

SVT, EPREUVE SUR SUPPORT DE DOCUMENTS
GEOLOGIE

Durée : 2 heures

L'usage d'abaques, de tables, de calculatrice et de tout instrument électronique susceptible de permettre au candidat d'accéder à des données et de les traiter par les moyens autres que ceux fournis dans le sujet est interdit.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amenées à prendre. Chaque candidat est responsable de la vérification de son sujet d'épreuve : pagination et impression de chaque page. Ce contrôle doit être fait en début d'épreuve. En cas de doute, il doit alerter au plus tôt le chef de centre qui vérifiera et éventuellement remplacera son sujet.

QUELQUES ASPECTS DE LA GEOLOGIE DE L'OCEAN ATLANTIQUE

La planète Terre est recouverte d'eau pour 70 % de sa surface. Tous les océans du globe possèdent des caractéristiques communes, mais chacun présente des particularités qui le distinguent. L'objectif de ce sujet est d'étudier quelques caractéristiques géologiques de l'océan Atlantique.

- Vous répondrez aux questions posées en construisant méthodiquement votre argumentation sur l'analyse des documents proposés et sur vos connaissances et en adéquation avec les **consignes explicites** propres à chaque question. Les réponses seront **précises, concises et structurées**.
- L'**annexe** sera complétée et obligatoirement rendue avec la copie.
- Ce sujet comprend 4 thèmes, soit un ensemble de **10 documents** et de **15 questions** réparties sur 10 pages. Les numéros des questions et des documents étudiés seront clairement indiqués.
- Aucune introduction, ni conclusion ni schéma bilan ne sont demandés.

Références bibliographiques

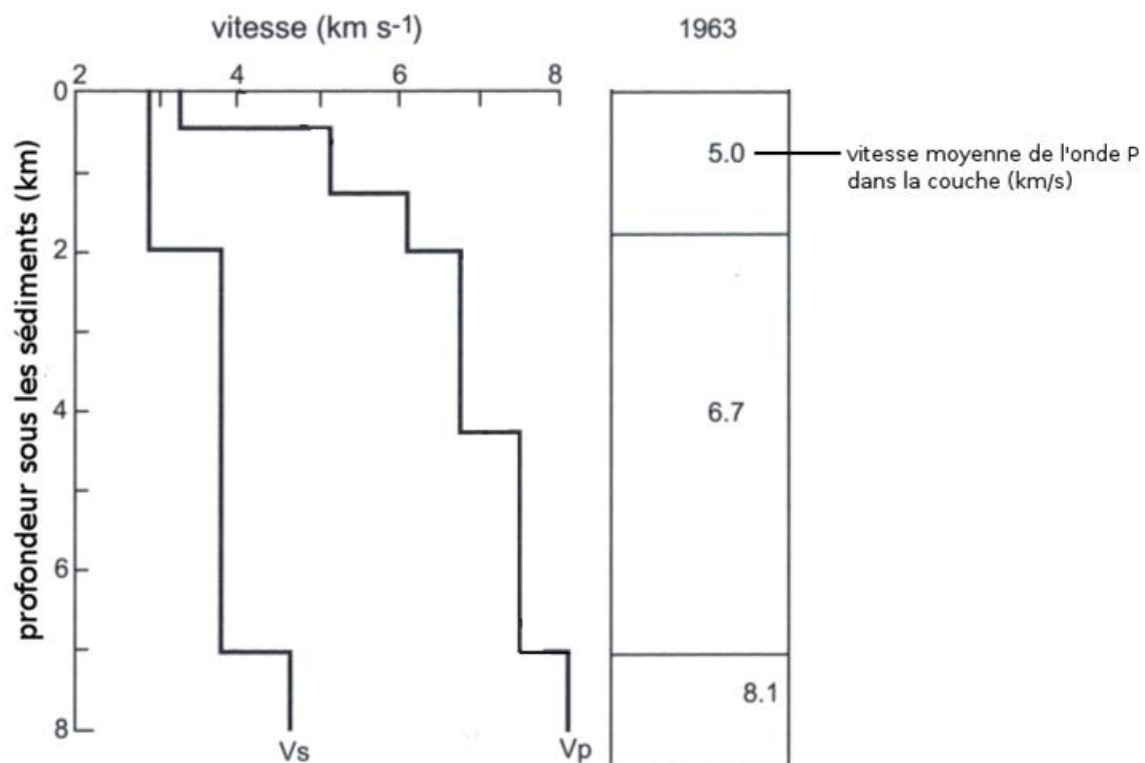
- Coumou *et al.*, 2008. The Structure and Dynamics of Mid-Ocean Ridge Hydrothermal Systems. *Science*.
- Juteau et Maury, 2012. La croûte océanique. *Vuibert*.
- Larroque et Virieux, 2001. Physique de la Terre solide. *Gordon and Breach*.
- McKenzie, W.S. *et al.*, 1982. Atlas des roches magmatiques. *Masson*.
- Ritsema *et al.*, 1999. Complex Shear Wave Velocity Structure Imaged Beneath Africa and Iceland. *Science*.
- Sarmiento et Gruber, 2006. Ocean Biogeochemical Dynamics. *Princeton University Press*.
- Saunders, A.D. *et al.*, 1998. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 152. *Ocean Drilling Program, College Station, TX*.
- Williams R. G. et Follows M., 2011. Ocean Dynamics and The carbon Cycle. *Cambridge*.

Thème 1 : Structure et nature de la lithosphère océanique Atlantique

Des prospections géophysiques conduites dès les années 1960 permettent d'étudier la structure de la lithosphère océanique. Des forages de la lithosphère océanique Atlantique ont été réalisés à partir de 1968 dans le cadre des programmes Deep Sea Drilling Project puis Ocean Drilling Program. Ce thème se propose d'étudier quelques résultats majeurs de ces missions.

1.1 Structure de la lithosphère océanique Atlantique

Document 1.1 : évolution des vitesses sismiques (en $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$) à travers la lithosphère océanique pour les ondes P et S et leur interprétation (partie de droite) en terme de modèle de lithosphère stratifiée (Raitt, 1963). La profondeur zéro correspond à la profondeur sous la couche de sédiments. Les nombres dans les couches du modèle de Raitt correspondent à la vitesse moyenne de l'onde P dans chaque couche en $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$.

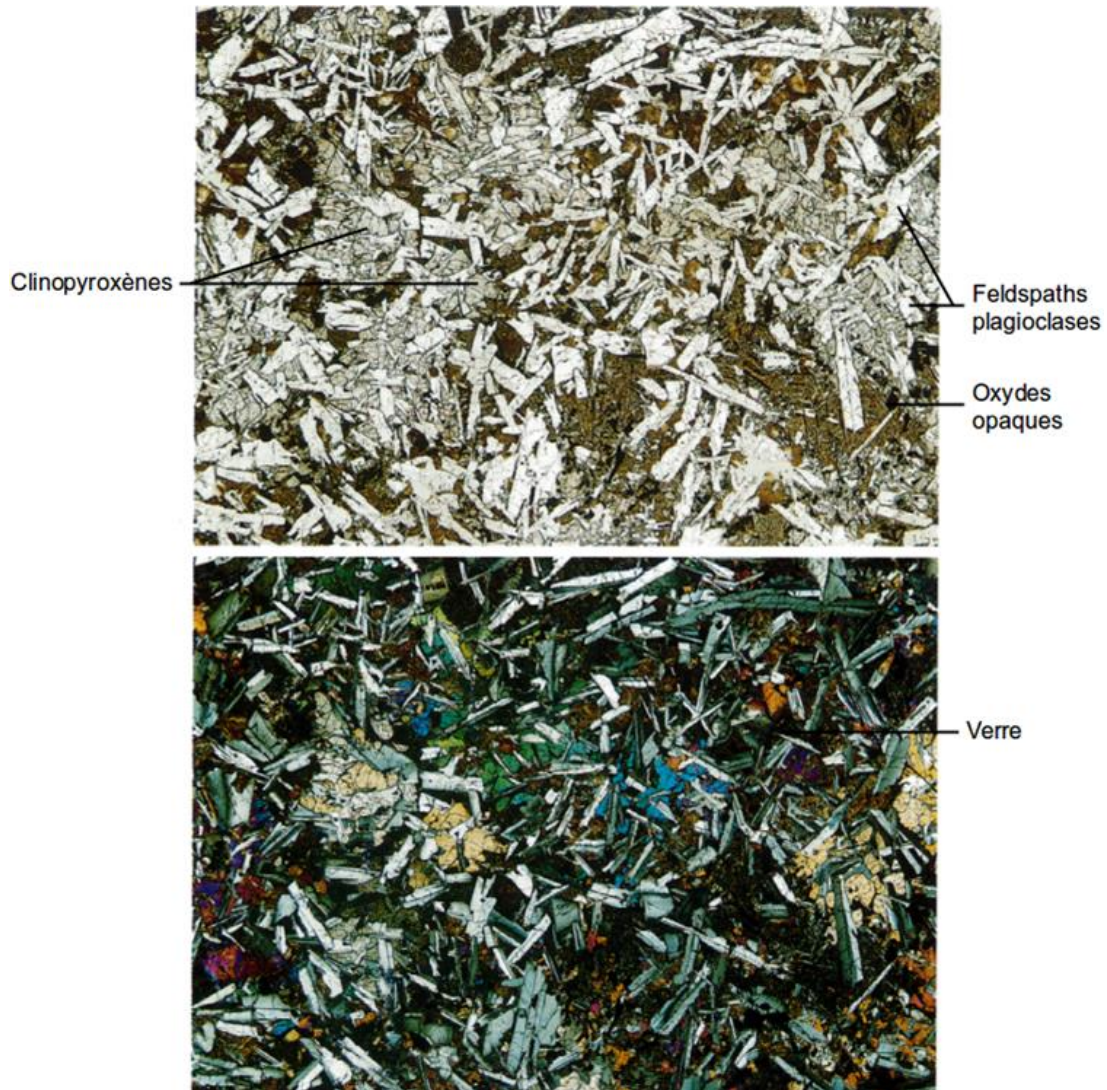


Question n°1.1

- Définissez la notion de lithosphère, en dix lignes maximum et sans schéma.
- Analysez l'évolution des vitesses sismiques mesurées en fonction de la profondeur de la lithosphère océanique (document n°1.1).
- D'après vos connaissances, à quelles lithologies peuvent correspondre les différentes couches proposées par Raitt en 1963 (document n°1.1) ?

1.2 Nature de la lithosphère océanique Atlantique

Document 1.2 : lame mince d'une roche de la lithosphère océanique observée au microscope polarisant (grossissement x 11), en lumière polarisée non analysée (en haut) et en lumière polarisée analysée (en bas).



Question n°1.2

A partir du document n°1.2, effectuez une diagnose argumentée de cette roche.

Document 1.3 : valeurs des vitesses des ondes P (V_p) et des ondes S (V_s) mesurées en laboratoire en $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$, dans des dolérites océaniques et basaltes, des gabbros et des péridotites hydratées ou non ($P = 2$ kbar). Une dolérite est une roche subvolcanique, de texture intermédiaire entre basalte et gabbro.

	Dolérites - Basaltes	Gabbros	Péridotites contenant 10 à 40 % de minéraux hydratés	Péridotites sans minéraux hydratés
V_p ($\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)	5 – 6,4	6,4 – 7,7	6,5 – 7,7	7,8 – 8,6
V_s ($\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)	3 – 3,5	3,6 – 4,2	3,5 – 4,2	4,3 – 4,8

Question n°1.3

A partir des données du document n°1.3, critiquez votre proposition de lithologies réalisée à la question n°1.1c. Aucun schéma n'est attendu ici.

1.3 Modèle général de la lithosphère océanique Atlantique

Question n°1.4

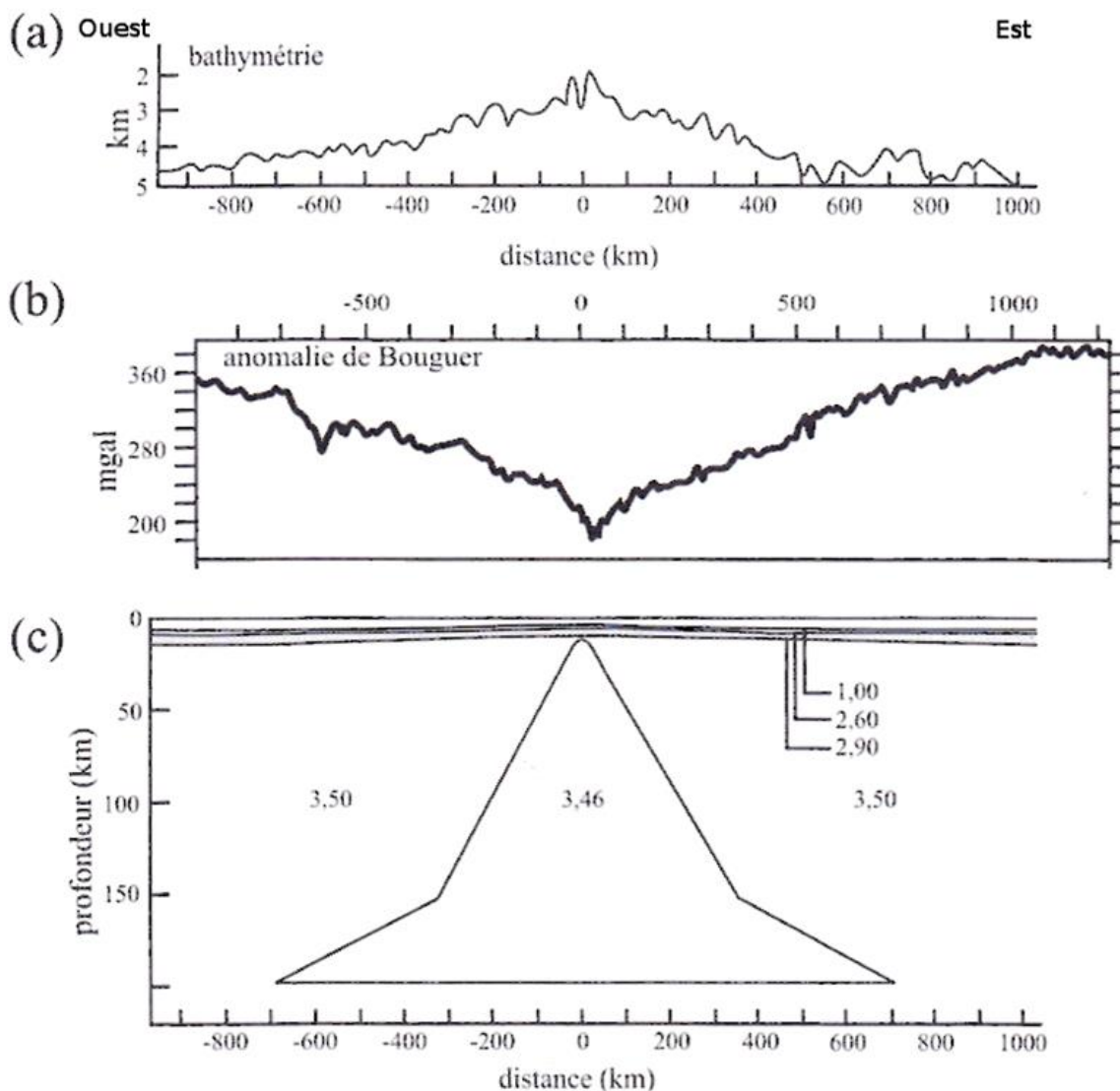
A partir de vos connaissances et de l'analyse des documents précédents, établissez un log synthétique décrivant la nature et la structuration verticale de la lithosphère océanique Atlantique. Puis explicitiez succinctement les particularités de la lithosphère océanique Atlantique au regard de celle de l'océan Pacifique.

Thème 2 : Origine et mobilité de la lithosphère océanique Atlantique

Un certain nombre de données géophysiques permettent d'étudier l'origine et la mobilité de la lithosphère océanique Atlantique. C'est l'objectif de ce thème 2.

2.1 Morphologie de la dorsale de la lithosphère océanique Atlantique

Document 2.1 : morphologie de la dorsale et structure lithosphérique sous la dorsale Atlantique vers 45°N suivant une direction Ouest-Est: (a) bathymétrie (en km); (b) anomalie de Bouguer (en mgal ou 10^{-5} m.s^{-2}); (c) modèle de structure lithosphérique montrant les répartitions des masses volumiques (en 10^3 kg.m^{-3}).



Question n°2.1

Le document n°2.1 présente des données établies à partir de mesures géophysiques et d'un modèle au niveau de la dorsale Atlantique.

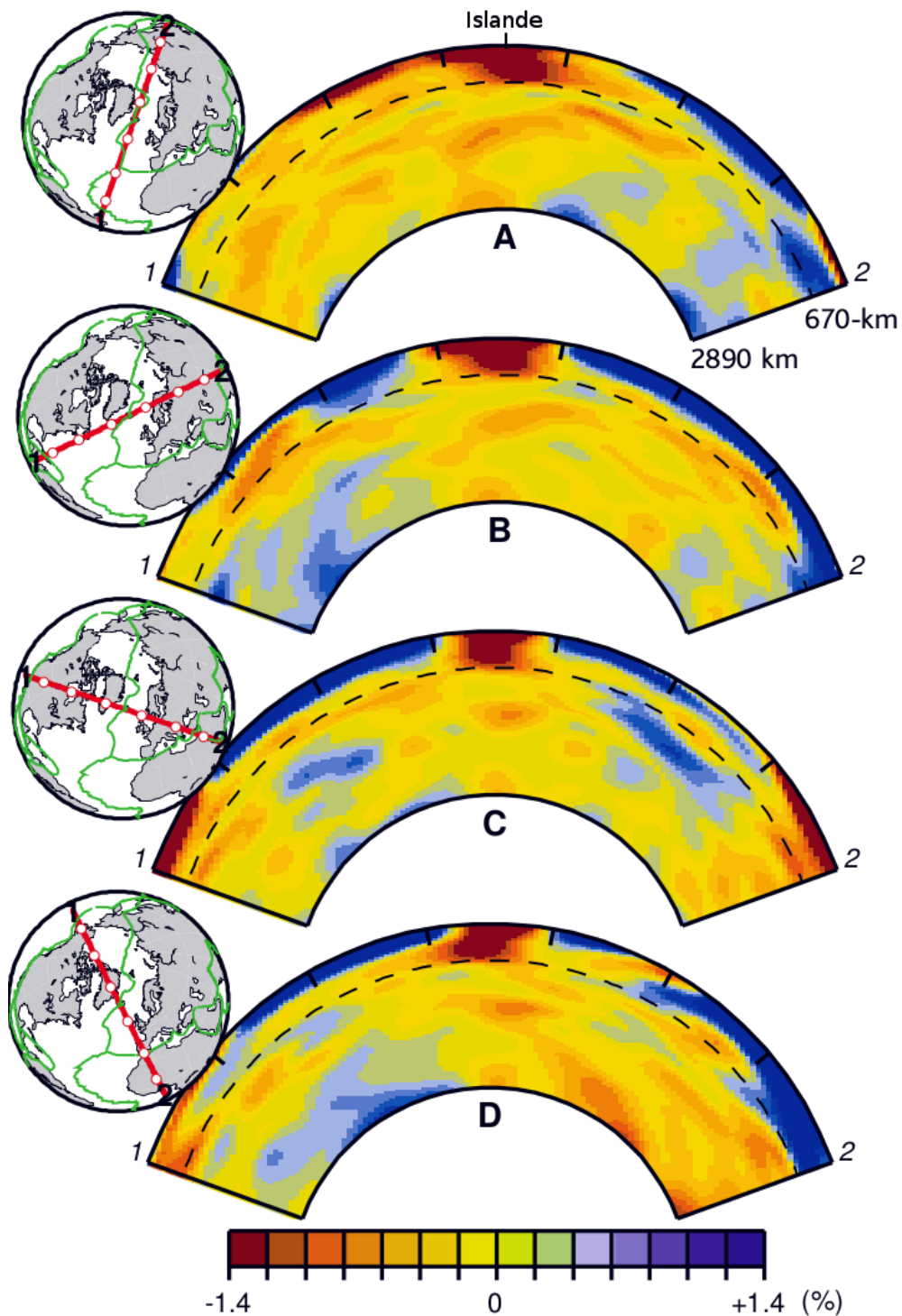
- Quelles informations sur la morphologie de la lithosphère océanique Atlantique le document n°2.1a apporte-t-il ?
- Rappelez brièvement comment est calculée l'anomalie de Bouguer.

c) Analysez et interprétez le document n°2.1b.

d) A partir du document n°2.1, explicitez le lien entre morphologie et densité de la lithosphère océanique Atlantique.

2.2 Origine de la lithosphère océanique islandaise

Document 2.2 : section verticale de tomographie sismique passant par l'Islande jusqu'à 2890 km de profondeur. La ligne en pointillé représente la discontinuité sismique à 670 km de profondeur. Le modèle de référence utilisé pour calculer l'anomalie est le modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model).



Question n°2.2

a) Rappelez de manière concise le principe de tomographie sismique.

b) Quelles informations apportent le document n°2.2 sur l'(les) origine(s) probable(s) du magmatisme islandais ?

2.3 Mobilité de la lithosphère océanique Atlantique

Le document n°2.3 (page suivante) présente la relation qui existe entre la profondeur et l'épaisseur de la lithosphère océanique et le temps (2.3a et 2.3b). Le schéma du document n°2.3c représente en carte la dorsale océanique Atlantique orientée Nord-Sud, interrompue par une faille transformante perpendiculaire. Au sud immédiat de la zone de fracture et à une distance de 5 000 m à l'ouest de la dorsale, la profondeur du plancher océanique est de 4 000 m (point A). Au nord immédiat et de l'autre côté de la fracture, la profondeur est de 5 000 m (point B).

Question n°2.3

- En utilisant les données des documents 2.3b et 2.3c, estimez approximativement le taux d'expansion moyen de cette dorsale (en cm.an^{-1}).
- D'un point de vue cinématique, dans quelle catégorie classez-vous cette dorsale ?

Question n°2.4

- Réalisez une coupe bathymétrique Nord-Sud entre les points A et B (document n°2.3c) sur le papier millimétré de l'**annexe** à compléter et à rendre avec la copie.
- D'après vos analyses, la faille transformante est-elle dextre ou sénestre ?
- Vous rajouterez des flèches pour indiquer le mouvement sur l'**annexe** à compléter et à rendre avec la copie.

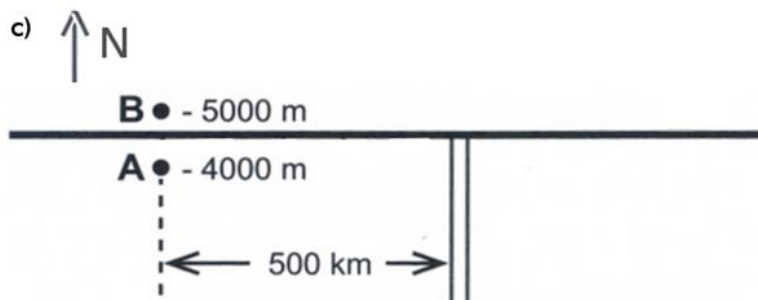
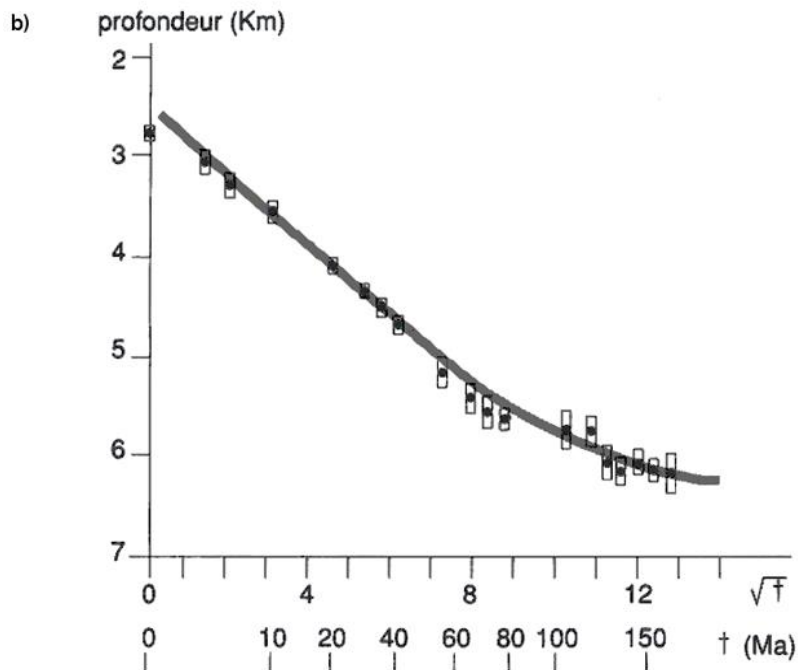
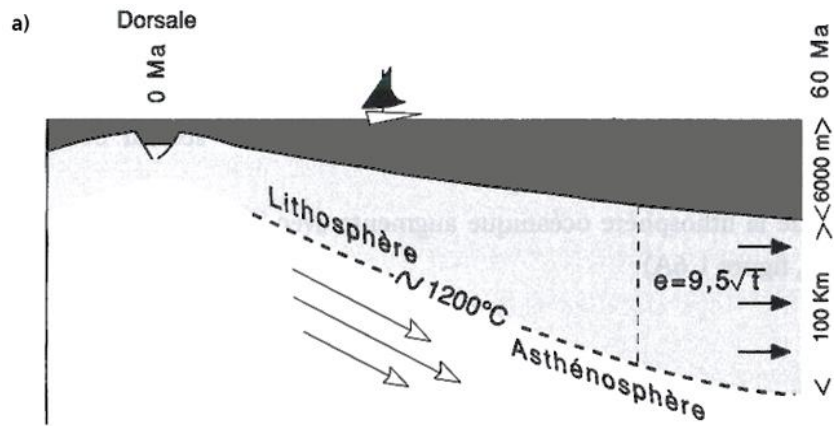
Question n°2.5

- A partir du document n°2.3, calculez l'épaisseur approximative de la lithosphère océanique aux points A et B. Vous vous aiderez de la relation âge-épaisseur donnée au document n°2.3a et utiliserez les données du document n°2.3b.

Question n°2.6

- A partir de vos connaissances et du document n°2.3a, proposez un processus contrôlant la variation d'épaisseur de la lithosphère océanique au cours du temps.
- Quelle partie de la lithosphère océanique est affectée par la variation d'épaisseur ?

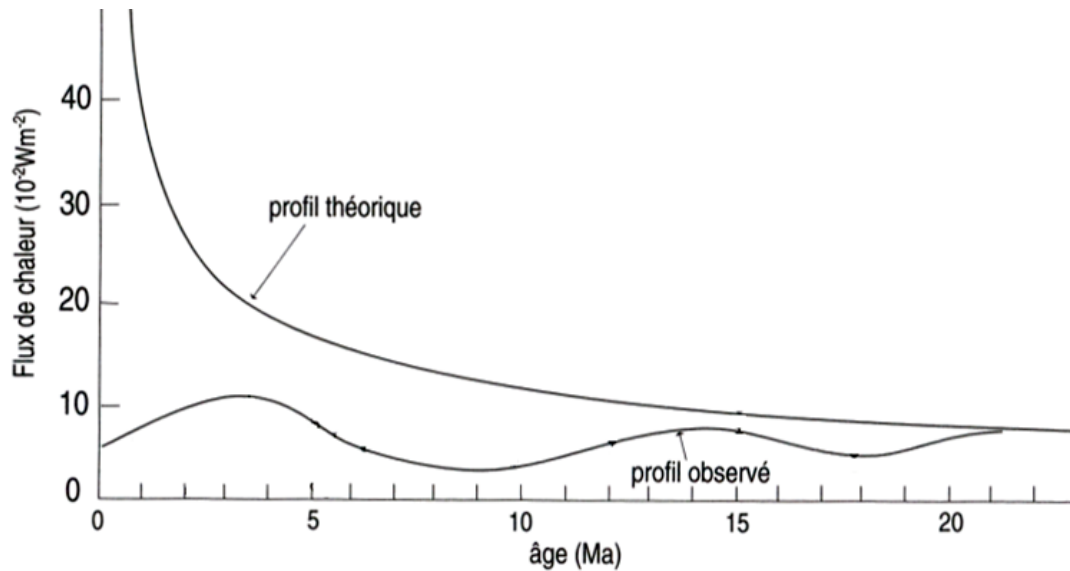
Document 2.3 : a) Variation de la profondeur du plancher océanique et de l'épaisseur de la lithosphère en fonction de son âge (e: épaisseur de la lithosphère océanique en km; t: âge de la lithosphère en millions d'années); b) Subsidence du plancher océanique en fonction de l'âge de la lithosphère (les écarts types sont mentionnés) ; c) Schéma théorique d'une dorsale océanique orientée Nord-Sud, interrompue par une faille transformante orientée Est-Ouest. Seule la partie sud de la dorsale est ici représentée.



Thème 3 : Interactions physiques entre lithosphère océanique Atlantique et eau de mer

Ce thème se propose d'étudier les aspects physiques du devenir de la lithosphère océanique Atlantique en contact avec l'eau de mer.

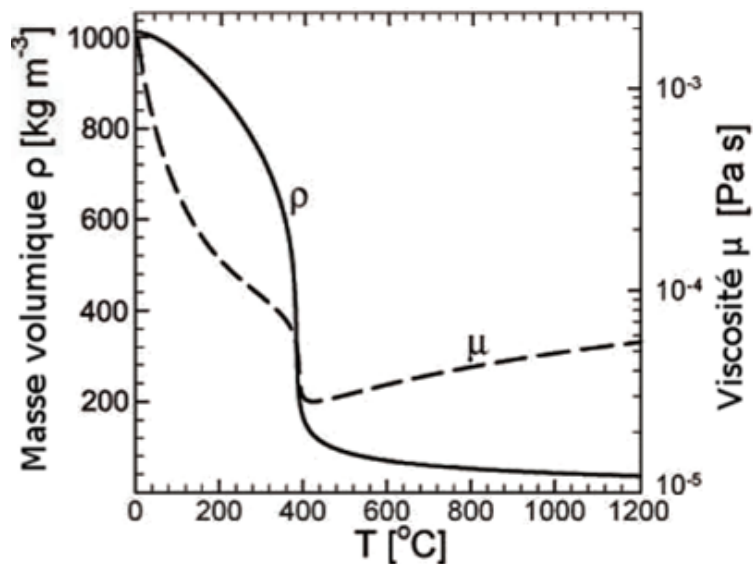
Document 3.1 : variation du flux de chaleur de la dorsale Atlantique en fonction de l'âge de la lithosphère océanique (en Ma) ; le flux de chaleur *observé* est obtenu à partir de mesures de température réalisées sur la lithosphère océanique à différents âges et le flux de chaleur *théorique* à partir d'un modèle purement conductif.



Question n°3.1

- Décrivez de manière concise le document n°3.1.
- Proposez une explication quant à la différence entre les flux de chaleur observé et théorique.

Document 3.2 : évolution de la masse volumique (en kg.m^{-3}) et de la viscosité (en Pa.s) de l'eau en fonction de la température (pour une pression de 30 MPa, soit environ 3 km de profondeur).



Question n°3.2

A partir du document n°3.2 :

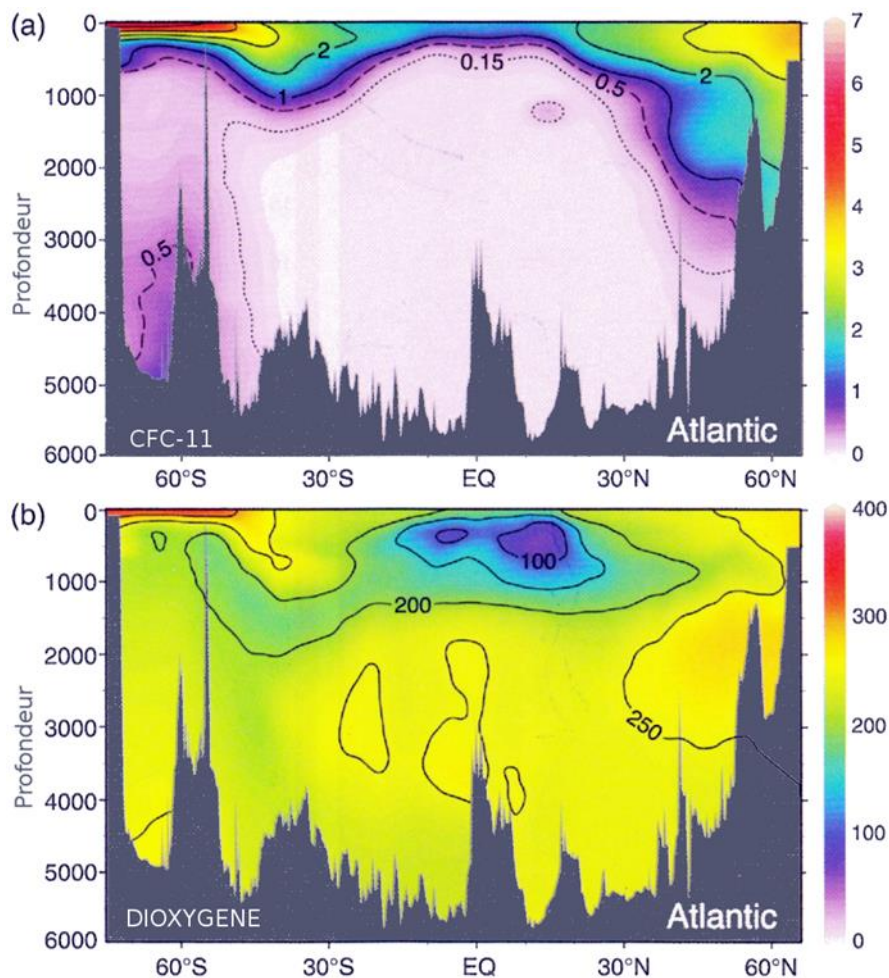
- Précisez comment évoluent les propriétés physiques de l'eau avant et après 400°C,
- En vous focalisant sur les intervalles 0-200°C et 200-400°C, expliquez en quoi ces évolutions peuvent être à l'origine : 1) d'un transport descendant d'eau, 2) d'un transport ascendant d'eau.

Thème 4 : L'océan Atlantique, un acteur essentiel du système climatique

L'océan Atlantique est le deuxième plus grand réservoir d'eau salée terrestre et est étroitement connecté aux océans Arctique et Austral. En ce sens, il constitue un acteur essentiel du système climatique et joue un rôle crucial dans le cycle du carbone. Ce thème se propose d'aborder ces aspects.

4.1 Distribution spatiale des traceurs et circulation de l'océan Atlantique

Document 4.1 : évolution des CFC-11 (trichlorofluorométhane en 10^{-12} mol.kg $^{-3}$) et du dioxygène dissous (en mL.L $^{-1}$) le long de 20°W dans l'océan Atlantique en fonction de la profondeur (en m) et de la latitude. Le CFC-11 ou fréon-11 (CCl_3F) est un composé, d'origine anthropique, utilisé pour ses propriétés réfrigérantes dans l'industrie depuis le 20^{ème} siècle.

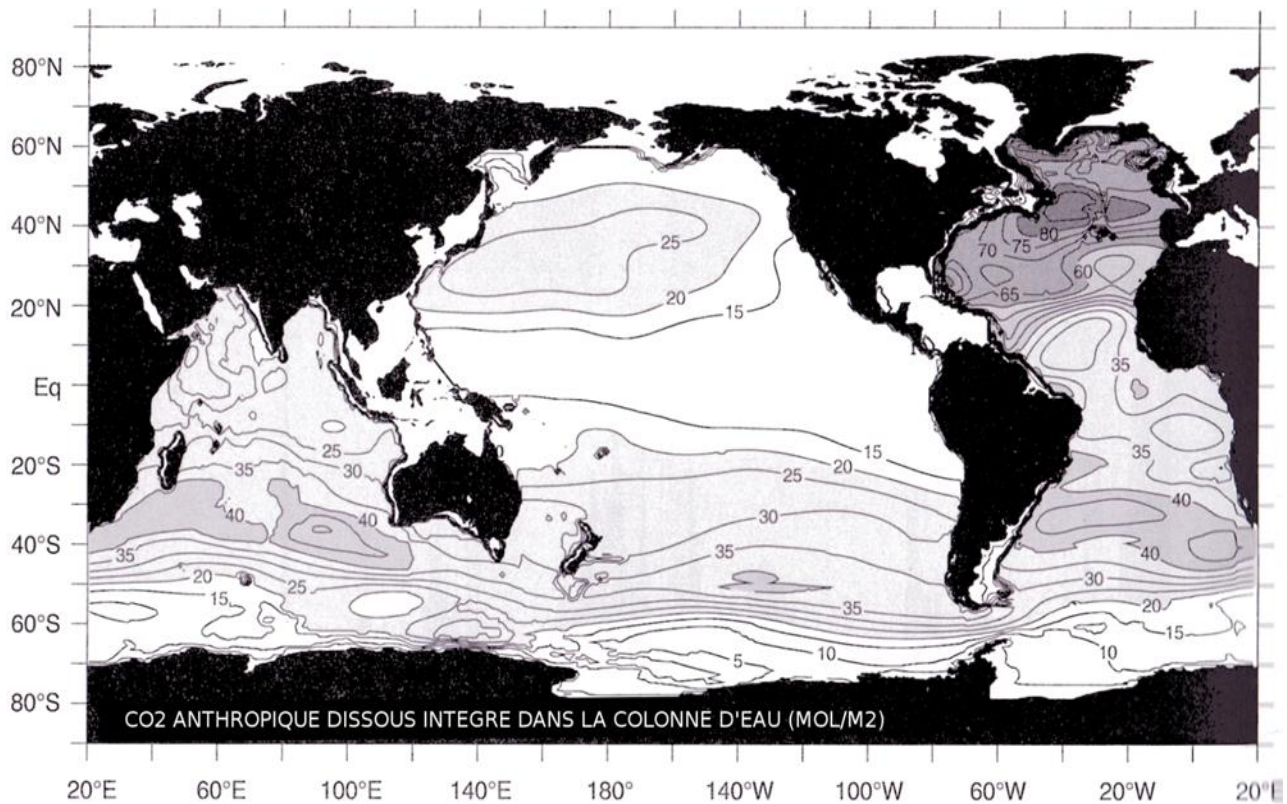


Question n°4.1

- Expliquez de manière concise la distribution spatiale des traceurs du document n°4.1 entre les hautes latitudes de l'hémisphère nord et l'équateur.
- A partir de vos connaissances, montrez et explicitez quels facteurs gouvernent vers 60°N la répartition spatiale des traceurs du document n°4.1.
- Quel processus majeur de la circulation océanique globale est ainsi mis en évidence ?

4.2 Cycle du carbone et océan Atlantique

Document 4.2 : quantité de CO₂ total dissous d'origine anthropique intégré dans la colonne d'eau de l'océan (en mol.m⁻²). Les niveaux grisés soulignent les valeurs de CO₂ total dissous d'origine anthropique. Les auteurs parviennent à dissocier le CO₂ d'origine naturelle du CO₂ d'origine anthropique à partir des mesures de CO₂ dissous.



Question n°4.2

A partir de l'analyse du document n°4.2, proposez une hypothèse expliquant la répartition de la concentration en CO₂ dissous d'origine anthropique dans l'océan Atlantique.

4.3 Bilan de la circulation de l'océan Atlantique

Question n°4.3

A partir de vos analyses et de vos connaissances, proposez un schéma explicatif de la circulation océanique de l'Atlantique, en y figurant les directions et sens des principaux courants. Ce schéma explicatif sera construit à partir de la trame présente sur l'annexe à compléter et à rendre avec la copie.