

Sciences à l'École



TEST DE SÉLECTION 2025

Olympiades internationales de Géosciences

27 janvier – 30 janvier 2025

Durée : 2 heures




MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE,
DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE
*Liberté
Égalité
Fraternité*


ENS DE LYON


METEO
FRANCE




Société
Géologique
de France

 Observatoire
de Paris | PSL 

Prénom et Nom :

Date de naissance :

Établissement scolaire :

Je m'engage sur l'honneur à ne pas diffuser le contenu du test avant l'annonce des résultats.

Signature de l'élève

CONSIGNES

Ce test comprend **51 questions sous forme de questions à choix multiples** et **28 pages**. L'usage de la calculatrice est autorisé. L'usage d'un dictionnaire anglais-français est interdit.

DURÉE DU TEST

Les élèves ont **1 heure 50 minutes** pour composer sur le test imprimé en entourant au stylo les réponses choisies pour chaque question et **10 minutes** pour saisir leurs réponses sur le formulaire en ligne.

⇒ La durée totale du test est de **2 heures**

BARÈME DES QUESTIONS À CHOIX MULTIPLES

⇒ Questions avec une seule réponse correcte

1 point pour la réponse correcte et 0 point pour une réponse fausse.

⇒ Questions avec plusieurs réponses correctes

1 point par réponse correcte et -0.5 point pour chaque réponse fausse

Remarques :

- *Aucune question ne sera notée en dessous de zéro même si le nombre de réponses fausses dépasse le nombre de réponses correctes.*

- *Il y a toujours au moins une réponse fausse.*

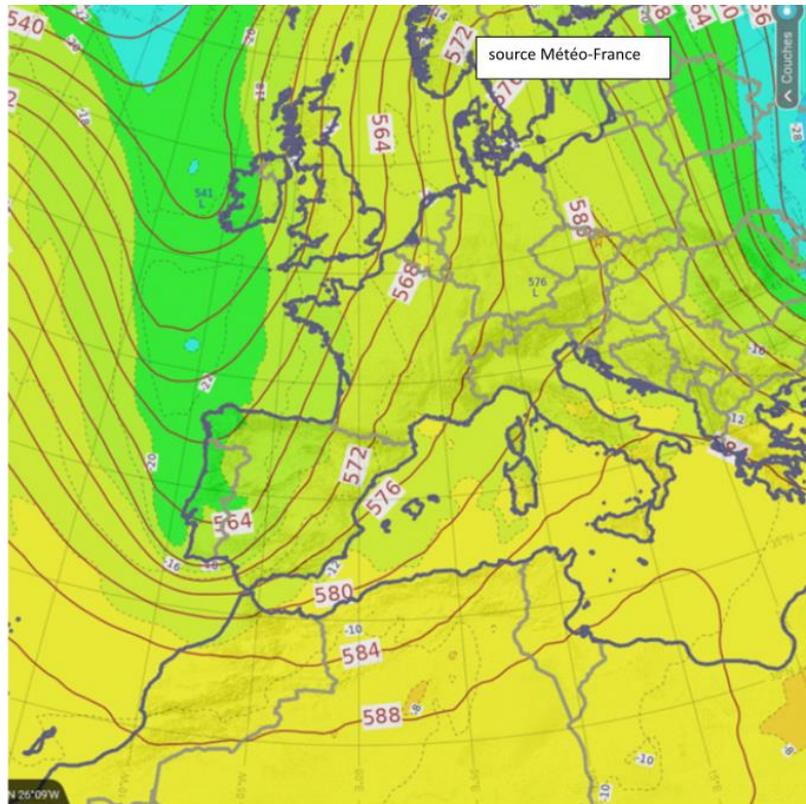
- *La question sera notée zéro si toutes les réponses sont cochées.*

Partie I : « Épisode méditerranéen du 16 et 17 octobre 2024 »

Cette partie est consacrée à l'étude de l'épisode méditerranéen qui a touché le sud de la France le 16 et 17 octobre 2024.

Introduction questions 1 à 5

La carte ci-dessous représente l'altitude et la température de la surface isobare 500 hPa. Cette carte sera nommée « carte de la 500 hPa » dans la suite du sujet.



DOCUMENT 1 : Température (surfaces colorées) et altitude (lignes de niveau) de la surface isobare 500 hPa – Prévission du modèle CEP du 16 octobre 00 h 00 pour le 17 octobre 00 h 00. *Source : Météo France.*

QUESTION 1 : Comment sont appelées les lignes de niveau visibles sur la carte de la 500 hPa (Document 1) (une seule réponse correcte) ?

- A. Isobares.
- B. Isohypes.
- C. Isochores.
- D. Isotropes.

QUESTION 2 : Quel est le nom de la structure qui s'étend de l'ouest de l'Irlande au sud du Portugal sur le document 1 (une seule réponse correcte) ?

- A. Une dépression.
- B. Un anticyclone.
- C. Un thalweg (ou creux barométrique).
- D. Une dorsale (ou crête barométrique).

QUESTION 3 : Quelles sont les causes principales qui déterminent le sens des vents (plusieurs réponses correctes) ?

- A. La position des reliefs.
- B. La Force de pression.
- C. La Force de Coriolis.
- D. L'air froid d'altitude qui descend des reliefs.
- E. La différence de température entre deux masses d'air.

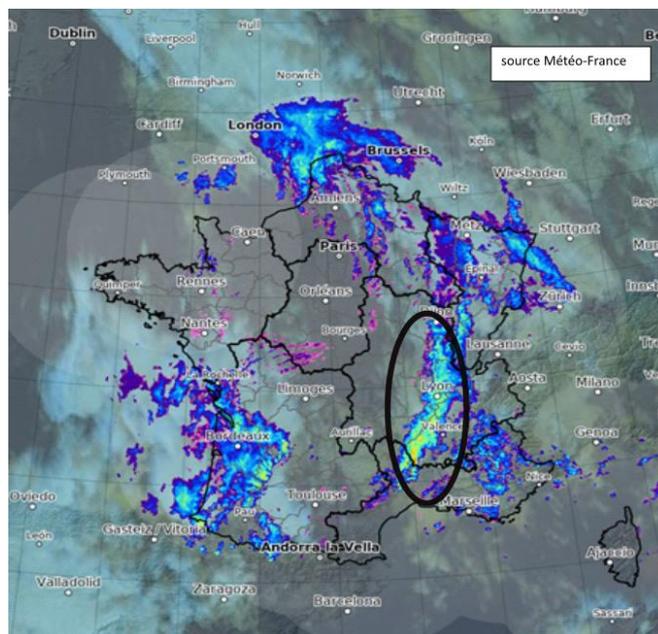
QUESTION 4 : Quel est l'intitulé de la règle de Buys-Ballot dans l'hémisphère nord (plusieurs réponses correctes) ?

- A. Les vents tournent autour des anticyclones dans le sens horaire.
- B. Les vents tournent autour des dépressions dans le sens horaire.
- C. Les vents tournent autour des anticyclones dans le sens antihoraire.
- D. Les vents tournent autour des dépressions dans le sens antihoraire.

QUESTION 5 : D'après la carte de la 500 hPa (Document 1), quelle est le sens du vent en altitude, au niveau 500 hPa, sur le sud-est de la France (une seule réponse correcte) ?

- A. Orienté du sud vers le nord.
- B. Orientée de l'est vers l'ouest.
- C. Orienté du nord vers le sud.
- D. Orientée de l'ouest vers l'est.

Introduction question 6



DOCUMENT 2 : Composition colorée (couleurs vives) et réflectivité radar (fond bleu/gris) le 17 octobre 00 h 00. Les compositions colorées permettent de produire des images en couleurs en tenant compte de la signature spectrale des objets. Elles sont fréquemment utilisées pour faire ressortir les différents types de surface sur les images multispectrales ou mettre en évidence certains phénomènes environnementaux. La réflectivité radar est une variable qui peut être liée à la pluviométrie. *Source : Météo France.*



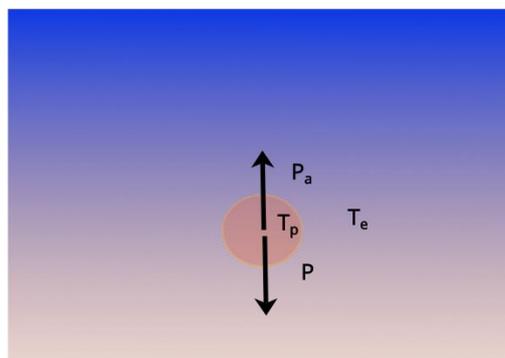
DOCUMENT 3 : Carte des reliefs de la France métropolitaine. *Source* : IGN.

QUESTION 6 : Au vu de la carte géographique ci-dessus (Document 3), quel est le déclencheur des précipitations dans le sud-est (dans la zone entourée en noir sur le document 2) (une seule réponse correcte) ?

- A. Les reliefs.
- B. Les forêts.
- C. Les rivières et les fleuves.
- D. La mer.

Introduction questions 7 et 8

Sur le schéma ci-dessous, une particule d'air à une température T_p dans un air environnant de température T_e est représentée. P est le poids et P_a est la poussée d'Archimède. R_a est la constante spécifique de l'air sec et ρ est la masse volumique.



Document 4 : Schéma d'une particule d'air et représentation des données permettant de définir l'expression de l'accélération de pesanteur.

QUESTION 7 : L'accélération de la particule est proportionnelle à la différence de température entre le milieu extérieur et la particule d'air et est inversement proportionnelle à la température extérieure. L'accélération de la particule est proportionnelle à l'accélération de la pesanteur g . Quelle est l'expression correcte de l'accélération de la particule d'air parmi les expressions suivantes (une seule réponse correcte) ?

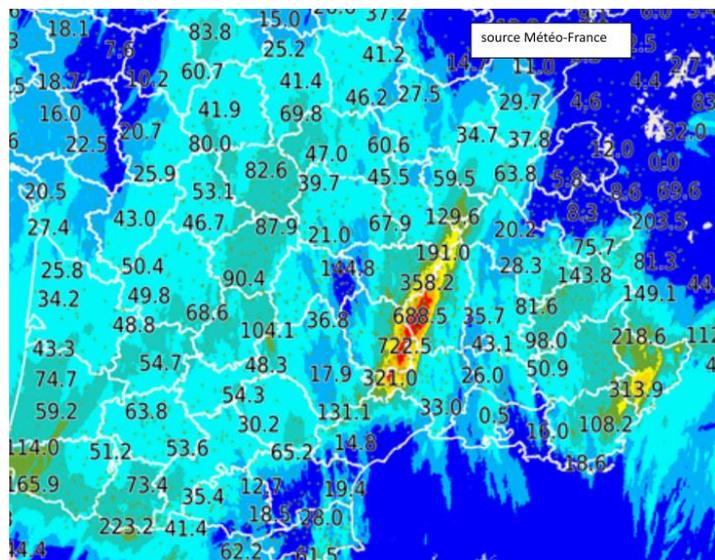
- A. $\frac{d\vec{v}}{dt} = \left(\frac{1}{T_p} - \frac{1}{T_e}\right) \vec{g}$.
- B. $\frac{d\vec{v}}{dt} = (T_p - T_e) \vec{g}$.
- C. $\frac{d\vec{v}}{dt} = \left(\frac{T_e - T_p}{T_e}\right) \vec{g}$.
- D. $\frac{d\vec{v}}{dt} = \left(\frac{T_p - T_e}{T_p}\right) \vec{g}$.

QUESTION 8 : On cherche à connaître la stabilité de l'air. Un air est dit stable si la particule d'air tend vers le sol. Dédurre de la question précédente, la stabilité de l'air parmi les propositions ci-dessous (Plusieurs réponses correctes).

- A. Si $T_e > T_p$, l'air est instable.
- B. Si $T_e > T_p$, l'air est stable.
- C. Si $T_e < T_p$, l'air est instable.
- D. Si $T_e < T_p$, l'air est stable.

Introduction questions 9 et 10

Le document 5 présente la carte de cumul de précipitations (données chiffrées, en mm) et la réflectivité radar (zones colorées) sur 72 heures. Pour information, en moyenne, il pleut 1200 mm à l'année dans les régions dont les couleurs sont rouge. Ici, on a mesuré jusqu'à 722 mm sur 72 heures.



DOCUMENT 2 : Réflectivité radar et cumul de précipitation en mm sur 72 heures (18 octobre 2024 à 12 h 00). Source : Météo France.



QUESTION 9 : Que signifie plus précisément la mesure 722 mm (une seule réponse correcte) ?

- A. 722 millimètres par cm^2 .**
- B. 722 millilitres par cm^2 .**
- C. 722 millilitres par dm^2 .**
- D. 722 litres par m^2 .**

QUESTION 10 : Quel type de nuage, lié à une atmosphère instable donne les intensités de précipitations les plus fortes (une seule réponse correcte) ?

- A. Altocumulus.**
- B. Cumulonimbus.**
- C. Nimbostratus.**
- D. Stratocumulus.**

Partie II : « Datation en géologie »

Introduction question 11

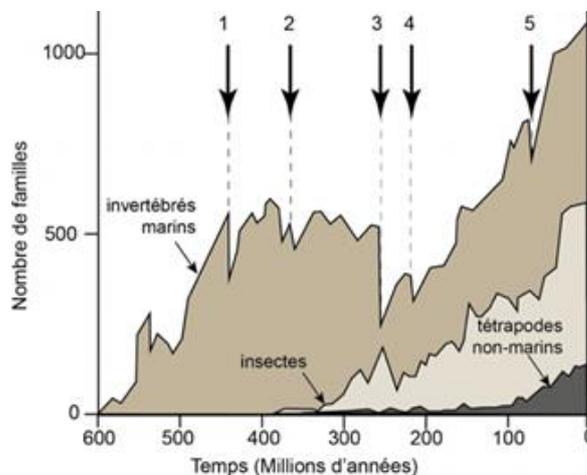


DOCUMENT 6 : Photographies de différents fossiles.

QUESTION 11 : Concernant les fossiles du document 6, quelle proposition est vraie parmi les propositions ci-dessous (une seule réponse correcte) ?

- A. Le fossile A est un bon fossile stratigraphique.
- B. Le fossile B est un trilobite, caractéristique de l'ère secondaire.
- C. Le fossile C est un bon fossile stratigraphique, il caractérise l'ère secondaire.
- D. Le fossile D est un lamellibranche du Jurassique.

Introduction questions 12 et 13



DOCUMENT 7 : Évolution de la biodiversité en nombre de familles pour les invertébrés marins, les insectes et les tétrapodes non-marins au cours du temps (Benton, 2001).

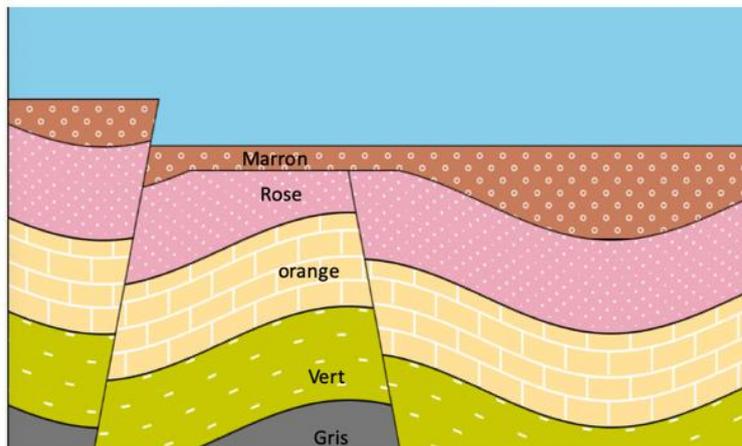
QUESTION 12 : D'après le document 7 et vos connaissances, choisissez les bonnes propositions parmi celle proposées ci-dessous (Plusieurs réponses correctes).

- A. Les 5 flèches représentent les 5 grandes crises de la biodiversité.
- B. La flèche 2 correspond à la crise majeure dans l'histoire de la Vie.
- C. La crise biologique au niveau de la flèche 5, marque la limite entre l'ère secondaire et l'ère tertiaire.
- D. La limite entre le précambrien et le cambrien correspond à une grande crise biologique.

QUESTION 13 : Choisissez les bonnes propositions parmi celle proposées ci-dessous (Plusieurs réponses correctes).

- A. Le Paléozoïque correspond à l'ère géologique durant laquelle il y a eu oxygénation de l'atmosphère.
- B. Le Précambrien couvre plus de 80% des temps géologiques.
- C. La limite entre l'ère secondaire et l'ère Tertiaire est marquée par une crise biologique, et des marqueurs géochimiques comme la présence d'iridium.
- D. Un fait marquant de l'ère Tertiaire est la diversification des mammifères.

Introduction questions 14 et 15



DOCUMENT 8 : Représentation schématique de différentes couches géologiques.

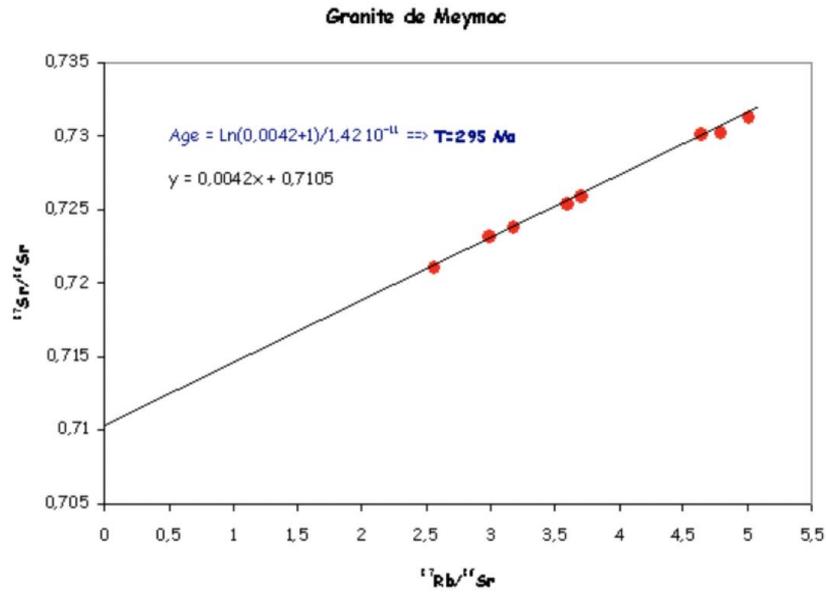
QUESTION 14 : D'après le document 8 et vos connaissances, choisissez la bonne proposition parmi celle proposées ci-dessous (Une seule réponse correcte).

- A. Par principe de superposition le terrain le plus récent est le marron.
- B. Par principe de recoupement les deux failles ont le même âge.
- C. Par principe d'inclusion, le terrain orange est plus récent que le vert.
- D. Ici on a par ordre chronologique : dépôt des terrains gris, vert, orange, rose, plissement, mise en place des deux failles, érosion, dépôt terrain marron.

QUESTION 15 : Choisissez les bonnes propositions parmi celle proposées ci-dessous (Plusieurs réponses correctes).

- A. La datation absolue permet de donner un âge en années.
- B. La dendrochronologie est une méthode de datation absolue.
- C. La radiochronologie est une méthode de datation absolue.
- D. En radiochronologie, on peut mesurer le delta ^{18}O d'un échantillon et obtenir son âge.
- E. On peut dater n'importe quel échantillon grâce au ^{14}C .

Introduction question 16



DOCUMENT 9 : Droite isochrone obtenue avec la méthode de datation Rb/Sr pour le granite de Meymac (Granite du Massif Central). *Source : Planet Terre.*

QUESTION 16 : D'après le document 9 et vos connaissances, choisissez les bonnes propositions parmi celle proposées ci-dessous (Plusieurs réponses correctes).

- A. On aurait pu dater ce granite avec le ^{14}C .
- B. Dans cette méthode le Rubidium 87 se désintègre en Strontium 86.
- C. On peut mesurer les quantités des isotopes sur plusieurs échantillons d'un même granite pour construire la droite isochrone.
- D. On peut mesurer les quantités d'isotopes dans différents minéraux d'un échantillon du granite pour le dater.
- E. La pente de la droite permet de trouver l'âge du granite.

Partie III : « Paléoclimats »

Introduction question 17



DOCUMENT 10 : Carte de répartition des coraux actuels dans le monde. *Source : Researchgate.net/figure*

QUESTION 17 : D'après le document 10 et vos connaissances, choisissez les bonnes propositions parmi celle proposées ci-dessous (Plusieurs réponses correctes).

- A. Par principe d'actualisme les fossiles de coraux sont en général considérés comme de bons fossiles de faciès.
- B. Par principe d'actualisme, les fossiles de coraux sont des marqueurs d'environnements marins froids.
- C. Par principe d'actualisme, les fossiles de coraux sont des marqueurs d'environnements marins, peu profonds, chauds, en domaine intertropical.
- D. On ne retrouve aucun fossile de coraux en France.

Introduction question 18

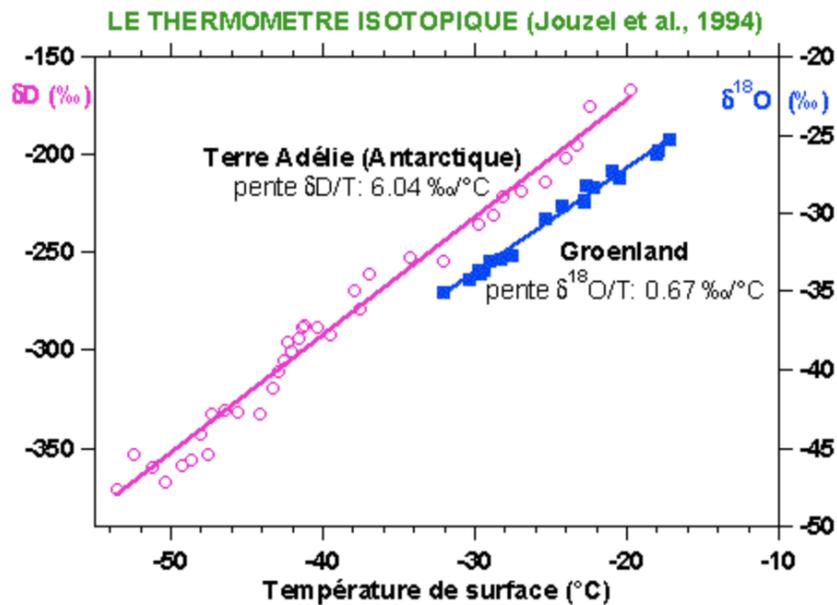


DOCUMENT 11 : Photographie d'un environnement glaciaire.

QUESTION 18 : D'après le document 11 et vos connaissances, choisissez les bonnes propositions parmi celle proposées ci-dessous (Plusieurs réponses correctes).

- A. Sur cette photo, on peut identifier la moraine frontale du glacier mise en place lors du dernier maximum glaciaire.
- B. Sur cette photo, on observe des moraines latérales qui sont des dépôts sédimentaires mal triés.
- C. Sur cette photo, le passage du glacier a creusé une vallée glaciaire en V.
- D. On dispose d'arguments pour dire que le glacier a été plus étendu qu'à l'heure actuelle.
- E. Les dépôts sédimentaires associés au passage d'un glacier sont des arguments pour reconstituer les variations climatiques du Quaternaire.

Introduction question 19

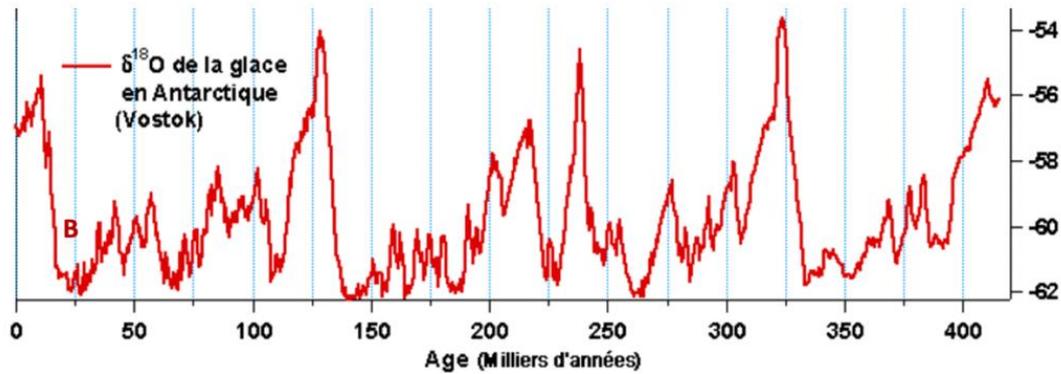


DOCUMENT 12 : Mesures du $\delta^{18}\text{O}$ (thermomètre isotopique) dans des précipitations actuelles au Groenland et en Antarctique. *Source : Planet Terre.*

QUESTION 19 : D'après le document 12 et vos connaissances, choisissez les bonnes propositions parmi celle proposées ci-dessous (Plusieurs réponses correctes).

- A. Les isotopes mesurés dans les échantillons sont ^{16}O et ^{18}O . Ce sont des isotopes stables.
- B. Il existe une relation linéaire entre la température de précipitation et le $\delta^{18}\text{O}$.
- C. Le fait que les valeurs du $\delta^{18}\text{O}$ soient toujours négatives s'explique par un enrichissement en ^{18}O au fur et à mesure que des précipitations.
- D. Les mesures du $\delta^{18}\text{O}$ du document 12 ont été faites dans les bulles d'air piégées dans la glace.
- E. Les valeurs de plus en plus négatives du $\delta^{18}\text{O}$ traduisent un réchauffement.

Introduction question 20



DOCUMENT 13 : Évolution du $\delta^{18}\text{O}$ (axe des ordonnées) mesuré dans les glaces à Vostok au cours des 400 000 dernières années.

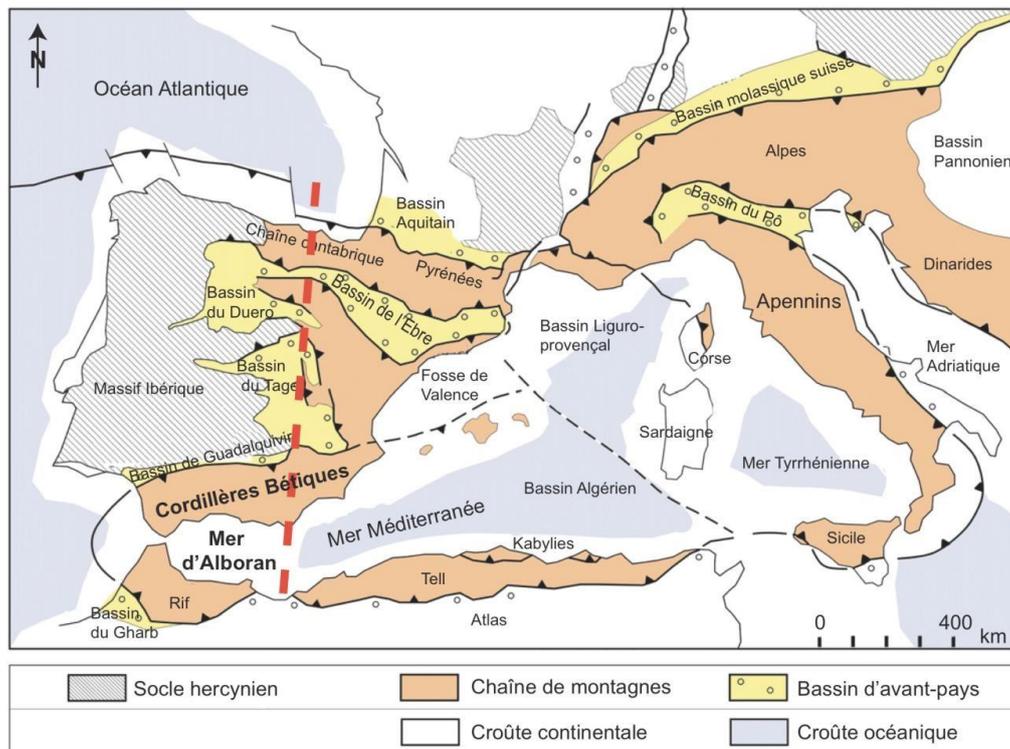
QUESTION 20 : D'après le document 13 et vos connaissances, choisissez les bonnes propositions parmi celle proposées ci-dessous (Plusieurs réponses correctes).

- A. La zone de la courbe indiquée par la lettre B en rouge (à gauche) correspond au maximum du dernier stade glaciaire.
- B. On observe des stades de réchauffement tous les 25 000 ans.
- C. On observe une cyclicité des stades glaciaires et interglaciaires.
- D. On peut faire un lien entre les variations climatiques du Quaternaire et l'insolation que reçoit la Terre.
- E. Les carottes de glace permettent de montrer que l'évolution du CO_2 atmosphérique joue un rôle sur les variations climatiques du Quaternaire.

Partie IV : « Aperçu de la géologie des Cordillères Bétiques et du bassin d'Alboran »

Introduction questions 21 et 22

Les Cordillères Bétiques constituent une importante chaîne de montagnes au sud-est de l'Espagne. Elles se prolongent par la chaîne du Rif, au nord de l'Afrique, en dessinant un arc passant par Gibraltar. Ces deux chaînes appartiennent à la ceinture de chaînes de montagnes des Alpes du sud de l'Europe (Document 14).



DOCUMENT 14 : Carte tectonique simplifiée de la Méditerranée occidentale. Le trait rouge en pointillé, d'orientation Nord-Sud, correspond à la position de la coupe géophysique du document 15. Les lignes noires avec des triangles représentent les failles inverses et chevauchements liées à la compression. Les lignes pointillées noires représentent les failles transformantes.

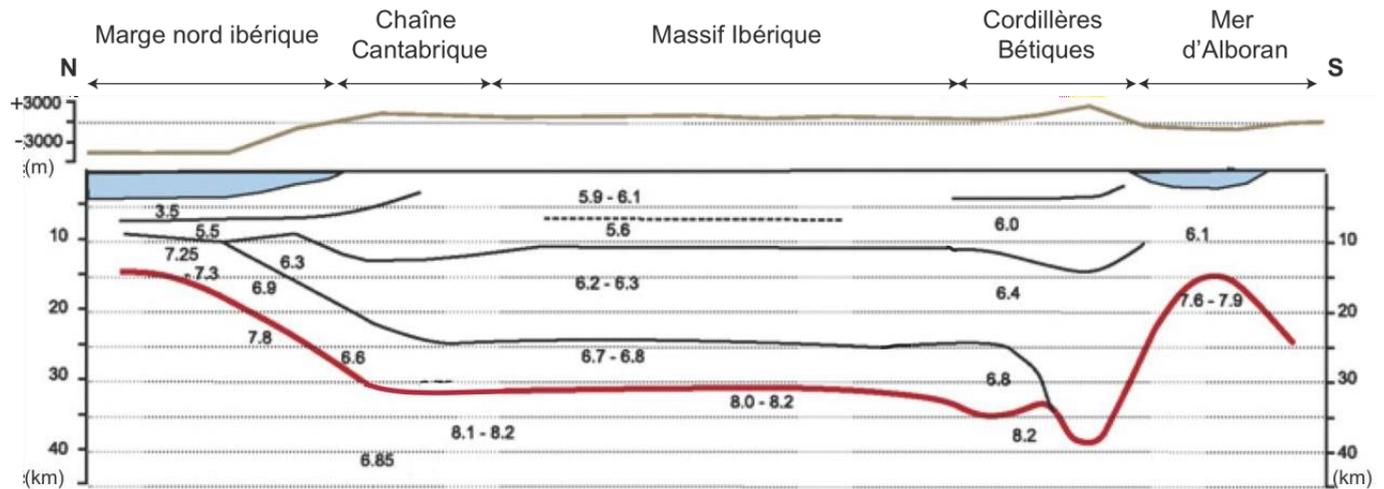
QUESTION 21 : A l'aide du paragraphe introductif de cette partie et du document 14, choisir les propositions correctes (plusieurs réponses correctes).

- A. La géomorphologie traduite sur la carte résulte de la fermeture d'un ou plusieurs océans.
- B. Les structures tectoniques de la carte sont des manifestations d'une tectonique en compression uniquement.
- C. Les chevauchements présentent tous la même direction.
- D. Selon le cycle de Wilson, l'étape suivante serait l'ouverture d'un océan dans les Cordillères Bétiques.
- E. La carte illustre un contexte tectonique général de collision.

QUESTION 22 : À l'aide de vos connaissances et du document 14, choisir les propositions correctes (plusieurs réponses correctes).

- A. Un carottage au centre du bassin Algérien mettrait en évidence la présence de gabbro, une roche magmatique volcanique.
- B. Il est possible de trouver des ophiolites dans les Alpes.
- C. Un forage en mer d'Alboran ne devrait pas révéler la présence de basalte.

Introduction question 23



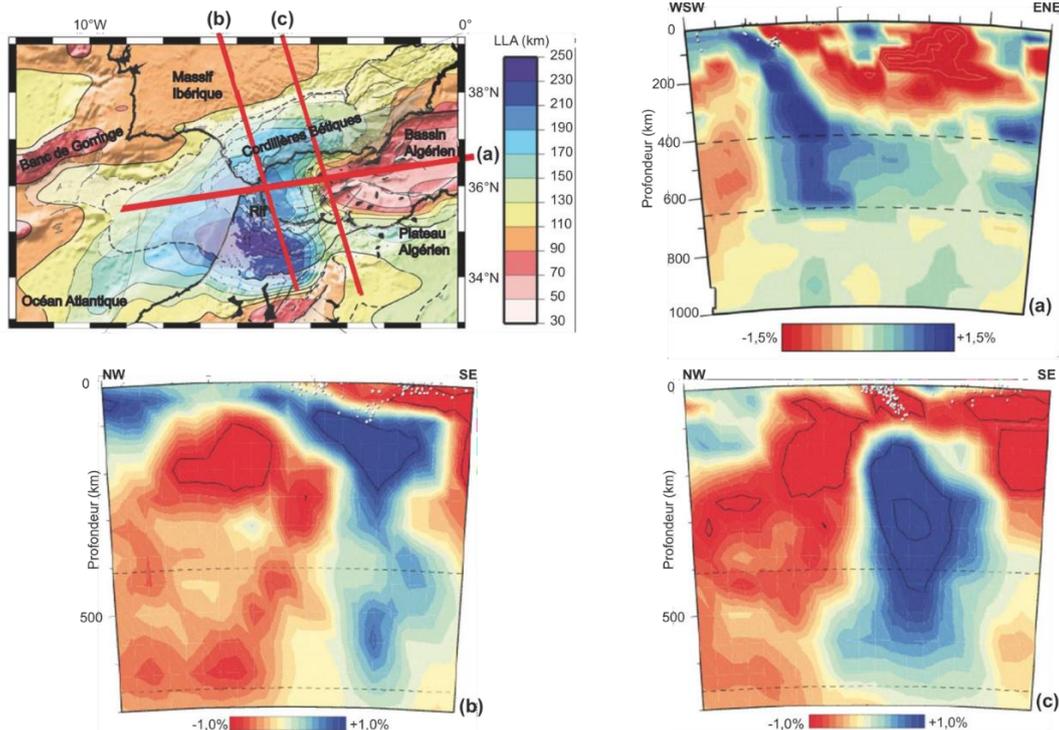
DOCUMENT 15 : Profil de distribution des vitesses des ondes sismiques en fonction de la profondeur, le long d'une coupe Nord-Sud (trait de coupe en rouge sur le document 14), sous la péninsule ibérique, de sa marge nord à la mer d'Alboran.

La coupe du document 15 montre la répartition des vitesses des ondes sismiques, V_p (km.s^{-1}), de la côte nord-ouest de l'Espagne à la mer d'Alboran, au sud de l'Espagne. On retiendra deux enveloppes majeures avec $V_p < 8 \text{ km.s}^{-1}$, et $V_p > 8 \text{ km.s}^{-1}$.

QUESTION 23 : À l'aide du document 15 et de vos connaissances, choisir les propositions correctes (plusieurs réponses correctes).

- A. La discontinuité notée en rouge sur le document 15 correspond à la limite lithosphère-asthénosphère, nommée LVZ car les vitesses sont plus faibles avant la discontinuité.
- B. La discontinuité notée en rouge sur le document 15 correspond au MOHO, qui délimite la croûte et le manteau lithosphérique.
- C. Le saut de vitesse au niveau de la discontinuité rouge peut être expliqué par la présence d'un matériau plus dense dans la zone où $V_p > 8 \text{ km.s}^{-1}$.
- D. La roche retrouvée dans la zone où $V_p > 8 \text{ km.s}^{-1}$ est de la péridotite.
- E. La composition de la croûte sous le massif Ibérique est homogène.

Introduction questions 24 à 27



DOCUMENT 16 : Coupes tomographiques (a à c) dans l'arc bético-rifain. La carte en haut à gauche montre la profondeur (en km) de la limite lithosphère-asthénosphère (LLA), et la localisation des trois profils tomographiques. Les petits points blancs sur les profils correspondent aux hypocentres des séismes.

La tomographie sismique est une méthode d'étude de vitesses de propagation des ondes sismiques. Ces vitesses sont comparées à un modèle de référence, le modèle PREM, présentant des données de vitesses théoriquement attendues en fonction de la profondeur dans le globe terrestre. On s'intéresse désormais à des données de tomographie sismique dans l'arc bético-rifain. Les anomalies de vitesse des ondes sismiques sont représentées par des couleurs (Document 16).

QUESTION 24 : À l'aide du paragraphe précédent et des données du document 16, choisir la bonne réponse (une seule réponse correcte).

- A. La couleur bleue illustre des zones où les vitesses des ondes sont plus rapides et les couleurs rouges des zones où les vitesses sont moins rapides que celles données par le modèle PREM.
- B. La couleur bleue illustre des zones où les vitesses des ondes sismiques sont moins rapides et les couleurs rouges des zones où les vitesses sont plus rapides que celles données par le modèle PREM.
- C. Il y a des anomalies de vitesses des ondes sismiques dans l'entièreté des couches en profondeur représentées sous l'arc Bético-Rifain.

QUESTION 25 : À l'aide des données du document 16, choisir les bonnes réponses concernant la coupe (a), coupe établie selon l'axe WSW-ENE (plusieurs réponses correctes).

- A. On identifie sur la coupe (a) un matériel plus dense qui semble plonger.
- B. On identifie sur la coupe (a) un matériel moins dense, sur une portion large, correspondant à une chaîne de montagne.
- C. La coupe (a) montre la présence d'une subduction présentant un pendage vers le WSW.
- D. La coupe présente une phase de rifting précoce marquée par la présence de matériaux à la fois plus dense et moins dense que prévu dans la zone.
- E. La coupe montre la présence de lithosphère océanique à 600 km de profondeur.

QUESTION 26 : À l'aide de vos connaissances et du document 16, choisir les bonnes réponses à propos des deux lignes horizontales en pointillé présentes sur la coupe (a), coupe établie selon l'axe WSW-ENE (plusieurs réponses correctes).

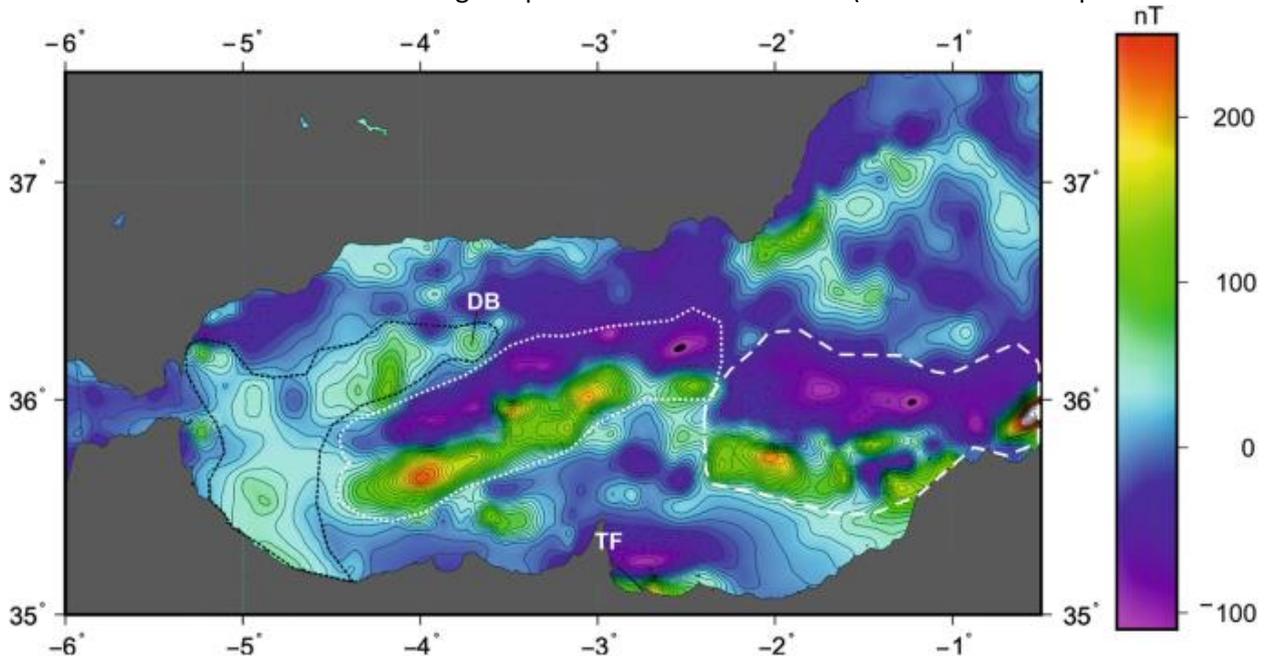
- A. De part et d'autre de la ligne en pointillée à 410 km on trouve des roches de nature différente.
- B. De part et d'autre de la ligne en pointillée à 410 km on trouve différentes phases de l'olivine.
- C. La ligne en pointillée à 670 km sépare le manteau supérieur du manteau inférieur.
- D. En dessous de 670 km de profondeur, on ne retrouve plus de péridotite.

QUESTION 27 : À l'aide des données des trois coupes (a) (b) (c) du document 16, choisir les propositions correctes (plusieurs réponses correctes).

- A. Les coupes (a) et (b) présentent deux panneaux plongeants caractéristiques d'une zone de subduction quasiment perpendiculaires l'un par rapport à l'autre dans les 200 premiers kilomètres.
- B. La coupe (b) montre un contexte géodynamique différent de la zone (a).
- C. La coupe (c) ne montre pas de panneau plongeant de subduction.
- D. Le panneau plongeant de la subduction visible sur la coupe (c) semble s'être détaché du reste de la lithosphère océanique.
- E. Le panneau plongeant de la subduction visible sur la coupe (c) semble s'être détaché du reste de la lithosphère continentale.

Introduction questions 28

On s'intéresse désormais aux anomalies magnétiques dans la mer d'Alboran (voir document 14 pour la localisation).



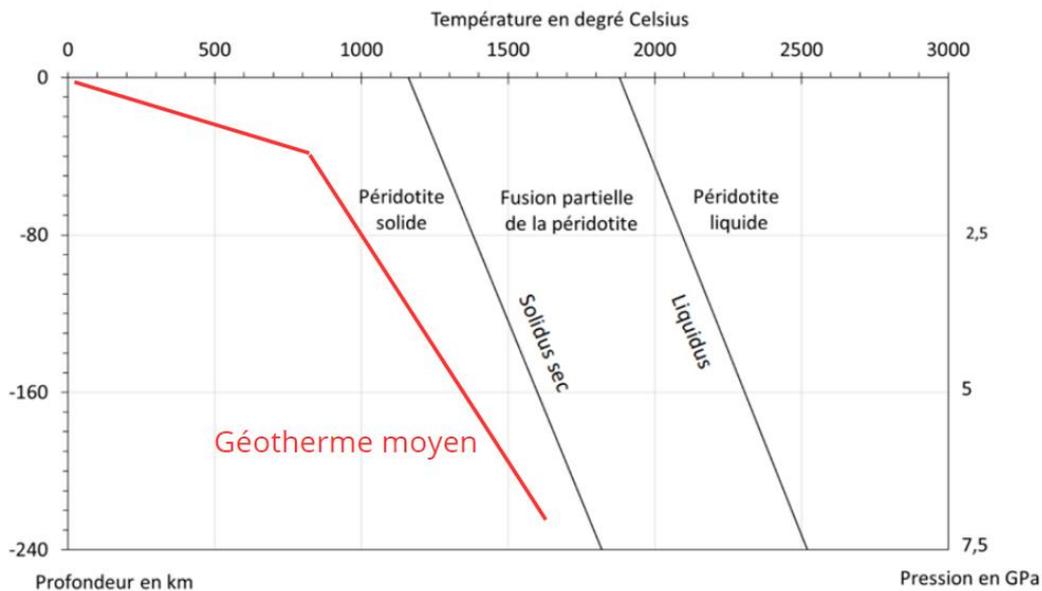
DOCUMENT 17 : Carte des anomalies magnétiques dans la mer d'Alboran entre l'Espagne et l'Afrique. nT = nanoTesla, unité de mesure de l'induction magnétique. $1\text{nT}=10^{-9}$ tesla.

QUESTION 28 : À l'aide de vos connaissances et des données du document 17, choisir les réponses correctes (plusieurs réponses correctes).

- A. Dans le cas d'une dorsale océanique, l'organisation des anomalies magnétiques de part et d'autre de la dorsale sont parallèles.
- B. Dans le cas d'une dorsale océanique, l'organisation des anomalies magnétiques de part et d'autre de la dorsale sont perpendiculaires à l'axe de la dorsale.
- C. Dans le cas de la mer d'Alboran, les anomalies magnétiques ne présentent pas d'organisation particulière.
- D. Dans le cas de la mer d'Alboran, on retrouve une organisation en bandes perpendiculaires d'anomalies positives et négatives.
- E. Dans le cas de la mer d'Alboran, on retrouve une organisation en bandes parallèles d'anomalies positives et négatives.

Introduction questions 29

L'anomalie positive mesurée sur la carte du document 17 est interprétée comme un reliquat de magmatisme associé à l'expansion océanique (rifting) ayant mené à l'ouverture de la mer d'Alboran il y a 17 Ma. On s'intéresse désormais à l'origine de l'apparition du magmatisme pendant la période de rifting.



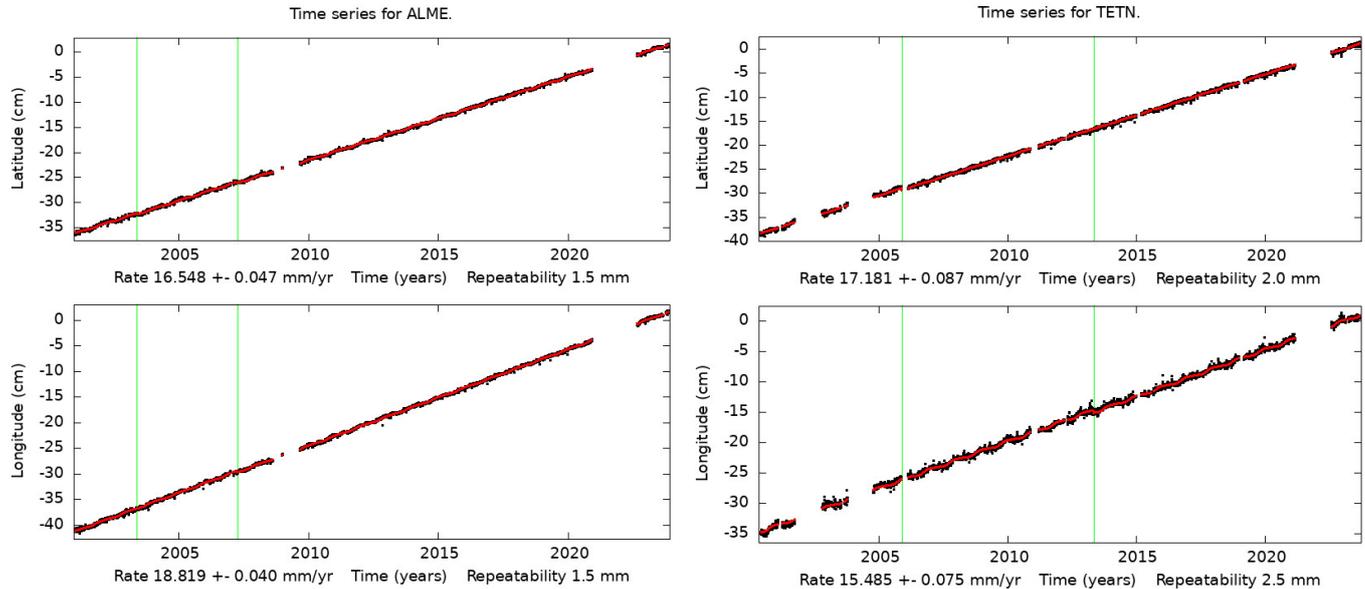
DOCUMENT 18 : Diagramme Pression-Température mettant en évidence les domaines de stabilité des péridotites du manteau.

QUESTION 29 : À l'aide de vos connaissances et du document 18, choisissez la bonne réponse concernant le magmatisme associé à l'expansion océanique (rifting) (une seule réponse correcte).

- A. Lorsque le manteau, hydraté, entre en subduction, cela engendre un décalage du solidus des péridotites vers la gauche. Ce solidus recoupe alors le géotherme, ce qui induit la fusion partielle des péridotites.
- B. Lors de la remontée du manteau, la remontée des isothermes fait que le géotherme recoupe le liquidus des péridotites ce qui induit leur fusion totale à l'origine du magmatisme.
- C. Lors de la remontée du manteau, la remontée des isothermes fait que le géotherme recoupe le solidus des péridotites ce qui induit leur fusion partielle à l'origine du magmatisme.

Introduction questions 30

Pour terminer cette partie, on cherche à déterminer le mouvement relatif de deux plaques à partir de données GPS de deux stations de la zone sont étudiées : la station ALME (sur la plaque Ibérique) et la station TETN (sur la plaque Africaine) (Document 19).



DOCUMENT 19 : Déplacement GPS de Tétouan (TETN, Au Maroc) et d'Almeria (ALME, En Espagne). Rate = Pente.
 Source <https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html>

QUESTION 30 : À l'aide de vos connaissances et du document 19, choisissez les réponses correctes (plusieurs réponses correctes).

- A. Le système GPS est un système constitué uniquement de satellites, permettant de déterminer le mouvement relatif des plaques.
- B. Les vitesses données par le système GPS sont des vitesses absolues.
- C. La plaque Ibérique et la plaque Africaine se déplacent dans la même direction et le même sens.
- D. La plaque Africaine et la plaque Ibérique se déplacent dans la même direction mais en sens opposé.
- E. La plaque Africaine et la plaque Ibérique se déplacent dans des directions différentes.
- F. Il est possible que la frontière de ces deux plaques soit en convergence.

Partie V : Les ressources sur la Terre

On s'intéresse dans cette partie à la notion de ressource, à la géologie des ressources minérales et organiques et à leur exploitation.

Introduction questions 31 et 32

La ressource (ou les ressources) en une substance donnée (élément chimique, molécule, minéral) correspond à la quantité totale potentiellement accessible. Cette quantité est estimée à partir des données disponibles sur les sites d'extraction mais aussi à partir de données d'exploration (repérages de sites potentiels), de prospection (mesures quantitatives locales), d'observation indirectes (géochimie, géophysique) et d'extrapolations.

Les réserves correspondent, quant à elles, à la quantité des ressources identifiées dont l'extraction est technologiquement (faisabilité) et économiquement (rentabilité) possible à un instant donné.

Question 31 : Parmi les propositions suivantes, qu'est-ce que les découvertes sur le terrain (exploration, prospection...) permettent d'augmenter directement (une seule réponse correcte) ?

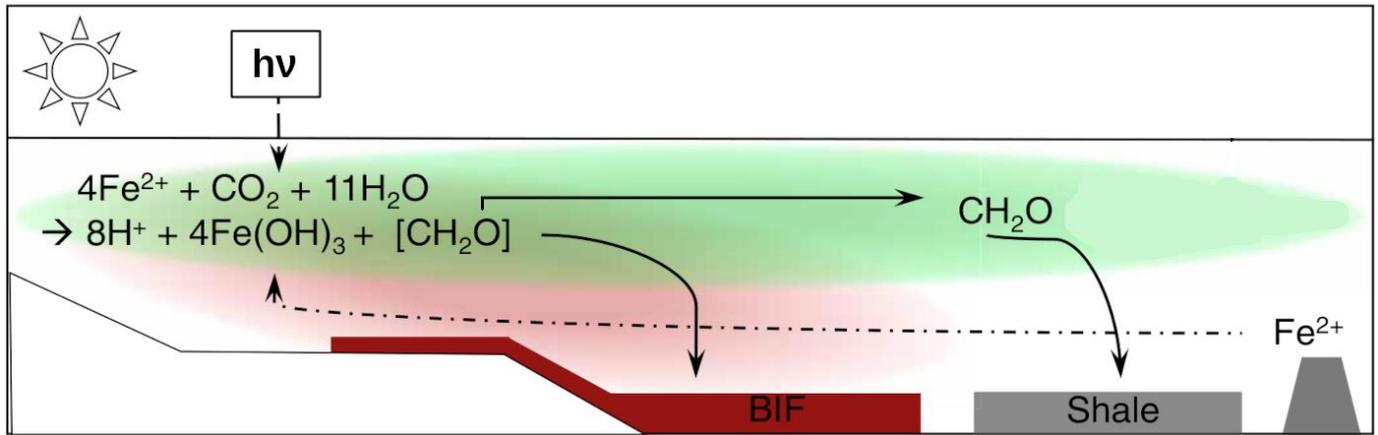
- A. La ressource en la substance recherchée sans nécessairement en modifier les réserves.
- B. Les réserves en la substance recherchée sans nécessairement en modifier la ressource.
- C. La consommation de la substance étudiée.
- D. Le coût de l'extraction de la substance étudiée.

QUESTION 32 : Parmi les propositions suivantes, qu'est-ce que la mise au point d'un procédé d'extraction amélioré (meilleur rendement) et rentable permet d'augmenter (une seule réponse correcte) ?

- A. La ressource en la substance extraite sans en modifier les réserves.
- B. Les réserves en la substance extraite sans en modifier la ressource.
- C. La consommation de la substance étudiée.
- D. Le coût de l'extraction de la substance étudiée.

Introduction questions 33 à 37

Le fer existe sous plusieurs états d'oxydation. Ses formes classiques en surface sont le fer III (Fe^{III} aussi noté Fe^{3+}) dit "oxydé", et le fer II (Fe^{II} aussi noté Fe^{2+}) dit "réduit". En milieu réducteur et plutôt acide, le fer est réduit et relativement soluble, alors qu'en milieu oxydant et plutôt neutre ou basique le fer oxydé est insoluble et précipite sous forme d'oxyhydroxydes (oxydes et/ou hydroxydes). Parmi les molécules de « surface », pour simplifier, on considère que le dioxygène est un oxydant alors que la matière organique est réductrice.



DOCUMENT 20 : Modèle de formation des BIF (*banded iron formation* ou fers rubanés) à l'Archéen dans une zone côtière affectée par des upwellings. La notation « $h\nu$ » représente l'énergie des photons. Le Fe^{2+} représenté en bas à droite provient de l'hydrothermalisme affectant la lithosphère océanique. CH_2O est une notation simplifiée de la matière organique.

QUESTION 33 : Parmi les oxyhydroxydes suivant, indiquer quelles sont les formes oxydées du fer (Fe^{III}) (plusieurs réponses correctes).

- A. FeO
- B. $\text{Fe}(\text{OH})_3$
- C. Fe_2O_3
- D. $\text{Fe}(\text{OH})_2$
- E. $\text{FeO}(\text{OH})$

Question 34 : D'après le document 20 et la réaction représentée (en haut à gauche du document), indiquer quelles affirmations parmi les suivantes sont vraies (plusieurs réponses correctes).

- A. La lumière casse les molécules en surface, comme le font les UV en altitude en formant de l'ozone O_3 à partir d' O_2 , ce qui permet de nouvelles combinaisons sans modification des états d'oxydation des atomes impliqués.
- B. Le fer et le carbone sont réduits et vont précipiter respectivement sous forme d'hydroxyde de fer (dans des BIF) et de matière organique (dans des shales – sédiments riches en matière organique).
- C. La réaction représentée montre l'oxydation du fer et la réduction du carbone contenu dans le dioxyde de carbone.
- D. La réaction représentée, nécessitant de l'énergie lumineuse, est un type de photosynthèse (qui est une oxydo-réduction) dans laquelle les organismes impliqués utilisent le fer réduit comme réducteur.

Les BIF (ou fers rubanés) sont les principaux gisements de fer exploités aujourd'hui. Ces gisements se sont formés presque exclusivement entre -3,3 et -1,8 Ga (Archéen – Paléo-protérozoïque), alors que l'on observe en parallèle une oxygénation progressive de l'atmosphère avec un pic d'oxygénation entre -2,5 et -2,2 Ga (Grand Événement Oxydant – GOE) aboutissant à une atmosphère contenant 10 à 20 % de la teneur actuelle en dioxygène à partir de -1,8 Ga (contre moins de 1 millionième jusque vers -3 Ga).

QUESTION 35 : À partir de la lecture du paragraphe ci-dessus et de vos connaissances, indiquer quelle affirmation est vraie parmi les suivantes (une seule réponse correcte).

- A. La formation des BIF et le GOE sont des évènements indépendants car aucun mécanisme ne semble pouvoir les relier.**
- B. La formation des BIF a libéré progressivement du dioxygène qui a oxygéné l'océan puis l'atmosphère.**
- C. La libération de dioxygène liée au développement d'organismes photosynthétiques marins a conduit à la précipitation du fer océanique et a permis l'oxygénation de l'océan puis, par équilibration, de l'atmosphère.**
- D. L'apparition des plantes vertes sur les continents a enrichi l'atmosphère en dioxygène, ce qui a rendu l'océan oxydant et induit la formation des BIF.**

En Lorraine, la "minette" fut longtemps exploitée comme minerai de fer mais sa moindre teneur en fer par rapport aux fers rubanés « découverts plus tard » et sa teneur en phosphore nécessitant des traitements supplémentaires ont signé l'arrêt de son exploitation. Dans les environs de Nancy, ce minerai est composé essentiellement de limonite ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$) contenu dans un sédiment détritique gréseux et argileux à nombreux débris de fossiles marins et cimenté par des carbonates, essentiellement de la calcite (CaCO_3). Les gisements exploités sont sous formes de quatre principales lentilles au sein de cette strate datée du Toarcien supérieur – Aalénien basal (vers -175 Ma). Les dépôts sous-jacents du Toarcien inférieur et moyen sont des sédiments marins souvent marneux et riches en matière organique. Une origine diagénétique (liée à l'évolution des terrains sédimentaires après leur dépôt) est généralement admise.

QUESTION 36 : Parmi les propositions suivantes, quels sont les arguments et scénarios possibles en faveur de ce qui est présenté dans le paragraphe ci-dessus (plusieurs réponses correctes) ?

- A. La forme en lentille plutôt qu'en couches horizontales n'est pas possible par un simple processus de sédimentation.**
- B. La présence d'un ciment calcitique montre qu'il y a eu des circulations fluides après le dépôt sédimentaire.**
- C. Des circulations fluides venant des terrains sus-jacents ont pu apporter du fer dissout qui a précipité du fait qu'il a rencontré de la matière organique à l'approche des terrains du Toarcien sous-jacent.**
- D. Des circulations fluides venant des terrains sous-jacents du Toarcien ont pu apporter du fer dissout qui a précipité dans des "poches" du fait de caractéristiques physico-chimiques locales.**

La bauxite est une formation géologique riche en aluminium présent principalement sous forme d'alumine Al_2O_3 ou de gibbsite $\text{AlO}(\text{OH})$. Ces minéraux représentent 50 à 60 % de la bauxite en masse. Lorsqu'il est en place (c'est-à-dire non érodé ni redéposé), ce type de formation est issu de l'altération intense de terrains alumino-silicatés sous climat équatorial et/ou tropical humide. Une bauxite est le stade ultime d'une évolution de sols de type latéritique dont l'étape précédente est une cuirasse ferrugineuse (ou ferricrète). La première description de ce type de formation a été effectuée dans le Sud de la France dans des terrains crétacés sur la commune des Baux-de-Provence en 1821.

Question 37 : D'après les informations présentées dans le paragraphe ci-dessus, indiquer quelle affirmation suivante est vraie (une seule réponse correcte).

- A. Les principaux gisements de bauxite sont situés près de l'équateur comme en Inde, en Guyane et en Australie, principaux pays producteurs en 2005.**
- B. Les variations climatiques plus intenses que le changement climatique actuel expliquent l'existence dans le passé d'un climat tropical humide voire équatorial dans le Sud de la France vers 43,7° de latitude.**
- C. L'aluminium est un élément facilement mobilisable par l'altération mais qui peut ensuite, comme le fer de la minette de Lorraine, précipiter et se concentrer dans des poches aux conditions physico-chimiques adéquates.**
- D. Au Crétacé, le Sud de la France se trouvait en zone intertropicale et était soumise à un climat chaud et humide.**

Introduction questions 38 à 40

Le lithium est un élément important pour la fabrication des batteries de type lithium-ion, les principales batteries actuellement utilisées dans le cadre de l'électrification du parc automobile. Le lithium est plus concentré dans les roches magmatiques acides (granites au sens large) que dans les roches basiques (basaltes au sens large). C'est un élément au comportement dit « incompatible », c'est-à-dire qu'en cas de coexistence de solide et de liquide magmatique (fusion ou cristallisation), il se concentre dans la phase liquide (on dit aussi qu'il est hygromagmatophile). Deux grands types de gisements existent pour le lithium : dans quelques minéraux de pegmatites (roches magmatiques présentes en filons dans ou à la périphérie de complexes granitiques) et dans des croutes de sels divers formés dans certains salars (points bas de bassins endoréiques – sans exutoire vers l'océan).

QUESTION 38 : Le lithium est particulièrement concentré dans les pegmatites. En considérant cela, indiquer quelle affirmation suivante est vraie (une seule réponse correcte).

- A. Les filons de pegmatites sont les traces des filons d'alimentation des massifs granitiques.**
- B. Les pegmatites sont issues d'une cristallisation précoce du magma granitique liquide encore riche en lithium, avant qu'il ne forme les autres roches du complexe granitique.**
- C. Les filons de pegmatite correspondent à la cristallisation des derniers liquides magmatiques à l'origine du complexe granitique auquel ils sont associés.**
- D. Les pegmatites sont plus riches en lithium que les autres roches du complexe qu'elles recoupent sous forme de filons, car elles sont issues de la fusion d'une roche plus riche en lithium que celle qui a donné le magma des autres roches du complexe granitique, ou bien de la fusion de la même roche mais dans des conditions de fusion différentes avec moins de liquide.**

Les salars d'Atacama (Chili), d'Uyuni (Bolivie) et de l'Hombre Muerto (Argentine) sont les 3 grands salars andins, grands lacs salés partiellement ou totalement asséchés situés à plus de 2000 m d'altitude. Des sels de lithium y sont récoltés.

QUESTION 39 : Indiquer laquelle de ces propositions explique le mieux l'origine principale des sels dans les salars décrits dans le paragraphe précédent (une seule réponse correcte).

- A. Comme dans un marais salant, l'accumulation de sel est due à des apports d'eau de mer (ici, apports anciens datant d'avant la surrection des Andes) et à une évaporation de l'eau du fait de l'aridité du climat.**
- B. Comme l'eau des salars ne peut sortir du bassin hydrologique, elle s'infiltre dans le fond des salars, y dissout les éléments des roches magmatiques présentes et se concentre jusqu'à précipitation de sels de lithium formant des croûtes mises plus tard à nu par l'érosion.**
- C. Même peu concentrées, les eaux qui alimentent les salars apportent petit à petit des éléments minéraux, éléments qui se concentrent et précipitent sous forme de sels du fait de l'évaporation de l'eau.**
- D. Les salars sont alimentés en eau marine par des embruns salés lors de vents violents venant du Pacifique, cette alimentation intermittente en eau salée qui ne peut retourner à l'océan mime donc l'alimentation d'un marais salant mais nécessite des temps longs pour accumuler petit à petit les sels.**

La demande en lithium augmentant, de nombreux pays tentent de sécuriser leurs approvisionnements en exploitant des ressources locales. L'extraction du lithium et son traitement sont des activités polluantes et fortement consommatrices d'eau.

QUESTION 40 : Quelle proposition ci-dessous respecte le mieux une politique de développement durable (une seule réponse correcte) ?

- A. Il est préférable d'exploiter des ressources "polluantes" dans des régions lointaines et peu peuplées plutôt que dans des régions à forte densité de population.**
- B. Il est préférable d'exploiter et traiter des ressources à proximité des lieux de consommation afin de limiter dès aujourd'hui les pollutions liées aux transports à longues distances.**
- C. Il est préférable d'exploiter les ressources lointaines afin de différer dans le temps l'exploitation des ressources locales qui permettra un développement économique local qui durera plus longtemps.**
- D. Il est préférable d'exploiter des ressources locales afin de pouvoir exporter ces ressources et maintenir une activité économique locale actuelle.**

Partie VI : « Phobos, une lune martienne énigmatique »

Introduction questions 41 à 53

Phobos, la plus grande des deux lunes de Mars, intrigue les scientifiques depuis sa découverte en 1877. Son orbite inhabituelle, sa composition particulière et sa surface marquée d'étranges sillons soulèvent de nombreuses questions quant à son origine et son évolution. Est-elle un objet capturé par la planète ou s'est-elle formée à partir de Mars ? La mission spatiale japonaise *Martian Moon eXplorer* (MMX), dont le lancement est prévu en Octobre 2026, a pour objectif d'étudier Phobos en détail et de rapporter des échantillons sur Terre afin d'élucider les mystères qui entourent cette lune fascinante.



DOCUMENT 21 : Photographie de Phobos devant la planète rouge, obtenu par la sonde européenne *Mars Express*.

Source : ESA/DLR/FU Berlin/AndreaLack CC BY

	<p>Carte d'identité de Phobos</p> <p><u>Demi-grand axe de l'ellipse</u> : 9 377,1 km</p> <p><u>Excentricité</u> : 0,0151</p> <p><u>Période de révolution</u> : 0,319 jour (7 h 39 min)</p> <p><u>Inclinaison</u> : 1,075° par rapport à l'équateur de Mars</p> <p><u>Dimensions (2a×2b×2c)</u> : 26,8×22,4×18,4 km</p> <p><u>Masse</u> : $1,072 \times 10^{16}$ kg</p> <p><u>Masse volumique moyenne</u> : à calculer – question 51</p> <p><u>Gravité à la surface</u> : 0,005 m/s²</p> <p><u>Période de rotation</u> : 0,319 jour (7 h 39 min)</p> <p><u>Albédo moyen</u> : 0,07</p> <p><u>Température de surface</u> : ~ 233 K</p> <p><u>Pression atmosphérique</u> : Pas d'atmosphère</p> <p>Autres données utiles</p> <p><u>Rayon de Mars</u> : 3400 km</p> <p><u>Période de rotation de Mars</u> : 23,6 h</p> <p><u>Rayon du Soleil</u> : 700 000 km</p> <p><u>Distance moyenne Terre-Mars</u> : 228 000 000 km</p> <p><u>Masse volumique moyenne de la Terre</u> : 5,51 g/cm³</p>
---	--

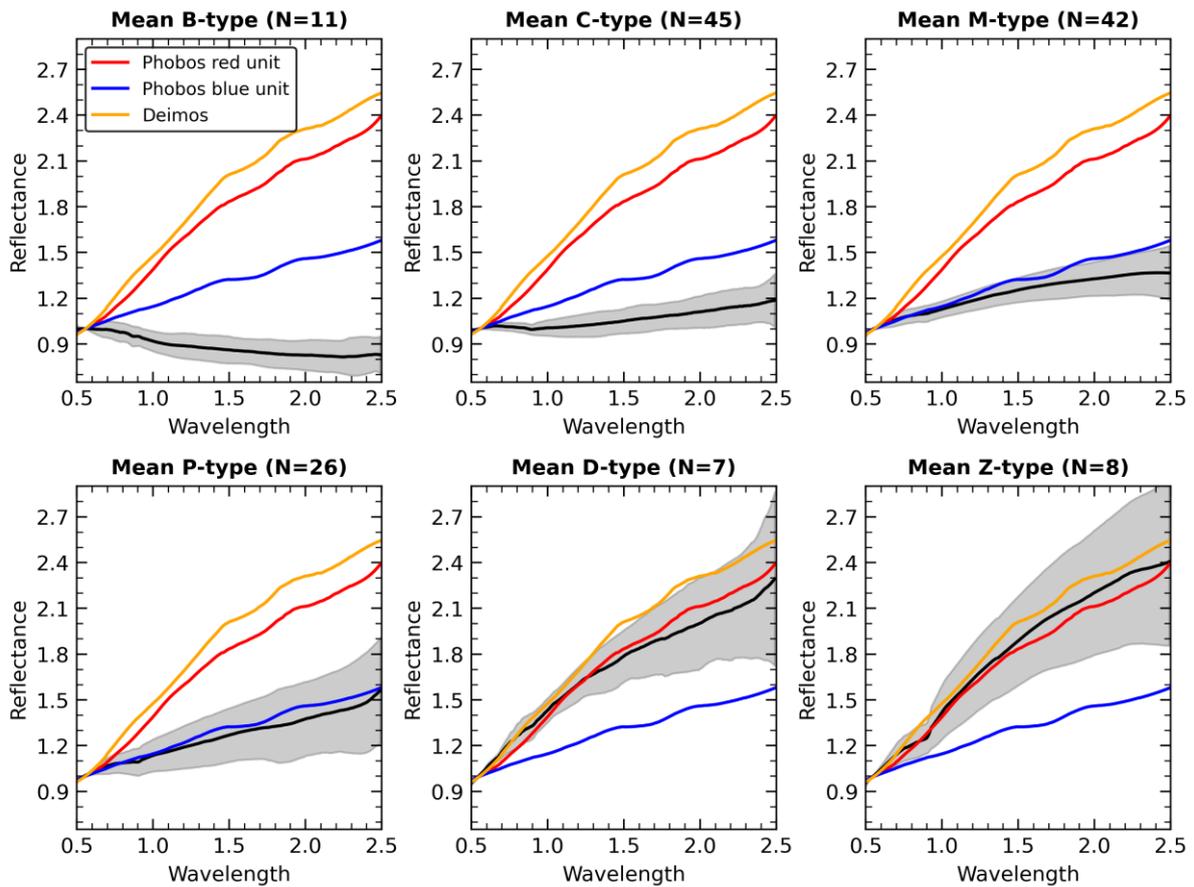
La meilleure image de Phobos (7m/px), en fausses couleurs, fait apparaître les terrains variés et énigmatiques de la lune martienne. (source NASA/ *Mars Reconnaissance Orbiter*).

Par exemple, on observe l'énorme cratère Stickney (9km) aux abords duquel on trouve des terrains « bleus », contrastant avec les terrains « rouges » alentours. Ces terrains « bleus » sont considérés comme plus récents et non encore altérés par l'érosion spatiale.

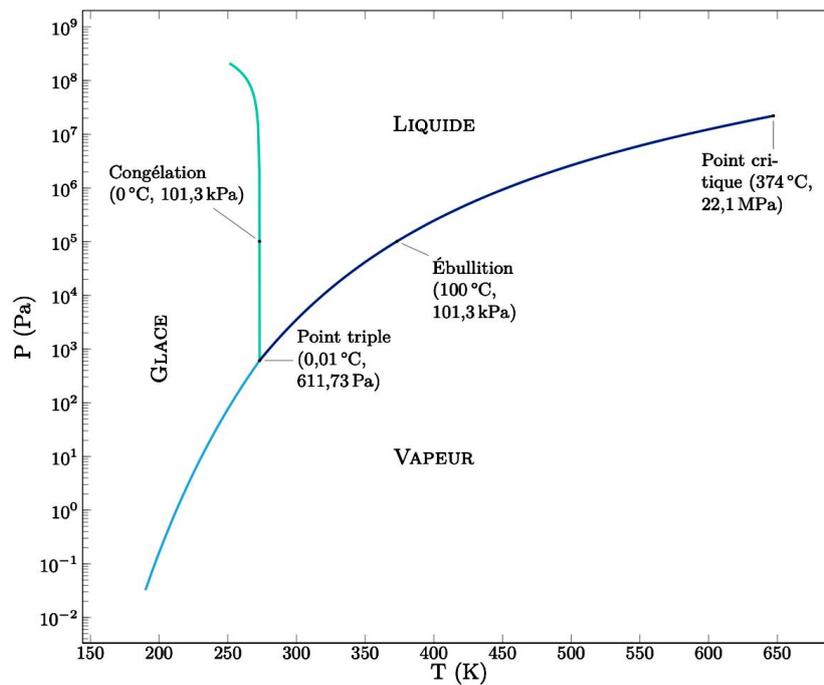
DOCUMENT 22 : Carte d'identité de Phobos.

« Absorption features on Phobos and Deimos in the visible/near infrared wavelength region (0.4–3.9 μm) are mapped using observations from the Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars (CRISM). Fe^{2+} electronic absorptions diagnostic of olivine and pyroxene at 1 μm are not detected. A broad absorption centered around 0.65 microns within the red spectral units of both moons is detected [...] Two end-member hypotheses are presented to explain the spectral features on Phobos and Deimos. The first invokes the presence of highly desiccated Fe-phyllosilicate minerals indigenous to the bodies, and the second invokes Rayleigh scattering and absorption of small iron particles formed by exogenic space weathering processing, coupled with implantation of H from solar wind. »

DOCUMENT 23 : Extrait de l'article scientifique "Spectral absorptions on Phobos and Deimos in the visible/near infrared wavelengths and their compositional constraints". Source : Wagnier et al. 2024.



DOCUMENT 24 : Comparaison des spectres de Phobos (terrains « rouges » et « bleus ») et Deimos avec ceux de 6 types d'astéroïdes différents (courbes noires, plages d'incertitude en gris). Le type-C est associé aux astéroïdes carbonés, le type-M est associé aux astéroïdes métalliques, et le type-D est associé aux astéroïdes troyens de Jupiter.



DOCUMENT 25 : Diagramme de phase de l'eau.

QUESTION 41 : En utilisant vos connaissances ainsi que les informations extraites des documents 21 et 22, le diamètre apparent du Soleil depuis Mars est : (une seule réponse correcte)

- A. plus petit que depuis la Terre.
- B. du même ordre de grandeur que depuis la Terre.
- C. plus grand que depuis la Terre.

QUESTION 42 : En utilisant vos connaissances ainsi que les informations extraites du document 22, choisissez les propositions exactes parmi les suivantes (plusieurs réponses correctes).

- A. Phobos est en rotation synchrone avec Mars, ce qui signifie qu'il présente toujours la même face à la planète.
- B. La période de révolution de Phobos est plus longue que la période de rotation de Mars.
- C. L'orbite de Phobos est fortement inclinée par rapport au plan équatorial de Mars.
- D. Phobos possède une atmosphère ténue.

QUESTION 43 : En utilisant vos connaissances ainsi que les informations extraites des documents 23 et 24, choisissez les propositions exactes parmi les suivantes (plusieurs réponses correctes).

- A. Des analyses spectrales de Phobos ont révélé la présence d'olivine et de pyroxène, des minéraux riches en fer.
- B. La signature spectrale de Phobos suggère la présence de phyllosilicates, des minéraux argileux qui se forment en présence d'eau.
- C. L'érosion spatiale, due au bombardement de particules provenant du Soleil, pourrait expliquer la présence de fer à la surface de Phobos.

QUESTION 44 : En vous appuyant sur les documents 21 à 24 et vos connaissances, choisissez les propositions exactes parmi les suivantes (Plusieurs réponses correctes).

- A. Le spectre de Phobos est compatible avec celui d'astéroïdes de type-C, riches en carbone.
- B. Les astéroïdes troyens de Jupiter, situés aux points de Lagrange L4 et L5 de l'orbite de Jupiter, présentent des spectres similaires à celui de Phobos.
- C. L'unité bleue de Phobos, observée principalement autour du cratère Stickney, pourrait correspondre à des zones plus jeunes et moins altérées par l'érosion spatiale.
- D. Le spectre de Phobos ne correspond à aucun type d'astéroïde connu.
- E. La composition de Déimos semble similaire à celles des terrains « rouges » de Phobos.
- F. La pente du spectre du terrain « rouge » de Phobos est plus forte que celle du terrain « bleu » de Phobos.

QUESTION 45 : Sachant que Phobos se rapproche de Mars à une vitesse de 1,8 mètre par siècle, combien de temps lui faudra-t-il pour s'écraser sur la planète (une seule réponse correcte) ? On considérera que Phobos est situé à 6000 km de la surface de Mars.

- A. Environ 3 millions d'années
- B. Environ 30 millions d'années
- C. Environ 300 millions d'années
- D. Environ 3 milliards d'années
- E. Environ 30 milliards d'années

QUESTION 46 : Quelle est la principale force responsable du rapprochement progressif de Phobos vers Mars (une seule réponse correcte) ?

- A. La force gravitationnelle du Soleil
- B. Les forces de marée exercées par Mars
- C. Le vent solaire
- D. La pression de radiation
- E. La force électromagnétique

QUESTION 47 : En utilisant la troisième loi de Kepler et les informations du document 2, calculez la période de révolution de Déimos autour de Mars (en jours terrestres) en sachant que le demi-grand axe de son orbite est de 23 460 km (une seule réponse correcte).

- A. 0,01 jour
- B. 1,26 jour
- C. 7,66 jours
- D. 27,32 jours
- E. 687 jours

QUESTION 48 En considérant Phobos comme un ellipsoïde, son volume est donné par $V = (4/3) * \pi * a * b * c$, où a, b et c sont les demi-axes de l'ellipsoïde (cf document 22). Calculer sa masse volumique moyenne (une seule réponse correcte).

- A. 23 kg/m³
- B. 185 kg/m³
- C. 231 kg/m³
- D. 1225 kg/m³
- E. 1 850 kg/m³

QUESTION 49 : La valeur obtenue pour la masse volumique de Phobos est faible comparée à celle des roches riches en silicates (2800 kg/m³). Quelles pourraient être les explications possibles (plusieurs réponses correctes) ?

- A. Les effets de marée de Mars qui étirent sa forme
- B. le vent solaire qui bombarde sa surface.
- C. Phobos a une structure poreuse
- D. L'intérieur de Phobos est constitué de matériaux moins denses comme de la glace d'eau
- E. La présence possible d'un champ magnétique
- F. La présence d'une atmosphère

QUESTION 50 : En vous appuyant sur le document 25 et vos connaissances, choisissez les propositions exactes parmi les suivantes (plusieurs réponses correctes).

- A. La glace d'eau n'est pas stable à la surface de Phobos
- B. La glace d'eau est stable à la surface de Phobos
- C. l'eau liquide n'est pas stable à la surface de Phobos
- D. l'eau liquide est stable à la surface de Phobos
- E. La gravité de Phobos ne permet pas de capter une atmosphère

QUESTION 51 : La mission MMX prévoit de rapporter des échantillons de Phobos sur Terre. Quel est l'intérêt principal de cette mission pour les scientifiques (une seule réponse correcte) ?

- A. Confirmer la présence de vie passée ou présente sur Phobos.
- B. Déterminer la composition précise de Phobos et mieux comprendre son origine.
- C. Étudier les effets de l'érosion spatiale sur la surface de Phobos.
- D. Identifier des ressources potentiellement exploitables sur Phobos.
- E. Tester de nouvelles technologies spatiales.