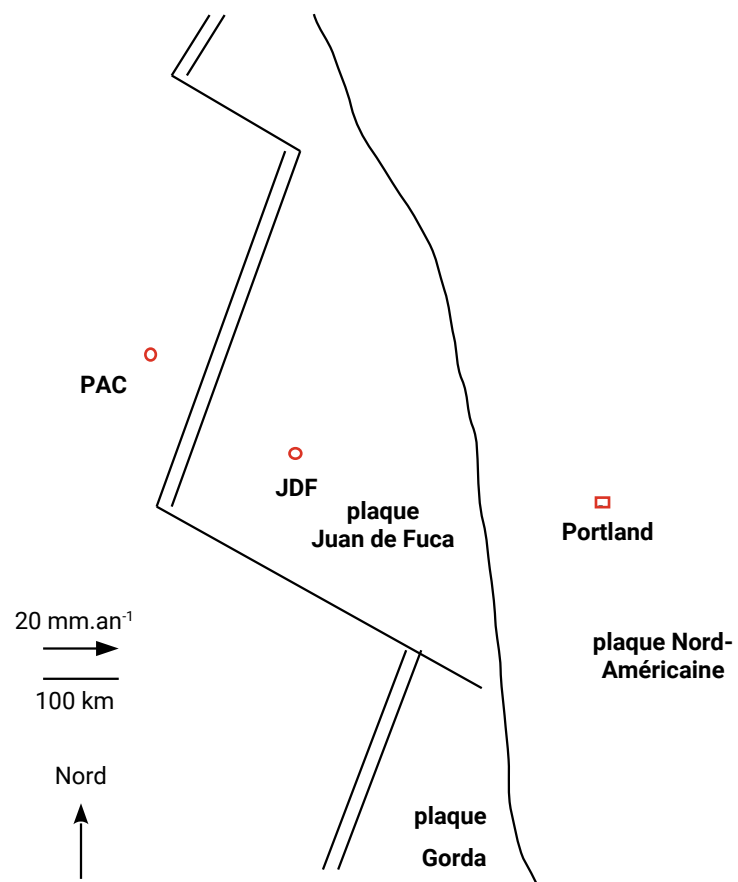


Nord
↑

Document 1.2 Carte tectonique autour de la plaque Juan des Fuca.



les flèches sont des traits de légendes et n'indiquent pas des mouvements !



Document à compléter (question 1.2)
Mouvement des plaques lithosphérique dans la zone étudiée.

Thème 1 Tectonique de la plaque Juan de Fuca

1.1A) Voir cours.

1.1B) Voir cours pour l'interprétation.

Si on considère la fin de la période normale datée de 7,9 Ma (transition entre le vert foncé et le vert clair), on mesure son éloignement de la dorsale à environ 2,9 cm, ce qui revient à $2,9 \times 2 \times 100 = 580 \text{ km}$

La vitesse d'expansion de la dorsale Juan des Fuca est donc :

$$\frac{580}{7,9} = 73 \text{ km} \cdot \text{Ma}^{-1} = 73 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$$

1.1C) On obtient une valeur d'expansion relativement élevée, plus proche de celle d'une dorsale rapide que d'une dorsale lente. La dorsale Juan de Fuca est dans le prolongement de la dorsale Pacifique, on s'attend à ce qu'elle possède les mêmes caractéristiques (dorsale rapide).

1.2B) On calcule les normes de ces vecteurs :

JDF : $v = \sqrt{26^2 + 32^2} = 41 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$

vers le Nord-Est

PAC : $v = \sqrt{32^2 + 40^2} = 51 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$

vers le Nord-Ouest

Portland : $v = \sqrt{10^2 + 4^2} = 11 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$

vers le Nord

1.2C) Mouvement de JDF par rapport à PAC :

$+ 26 - 32 = -6 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ (mouvement vers le Sud)

$+ 32 - (-40) = +72 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ vers l'Est

ce qui fait un mouvement de vitesse

$v = \sqrt{6^2 + 72^2} = 72 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ vers l'Est

Mouvement de JDF par rapport à Portland :

$+ 26 - 10 = +16 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ vers le Nord

$+ 32 - (-4) = +36 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ vers l'Est

ce qui fait un mouvement de vitesse

$v = \sqrt{16^2 + 36^2} = 39 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ vers le NE

1.2D) Le mouvement de JDF par rapport à PAC correspond parfaitement (vitesse et direction) au mouvement d'expansion de la dorsale déterminé dans la question 1.1b. Ces mouvements correspondent en effet au même phénomène, à part que le GPS correspond à un mouvement actuel, et le paléomagnétisme correspond à une moyenne depuis 10 Ma. On en déduit que la dorsale Juan de Fuca avait le même fonctionnement il y a 10 Ma par rapport à maintenant.

1.3A) (Analyse) La plaque Juan de Fuca est une petite plaque, entièrement océanique, bordée d'une part par une dorsale océanique et d'autre part par un chevauchement correspondant à une zone de convergence. Parallèlement à cette zone de convergence, sur la plaque Nord-américaine, on observe une zone volcanique allongée, sur et autour de laquelle on observe de nombreux séismes. La répartition des séismes obéit à deux logiques distinctes : du côté de la plaque Nord-américaine, ils sont situés le long de la zone volcanique, donc (Interprétation) soit causés par les éruptions volcaniques, soit causés par le même phénomène à l'origine du volcanisme ; du côté de la plaque Pacifique, ils sont situés au niveau des failles transformantes qui décalent au Nord et au Sud la dorsale Juan des Fuca (surtout au Sud, au niveau de la plaque Gorda). (Connaissance et interprétation) Ce type de faille transformante océanique est en effet une cause importante de séismes superficiels donc violents. Leur abondance au Sud est peut-être liée au rapprochement des deux zones de frontières, les contraintes mécaniques y sont peut-être plus importantes.

1.3B) (Connaissance et interprétation) La frontière entre les plaques Juan de Fuca et Nord-américaine :

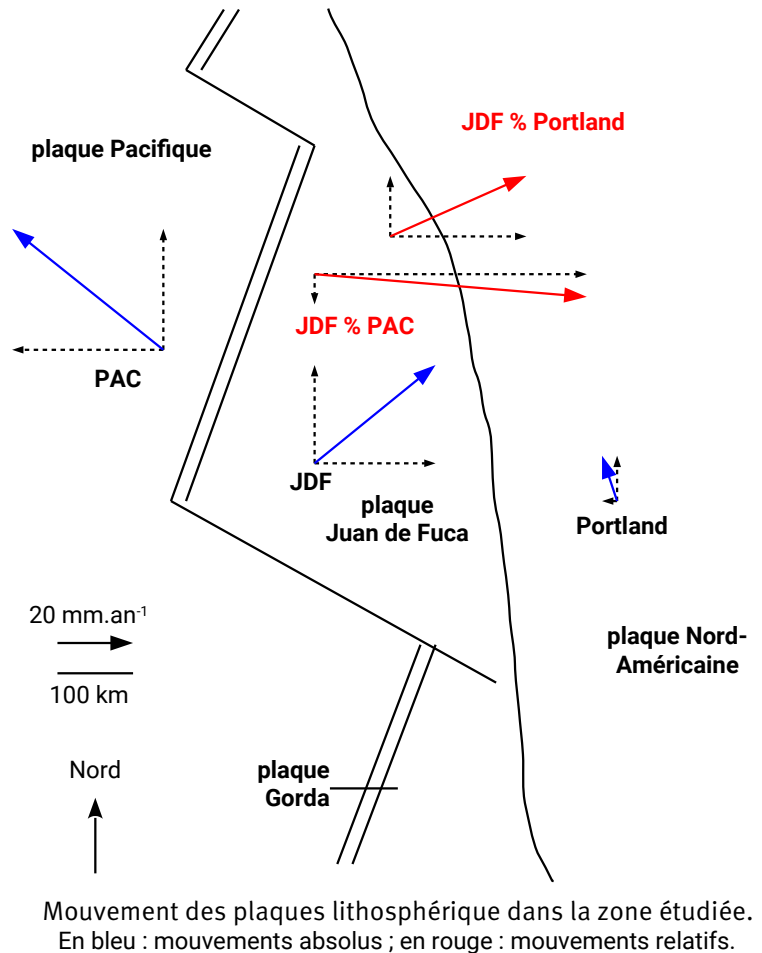
- ✓ est une zone de convergence ;
- ✓ est une frontière lithosphère océanique / lithosphère continentale ;
- ✓ est le siège de phénomènes tectoniques importants, situés parallèlement à la zone de frontière : volcanisme et séismes.

Tous ces arguments indiquent qu'il s'agit d'une marge active, c'est-à-dire d'une zone de subduction océan / continent.

Thème 2 Étude gravimétrique de la dorsale Juan de Fuca

2.1A) Voir cours.

2.1B) (Analyse) On constate une certaine symétrie des mesures par rapport à l'axe de la dorsale : le fond de l'océan se situe à environ 4000 m à 150 km de la dorsale, et augmente au fur et à mesure qu'on s'en approche, la dorsale proprement dite étant à environ 2200



m de profondeur. (*Connaissances*) Ces valeurs correspondent à ce qu'on retrouve dans la plupart des océans et dorsales (les plaines abyssales sont plutôt à 4500 m de profondeur, mais en étant beaucoup plus éloigné de la dorsale).

(*Analyse*) L'anomalie à l'air libre est à peu près nulle à 150 km de la dorsale, et augmente au fur et à mesure qu'on s'en approche (anomalie positive de 25 mgal au niveau de la dorsale). Le relief et l'anomalie à l'air libre se superposent donc pratiquement, ce qui est habituel au niveau des océans : (*Interprétation*) la présence de reliefs correspond à des masses supplémentaires (celles des roches constituant ces reliefs), qui augmentent la valeur de la gravité.

2.1C) (*Analyse*) On constate à nouveau une certaine symétrie par rapport à l'axe de la dorsale, même si elle est moins parfaite : au niveau de la dorsale, on observe une anomalie de Bouguer négative (- 20 mgal), et cette anomalie tend vers 0 quand on s'éloigne vers l'Est, et va jusqu'à s'inverser quand on s'éloigne vers l'Ouest (on atteint pratiquement 40 mgal). En simplifiant, les variations de l'anomalie de Bouguer sont inversées par rapport à celles de l'anomalie à l'air libre. (*Interprétation*) Ce n'est pas du tout surprenant : à l'équilibre isostatique, les excès de masses en surface ont tendance à être compensés par des déficits de masses en profondeur. Or l'anomalie de Bouguer révèle justement des déficits (si elle est négative) ou des excès (si elle est positive) de masses en profondeur. On s'attend donc effectivement à ce que les zones avec une anomalie à l'air libre positive (excès de masse en surface) aient aussi une anomalie de Bouguer négative (déficit de masse en profondeur) et inversement.

2.1D) (*Connaissances et interprétation*) Quelle que soit la zone, on n'a aucun moyen de déterminer si l'équilibre isostatique est vérifié. Mais les observations précédentes effectuées au niveau de la dorsale (excès de masse en surface compensé par un déficit de masse en profondeur) ne sont pas incohérentes avec l'hypothèse d'équilibre. A l'Ouest de la dorsale, la situation est inversée par rapport à l'axe de la dorsale, donc la compensation est toujours possible et il y a peut-être équilibre. En revanche, à l'Est on observe une zone avec une anomalie à l'air libre négative, mais pas d'anomalie de Bouguer, donc pas de compensation possible. Il est peu probable que cette zone soit à l'équilibre isostatique.

2.2A)

2.2B) On suppose que le niveau marin est le même dans les deux situations. Les hauteurs des deux colonnes entre la surface de l'eau et la surface de compensation sont donc égales :

$$4000 + 6000 + 40000 = x + 6000 + 10000 + m \quad \text{donc} \quad m = 34000 - x$$

De plus, on suppose qu'on est à l'équilibre isostatique. Les pressions lithostatiques exercées par les deux colonnes au niveau de la surface de compensation sont donc identiques :

$$4000 \times 1,0 + 6000 \times 2,9 + 40000 \times 3,35 = x \times 1,0 + 6000 \times 2,9 + 10000 \times 3,2 + m \times 3,3$$

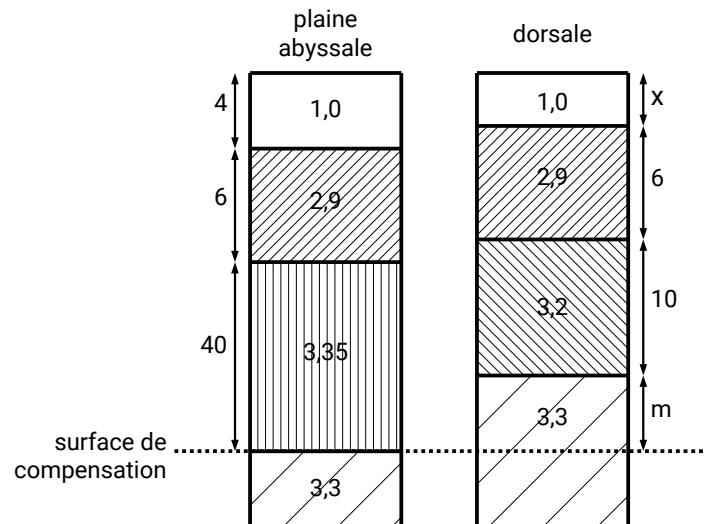
$$4000 \times 1,0 + 40000 \times 3,35 = x \times 1,0 + 10000 \times 3,2 + 34000 \times 3,3 - x \times 3,3$$

$$x = \frac{4000 \times 1,0 + 40000 \times 3,35 - 10000 \times 3,2 - 34000 \times 3,3}{1 - 3,3} = 2700 \text{ m}$$

2.2C) (*Connaissances*) Au niveau de la dorsale, la croûte serait donc située à 2700 m de profondeur environ, ce qui est cohérent mais tout de même nettement supérieur que la valeur observée de 2300 m (document 2.1A). (*Interprétation*) Cette différence est peut-être liée à l'absence d'équilibre gravitaire, en effet cela signifierait que la dorsale ne se soulève pas assez vite pour atteindre cet équilibre, donc reste plus en profondeur par rapport à ce qui est attendu théoriquement.

(*Hypothèses*) Les valeurs utilisées pour modéliser la lithosphère océanique sont cohérentes, compte tenu du fait qu'on considère une lithosphère à 4000 m de profondeur, donc d'âge moyen, où le manteau lithosphérique n'a pas atteint son épaisseur maximale (60-70 km). On n'a en revanche pas pris en compte la présence de sédiments, ce qui a une influence sur x.

La modélisation de la dorsale océanique peut elle aussi poser problème, car il s'agit de la zone où la croûte océanique est fabriquée, donc il est difficile, même pour simplifier, de considérer qu'elle est déjà formée. Or toutes choses restant identiques par ailleurs (épaisseur de la colonne notamment), considérer que cette croûte est plus réduite revient à considérer un excès de masse, donc la dorsale devrait alors être située plus en profondeur, ce qui est effectivement le cas.



Modélisation d'Airy de la croûte océanique au niveau et à côté de la dorsale Juan de Fuca.

Références

Collectif (2015). *Earthquakes and Tsunamis in the Cascadia Subduction Zone*.

https://oregonencyclopedia.org/articles/cascadian_subduction_zone

Collectif (2017). *Juan de Fuca Ridge*. https://en.wikipedia.org/wiki/Juan_de_Fuca_Ridge

Marjanovic, M., et al. (2011). *Geochemistry Geophysics Geosystems* 12 : 5. [doi:10.1029/2010GC003439](https://doi.org/10.1029/2010GC003439)

Barème

Question	Elements attendus	A	B	C	D
1.1A	fossilisation champ magnétique terre / roches (aimantation thermorémanente) inversion magnétique – enregistrement / roches océaniques et anomalies		/3		
1.1B	anomalies // axe dorsale et âge croissant en s'éloignant dorsale = zone de mise en place croûte océanique – explications anomalies mesure et calcul corrects	/2 /2	/2		
1.1C	comparaison vitesses dorsales rapides / lentes et conclusion cohérente		/2		
1.2A et C	carte claire, soignée, synthétique – titre, orientation – échelle distance échelles vitesse explicites (vecteurs doivent être tracés à l'échelle) vecteurs mouvements absolus (2 si tout bon, 1 si un bon) et relatifs (idem)				/2 /1 /4
1.2B	principe calcul (B) – résultats (A)	/1	/1		
1.2C	principe détermination mouvement relatif (résultats évalués en 1.2A) résultats normes vecteurs (principe calcul évalué en 1.2B)	/1	/1		
1.2D	comparaison avec JDF / PAC – conclusion cohérente	/1	/1		
1.3	séismes au niveau dorsale : failles transformantes océaniques	/1	/1		
	frontière avec plaque NA : séismes, chevauchement et volcans – parallélisme zone de convergence, cordillère, zone de subduction océan / continent	/2	/2		
2.1A	anomalie = valeur mesurée (+ corrigée) – valeur théorique (ellipsoïde) anomalie à l'air libre -> prise en compte altitude, révèle reliefs anomalie de Bouguer -> prise en compte altitude + reliefs, révèle densité sous-sol		/1 /2 /2		
2.1B	analyse relief / anomalie à l'air libre / quantifications comparaison valeurs connaissances – conclusion (interprétation = 2.1A)	/3	/2		
2.1C	analyse Bouguer et quantification (interprétation = 2.1A) comparaison 2.1A – explication : densité sous-sol compense relief	/2	/1	/1	
2.1D	discussion cohérente et argumentée (pas de "bonne" réponse)			/2	
2.2A	schéma propre, clair, explicite, annoté, légendé, titré modèle complet, correct et corr. connaissances, surface comp. cohérente				/2 /3
2.2B	niveau marin constant et égalité hauteurs – éq. isostatique et égalité pressions calculs et résultat corrects	/2	/2		
2.2C	comparaison relief réel – pas d'équilibre isostatique discussion cohérente et argumentée (1 élément supplémentaire suffit)	/1		/1 /2	