TEST DE SÉLECTION 2026

Olympiades internationales de Géosciences

---

26 janvier – 29 janvier 2026

Durée : 2 heures

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 **43 questions sous forme de questions à choix multiples** et **29 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.

- Une question avec plusieurs réponses correctes sera notée zéro si toutes les réponses sont cochées. Une question avec une seul réponse correcte sera notée zéro si deux réponses ou plus sont cochées.

Partie I : « Séisme, faille, tectonique et géodynamique »

Questions 1 et 2 : questions préliminaires

QUESTION 1 : Quel est le principal mécanisme à l'origine des séismes ? (une seule réponse correcte)

A. La fusion des roches en profondeur
B. La libération brutale d'énergie mécanique accumulée dans les roches
C. L'érosion des montagnes
D. La contraction thermique de la Terre par refroidissement généralisé
E. La cristallisation des minéraux dans la croûte terrestre

QUESTION 2 : Qu'est-ce qu'une faille ? (plusieurs réponses correctes)

A. Une fracture dans la croûte terrestre avec déplacement relatif des deux blocs
B. Un espace creux ouvert entre deux blocs rocheux
C. Le lieu de genèse d'un séisme
D. Un plissement de couches
E. Un filon magmatique produit lors d'une éruption volcanique

Questions 3 à 5 : Séisme de Mandalay (Myanmar)

Le 28 mars 2025, un séisme de magnitude 7.7 s'est produit au Myanmar. L'épicentre était situé près de la ville de Sagaing, à proximité de Mandalay, la deuxième plus grande ville du pays. Les secousses ont été ressenties jusqu'en Thaïlande, en Chine et au Vietnam. Le Myanmar est situé dans une zone sismique active, et ce séisme est l'un des plus puissants enregistrés dans la région ces dernières décennies.

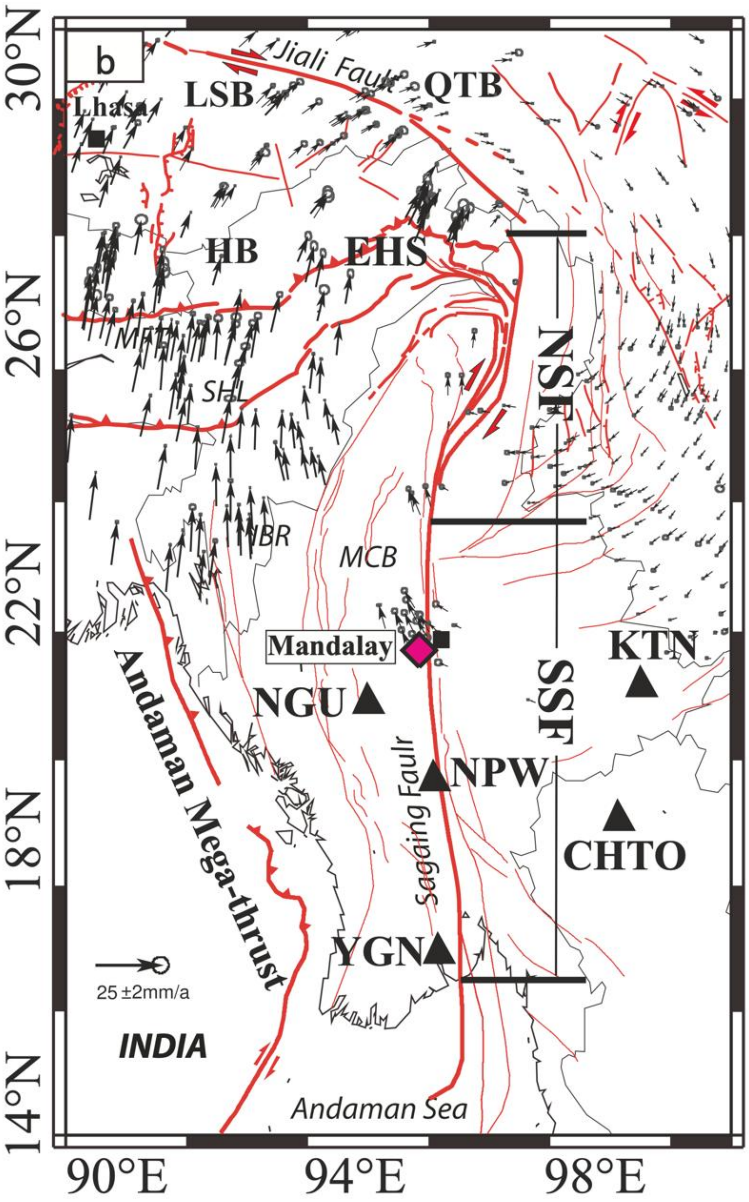
En Sciences de la Terre, les applications du GPS - signifiant *Global Positioning System*, système de positionnement par satellites - sont nombreuses, notamment en géodésie qui est la science de l'étude de la forme de la Terre. Pour ce faire, des sites singuliers en surface sont équipés de stations GPS qui enregistrent en permanence leur position.

QUESTION 3 : Quel est le principe physique utilisé par le GPS pour déterminer la position d'un récepteur ? (une seule réponse correcte)

A. La mesure de la vitesse de la lumière dans l'atmosphère
B. La mesure du temps de propagation des ondes électromagnétiques entre des satellites et un récepteur
C. La mesure de la température de l'ionosphère
D. La mesure de la pression atmosphérique

QUESTION 4 : Quels sont les avantages principaux de l'utilisation du GPS pour mesurer les déplacements liés aux séismes ? (plusieurs réponses correctes)

A. Il permet de mesurer les déplacements en temps réel avec une grande précision
B. Il peut être installé sur n'importe où à la surface de la Terre
C. Il peut mesurer les déplacements horizontaux et verticaux
D. Il ne nécessite aucun traitement informatique des données



DOCUMENT 1 : Champ de vitesse GPS le long de la faille de Sagaing lors du tremblement de terre du 28 mars 2025. Chaque flèche de vecteur vitesse représente le déplacement moyen enregistré d'une station de mesure durant plusieurs années. Les vitesses sont exprimées relativement au bloc Est de la Chine du Sud (site KTN) considéré comme fixe. *Modifié d'après Xu et al., Natural hazards, 2025.*

Vocabulaire : Fault = Faulr = Faille

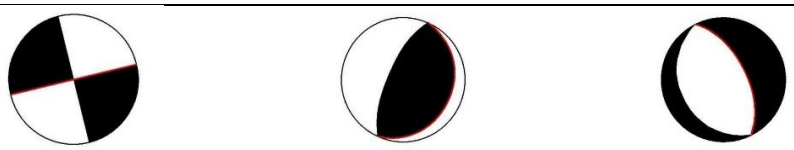
QUESTION 5 : À partir de l'étude du document 1 et de vos connaissances, indiquer quelles propositions parmi les suivantes sont VRAIES à propos des déplacements GPS le long de la faille de Saigaing. (plusieurs réponses correctes)

A. de l'ordre de 2 mm/an
B. de l'ordre de 20 mm/an
C. de l'ordre de 40 mm/an
D. selon un mouvement dextre
E. selon un mouvement sénestre
F. il n'est pas possible de décrire le mouvement le long de cette faille

Questions 6 et 7 : Contexte géodynamique du tremblement de terre du Myanmar

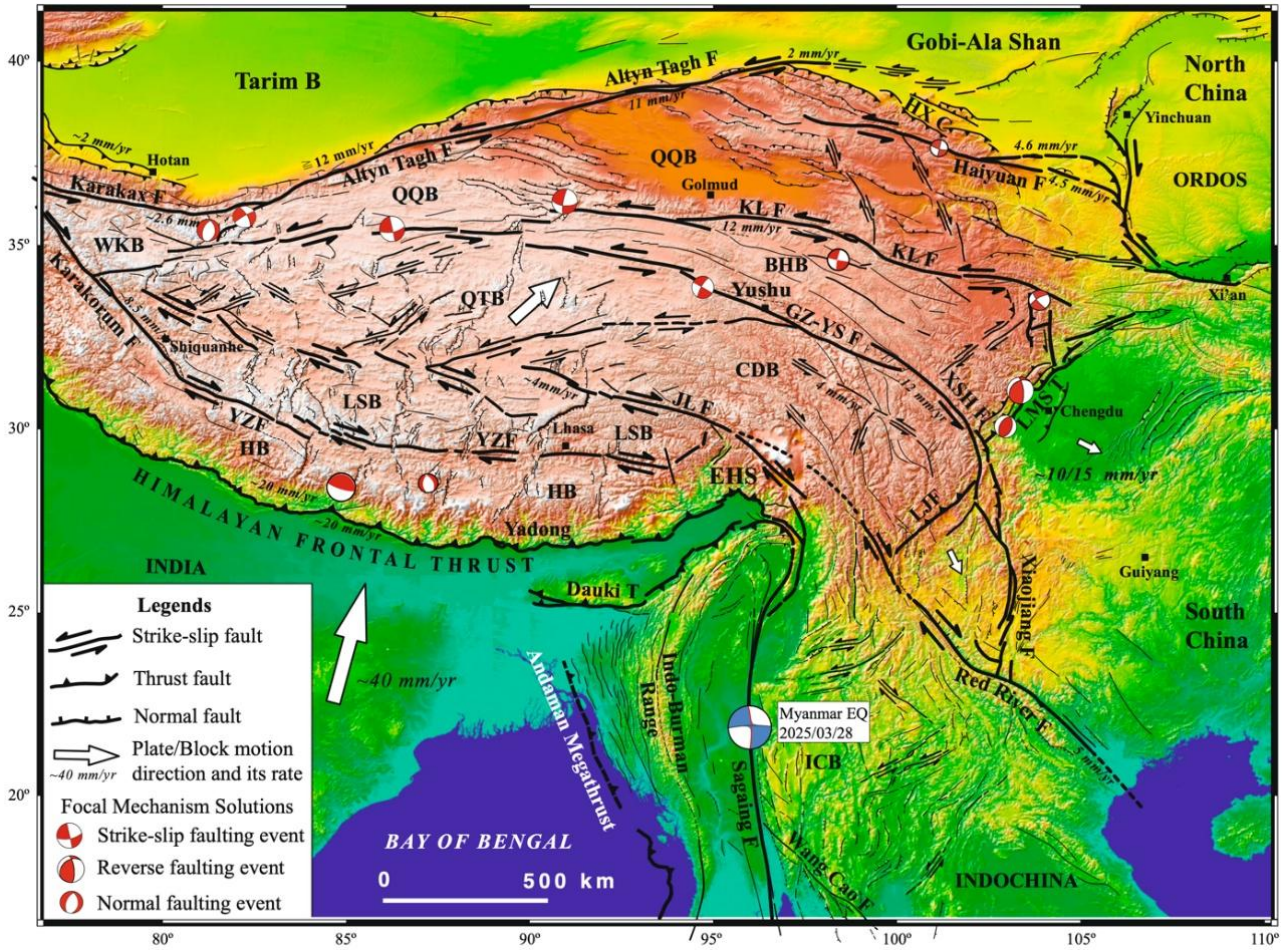
Pour étudier la géodynamique des plaques, les chercheurs en sismologie construisent souvent des « mécanismes au foyer » (qui ressemblent à de petits ballons de plage ou balles de jonglage) à partir des ondes sismiques émises lors du tremblement de terre et réceptionnées par les sismomètres autour du globe. Associant des quartiers/quadrants noirs et blancs, il en existe trois types (voir le document 2 ci-dessous). Les deux lignes qui séparent ces quadrants

(lignes appelées « plans nodaux » ; l'un d'eux étant représenté en rouge sur le document 2) correspondent aux deux possibilités d'orientation de la faille associée au séisme. De l'allure de ces « ballons de plage », il est possible de déduire le type de mouvement à l'origine du séisme.



COULISSAGE Décrochement *(strike-slip fault)*	**COMPRESSION** Faille inverse / Chevauchement *(reverse fault / thrust)*	**EXTENSION** Faille normale *(normal fault)*

DOCUMENT 2 : Mécanismes au foyers typiques de décrochements, failles inverses et failles normales.



DOCUMENT 3 : **Distribution des failles actives et mécanismes au foyer de magnitude supérieure à 7 au cours du 21ème siècle.** Le « ballon de plage » bleu et blanc correspond à l'épicentre du séisme du Myanmar et présente la solution de son mécanisme au foyer. *Modifié d'après Xu et al., Natural Hazards, 2025.*

KLF Kunlun fault, GZ-YSF Ganzi-Yushu fault, XSHF Xianshuihe fault, JLF Jiali fault, YTF Yarlung Tsangpo fault, HB Himalayan block, LSB Lhasa block, QTB Qiangtang block, CDB Chuan-Dian block, BHB Bayan Har block, QQB Qaidam-Qilian block, WKB West Kunlun block, ICB Indochina block, EHS eastern Himalayan syntaxis, HX Hexi Corridor.

Vocabulaire : Fault = Faille / Thrust = Chevauchement / Stricke-Slip Fault = Faille décrochante / Rate = Taux = Vitesse

QUESTION 6 : À partir de l'étude des documents 2 et 3, indiquer quelle proposition parmi les suivantes est VRAIE. (une seule réponse correcte)

A. Au front de l'Himalaya, le mécanisme au foyer dominant est en extension
B. Au front de l'Himalaya, le mécanisme au foyer dominant est en coulissage
C. Au front de l'Himalaya, le mécanisme au foyer dominant est en compression

QUESTION 7 : À partir de l'étude des documents 2 et 3, indiquer quelle proposition parmi les suivantes est FAUSSE. (une seule réponse correcte)

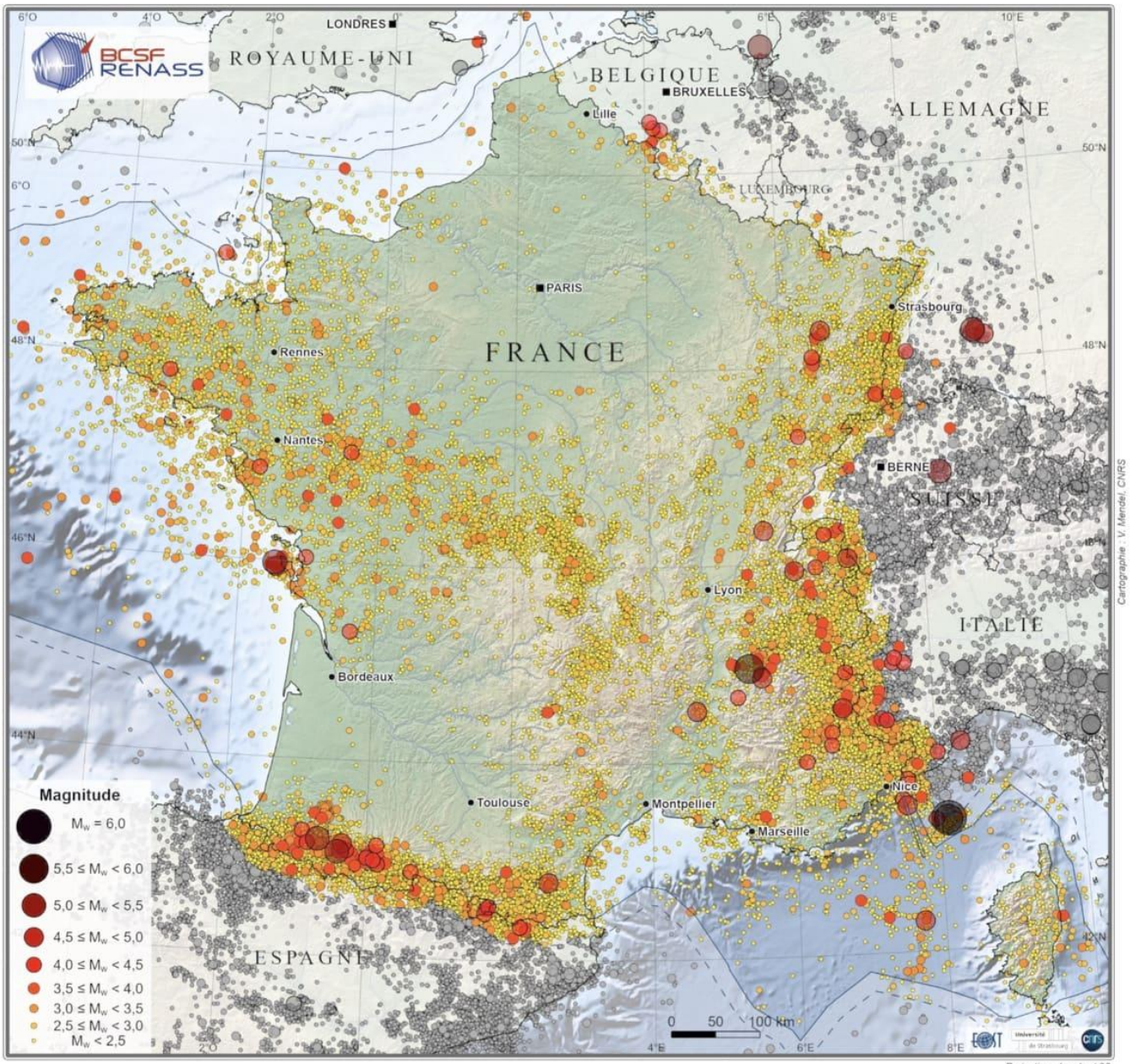
A. D'après le mécanisme au foyer proposé pour le séisme du Myanmar, le plan nodal N-S peut être la faille.
B. D'après le mécanisme au foyer proposé pour le séisme du Myanmar, le plan nodal E-W peut être la faille.
C. La faille de Sagaing représente la bordure est de la plaque Indienne en mouvement par rapport à la plaque eurasienne (représentée par les blocs Indochine et Chine du Sud).
D. La faille de Sagaing se connecte vers le Nord au système des failles décrochantes du Tibet et des chevauchements de l'Himalaya.

Questions 8 à 11 : Sismicité, aléa et risque sismique en France

QUESTION 8 : D'après vos connaissances, indiquez parmi les propositions suivantes ce à quoi le terme « prédiction » fait référence en sciences. (plusieurs réponses correctes)

A. La très forte incertitude qui est associée à la production des énoncés ou des données.
B. Des conclusions concernant des événements ou des phénomènes futurs ou inconnus.
C. La modalité de production des énoncés ou données, basée sur l'utilisation d'un ou plusieurs modèles.
D. La modalité de production des énoncés ou données, issue du travail d'un seul chercheur (ou d'un tout petit groupe de chercheurs).

Sismicité instrumentale de la France hexagonale 1962-2021



En couleur : épicentres des séismes d'origine naturelle dans la zone SI-Hex (France hexagonale et zone économique exclusive en mer (ZEE), avec élargissement de 20 km), ainsi que les séismes ressentis en France avec une intensité EMS-98 ≥ IV (BCSF). Sur la période 1962-2009, le catalogue de sismicité utilisé est celui du projet SI-Hex (Cara et al. 2015, www.franceseisme.fr) complété, sur la période 2010-2021, par celui du BCSF-Rénass (renass.unistra.fr), pour lequel les magnitudes M_L ont été converties en magnitudes M_w.

En grisé : à titre indicatif, épicentres des séismes d'origine naturelle hors zone SI-Hex pour la période 1998-2021. Le catalogue de sismicité utilisé est celui du CSEM (www.emsc-csem.org) pour lequel les magnitudes ont été converties en magnitudes M_w.

Citation : BCSF-Rénass (2022). Instrumental seismicity in mainland France. EOST UAR830, Université de Strasbourg, CNRS. (Collection). doi: 10.25577/fv3f-sq09

Licence CC BY 4.0

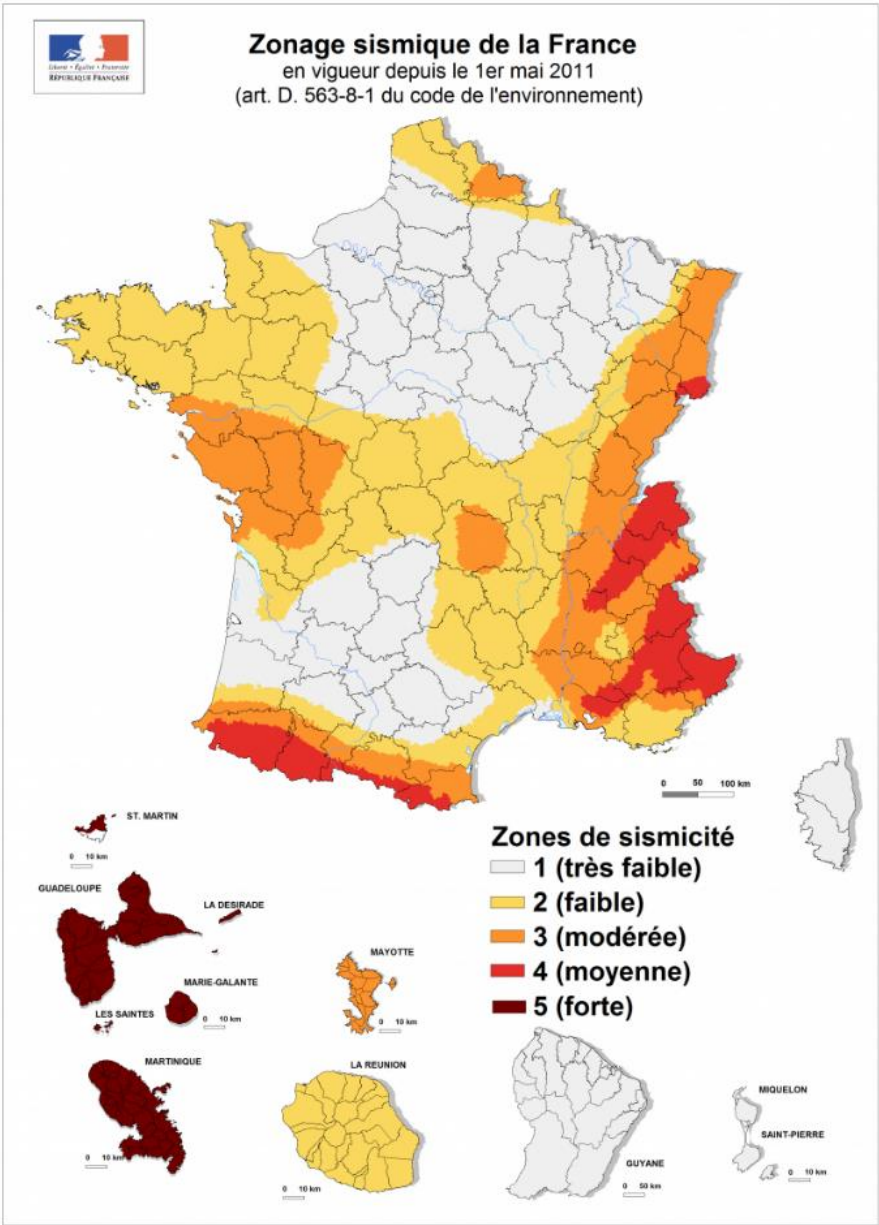
DOCUMENT 4 : Carte de la sismicité instrumentale de la France métropolitaine sur la période 1962-2021. *Crédit : BCSF-Rénass, 2022.*

QUESTION 9 : À partir de l'étude du document 4 et de vos connaissances de la géologie de la France, indiquer quelles affirmations sont VRAIES parmi les suivantes ? (plusieurs réponses correctes)

A. Les séismes ne se répartissent pas uniformément sur le territoire métropolitain
B. Les séismes sont localisés dans les chaînes de montagnes actuelles
C. Les séismes de magnitude > 3.5 ne sont localisés que dans les chaînes de montagnes actuelles
D. Il y a peu de séismes dans les grands bassins sédimentaires français

QUESTION 10 : Le risque sismique d'un territoire dépend de plusieurs facteurs. Quels sont-ils ? (plusieurs réponses correctes)

A. La probabilité qu'un événement donné se produise (l'aléa)
B. Les enjeux (biens et populations) et leur vulnérabilité
C. Le climat
D. La saison
E. La biodiversité



DOCUMENT 5 : Carte du zonage sismique de la France (métropolitaine et Outre-Mer). Le terme "zonage sismique" désigne le découpage d'un territoire défini par certaines caractéristiques dont, en particulier, la fréquence et l'intensité des séismes dans cette zone. En 2011, la carte du zonage sismique de la France (France Métropolitaine et Territoires d'Outre-Mer) a été révisée pour proposer une nouvelle cartographie de l'aléa sismique.

QUESTION 11 : À partir de l'étude du document 5 et de vos connaissances de la géologie de la France, indiquer quelles affirmations parmi les suivantes sont VRAIES ? (plusieurs réponses correctes)

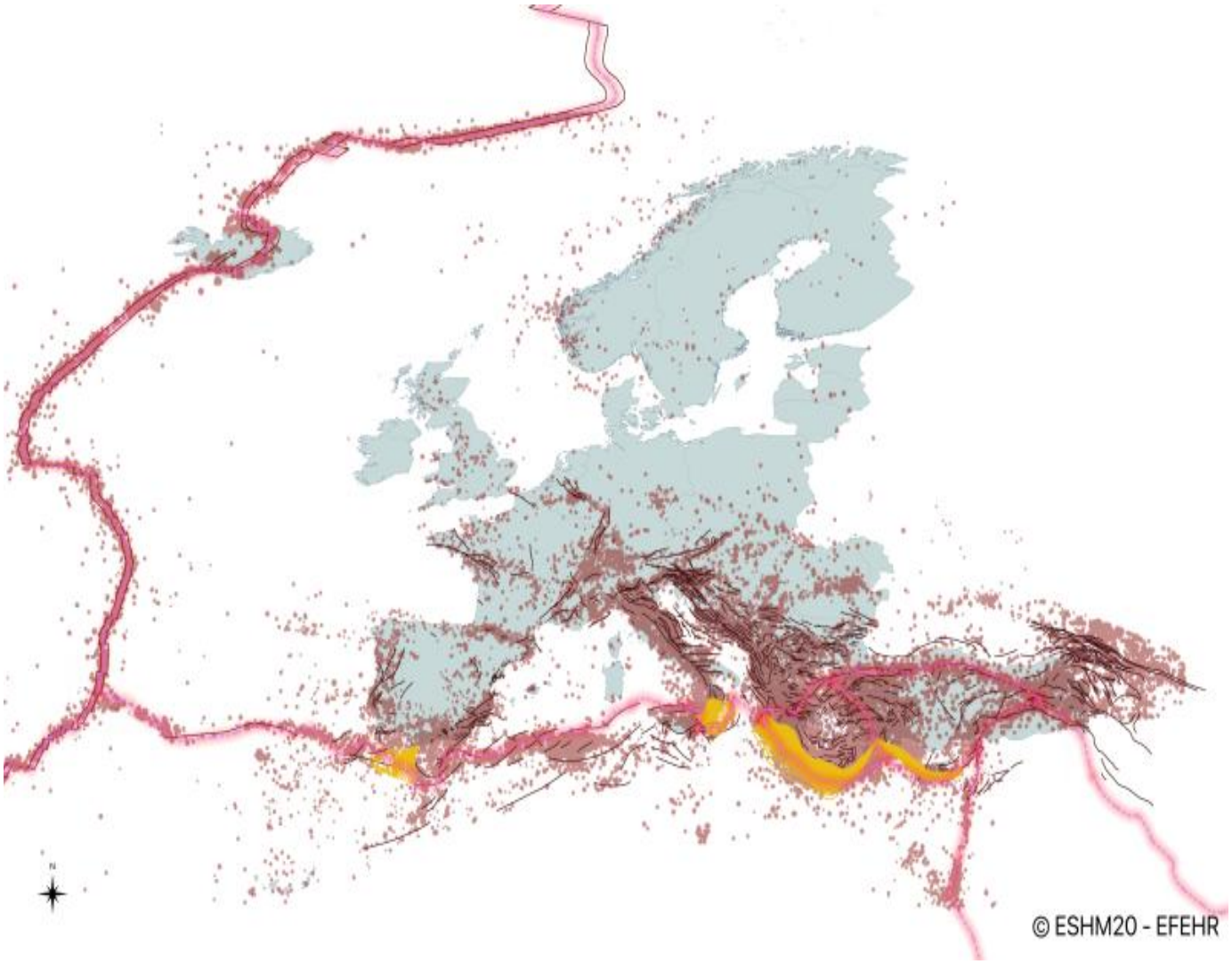
A. En France, l'aléa sismique le plus fort se situe dans les Alpes et les Pyrénées

B. L'aléa sismique français est minimal dans le bassin de Paris, le bassin aquitain, la Corse, la Guyane et St Pierre-Miquelon

C. L'aléa sismique est principalement relié à la présence de chaînes de montagnes ou zones de subduction actives

D. Les vieilles chaînes de montagnes (ex. chaîne hercynienne/varisque) ne présentent aucun risque sismique

Questions 12 à 15 : Sismicité en Europe



DOCUMENT 6 : Carte des séismes enregistrés entre l'an 1000 et l'an 2014 en Europe. Les points marrons correspondent à des séismes, les segments noirs correspondent à des failles crustales et les lignes rouges correspondent à des limites de plaques tectoniques. *L. Danciu (ETH, Zurich)*

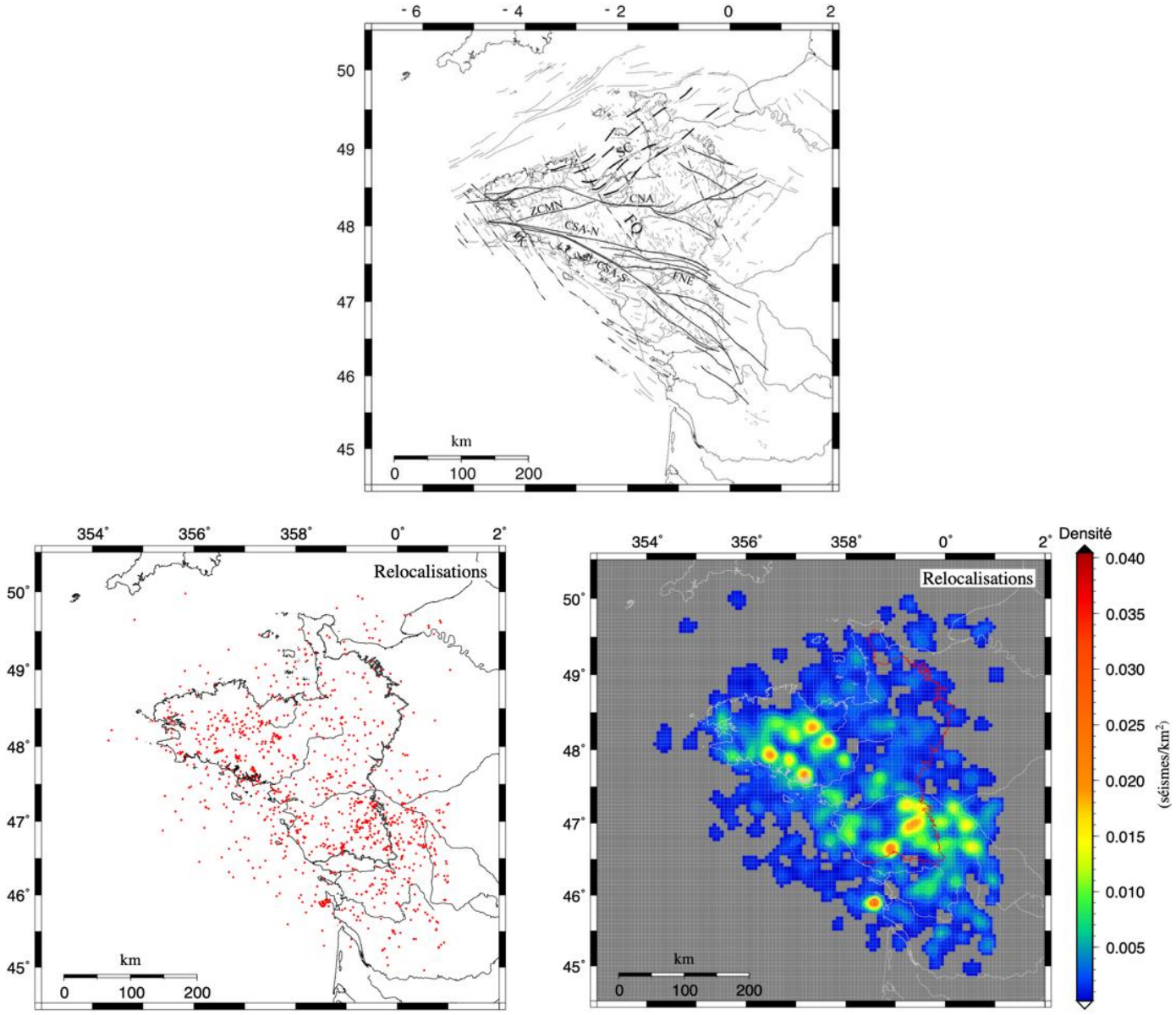
DOCUMENT 7 : Carte sismotectonique de la Méditerranée. La zone entourée en rouge est la zone étudiée dans la question 12. *Modifié d'après le BRGM, Bureau de Recherches Géologiques et Minières.*

QUESTION 12 : D'après vos connaissances et l'étude des documents 6 et 7, indiquer quelle proposition est VRAIE à propos de la limite des plaques eurasienne et africaine à l'est du Maghreb (Algérie, Tunisie – zone entourée en rouge). (une seule réponse correcte)

A. La limite des plaques eurasienne et africaine est en convergence de type subduction
B. La limite des plaques eurasienne et africaine est en convergence de type collision
C. La limite des plaques eurasienne et africaine est en convergence de type obduction
D. La limite des plaques eurasienne et africaine est en cisaillement
E. La limite des plaques eurasienne et africaine est en divergence localisée de type rift

QUESTION 13 : D'après vos connaissances et l'étude des documents 6 et 7, choisissez la bonne proposition parmi celles ci-dessous (une seule réponse correcte).

A. L'activité sismique actuelle du pourtour méditerranéen est exclusivement liée à des jeux tectoniques aux frontières de plaques
B. L'activité sismique actuelle du Bassin rhénan est essentiellement due à l'élargissement du rift
C. L'activité sismique actuelle des Pyrénées est principalement liée à des contraintes de cisaillement
D. L'activité sismique actuelle de la Méditerranée est liée aux contraintes imposées par le resserrement N-S Afrique-Europe et à des réajustements isostatiques



DOCUMENT 8 : Cartes structurale (en haut), des épicentres (en bas à gauche) et de densité sismique (en bas à droite) du Massif armoricain. Les principales failles citées sur la carte structurale sont CAN (Cisaillement Sud Armoricain), CSA-N et CSA-S (respectivement branche Nord et branche Sud du Cisaillement Sud Armoricain), FNE (Faille de Nort-sur-Erdre) et ZCMN (Zone de Cisaillement des Montagnes Noires). Elles datent de l'orogénèse hercycienne. La faille de Quessoy–Nort-sur-Erdre, notée ici FQ, est une faille post-hercynienne. Pour construire la carte des épicentres, les séismes pris en compte sont ceux qui se sont manifestés entre 1980 et 2004, pour lesquels l'incertitude à 2σ est inférieure à 25 km, soit 1153 séismes. *Pierre Arroucau, 2006.*

QUESTION 14 : D'après le document 8, choisissez les bonnes propositions parmi celles proposées ci-dessous (plusieurs réponses correctes).

A. La localisation des séismes dans le Massif armoricain est diffuse mais présente néanmoins des zones où l'activité sismique est plus dense
B. La sismicité du Massif armoricain est limitée à certaines zones de dense activité sismique
C. La sismicité du Massif armoricain n'est liée qu'au rejeu de failles datant de l'orogénèse hercynienne
D. Une déformation cassante s'exprime actuellement du niveau de la faille de Quessoy–Nort-sur-Erdre

Partie II : « Evolution du climat futur et outils de reconstitution du climat passé »

Questions 15 et 16 : Projections – climat du futur

L'étude du climat et des relations entre les enveloppes impliquées dans son fonctionnement (hydrosphère, atmosphère, lithosphère et biosphère) représente un enjeu majeur. L'organisme international GIEC réunit des experts du climat chargés d'évaluer l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques en relation avec le bouleversement climatique en cours sur Terre. Il fournit régulièrement aux décideurs des rapports de référence pour guider les politiques environnementales et climatiques.

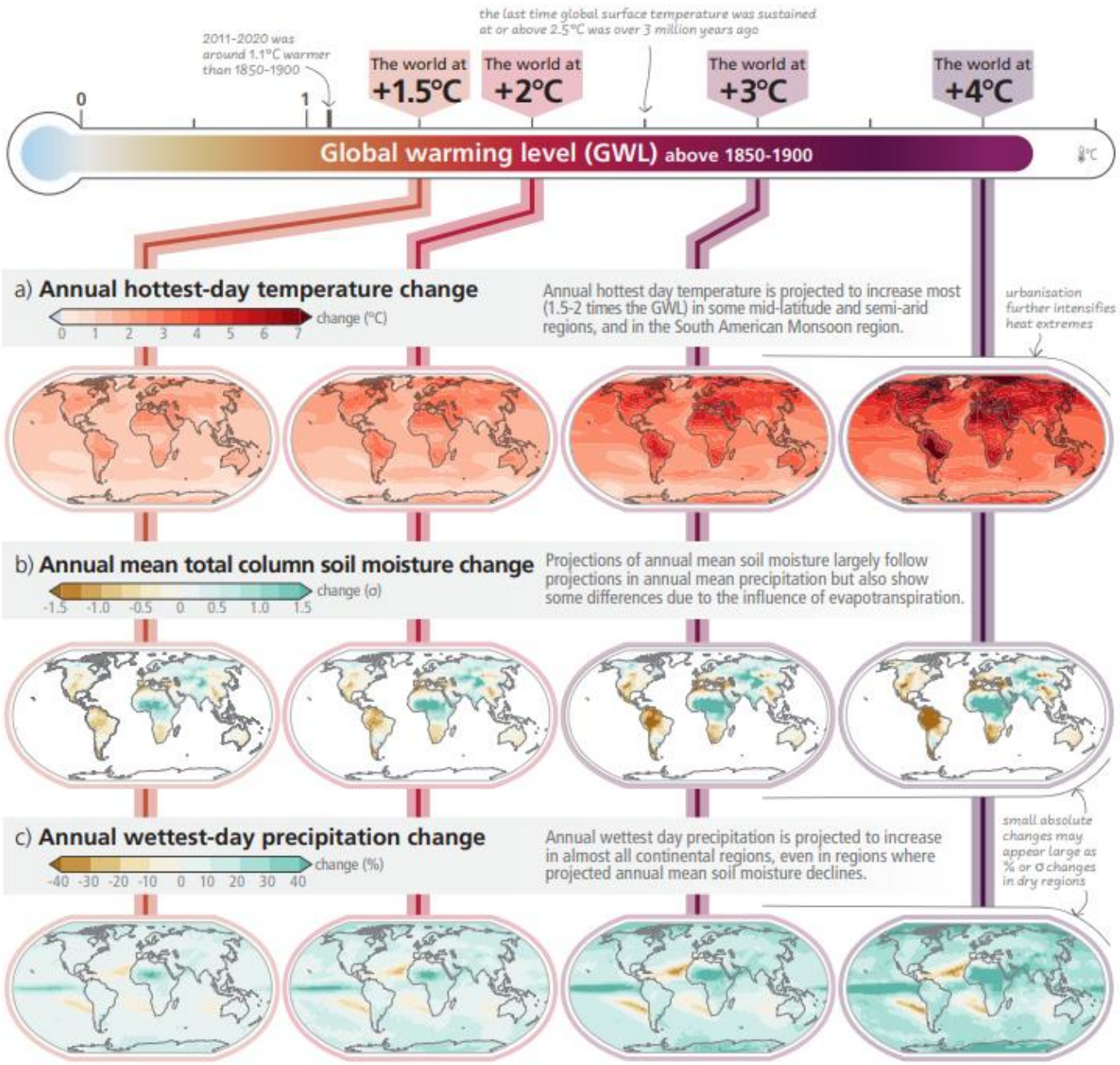
QUESTION 15 : D'après vos connaissances, que veut dire l'acronyme « GIEC » ? (une seule réponse correcte)

A. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
B. Grande instance européenne pour le climat
C. Groupement international des énergies et du carbone
D. Gestion institutionnelle de l'environnement climatique

Le GIEC utilise des modèles climatiques numériques qui intègrent différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et d'autres facteurs humains pour projeter l'évolution future des températures, des précipitations et de tout type de phénomènes extrêmes. En comparant les résultats de plusieurs modèles et scénarios, le GIEC évalue l'incertitude et fournit des prévisions probabilistes sur le climat futur.

QUESTION 16 : À partir de l'étude du document 9, indiquer quelles propositions parmi les suivantes sont VRAIES. (plusieurs réponses correctes)

A. Le réchauffement climatique va induire une diminution de l'humidité moyenne des sols partout sur le globe
B. Sur l'ensemble des surfaces continentales émergées, le réchauffement climatique va induire une augmentation des précipitations intenses
C. Les déserts (froids et chauds) et la zone méditerranéenne sont les zones du globe qui vont voir leurs températures du jour le plus chaud augmenter le plus par rapport à la moyenne 1850-1900
D. Les variations de l'humidité moyenne du sol suivent précisément les variations de précipitations intenses
E. Dans un monde à +4 °C, la température du jour le plus chaud en Amazonie sera de 7 °C



DOCUMENT 9 : projections climatiques selon différents niveaux de réchauffement global par rapport à la période 1850-1900. a) évolution de la température des journées les plus chaudes de l'année. b) évolution de l'humidité moyenne des sols. c) évolution des précipitations du jour le plus pluvieux de l'année. Les cartes montrent les variations spatiales de ces indicateurs pour des réchauffements allant de +1,5 °C à +4 °C. *IPCC AR6 SYR, 2023.*

Afin d'étayer les modélisations numériques du climat futur, comme celles proposées dans les rapports du GIEC, les reconstitution paléoclimatiques sont essentielles. Elles permettent d'apporter des données sur les climats du passé, utilisées pour rendre les modèles de prévision du climat futur plus précis.

Questions 17 et 18 : Reconstitutions paléo-climatiques au Pliocène

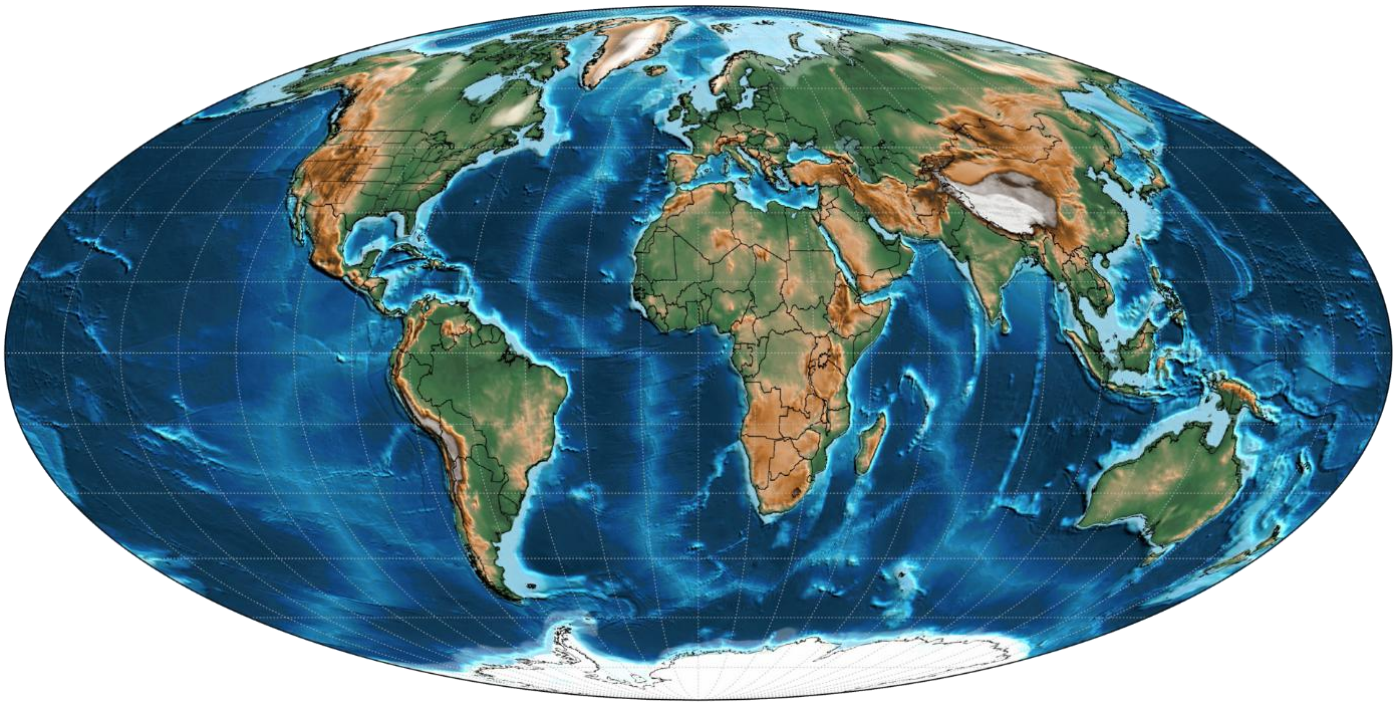
QUESTION 17 : D'après vos connaissances, indiquez quelle proposition parmi celles listées ci-dessous N'EST PAS un outil direct de reconstitution des paléoclimats. (une seule réponse correcte)

A. Étude du rapport isotopique de l'oxygène ($\delta^{18}O$) des glaces
B. Étude du rapport rubidium/strontium (Rb/Sr) de roches magmatiques
C. Analyse de diagrammes polliniques
D. Étude de la largeur et de la densité des cernes de croissance des arbres (dendrochronologie)

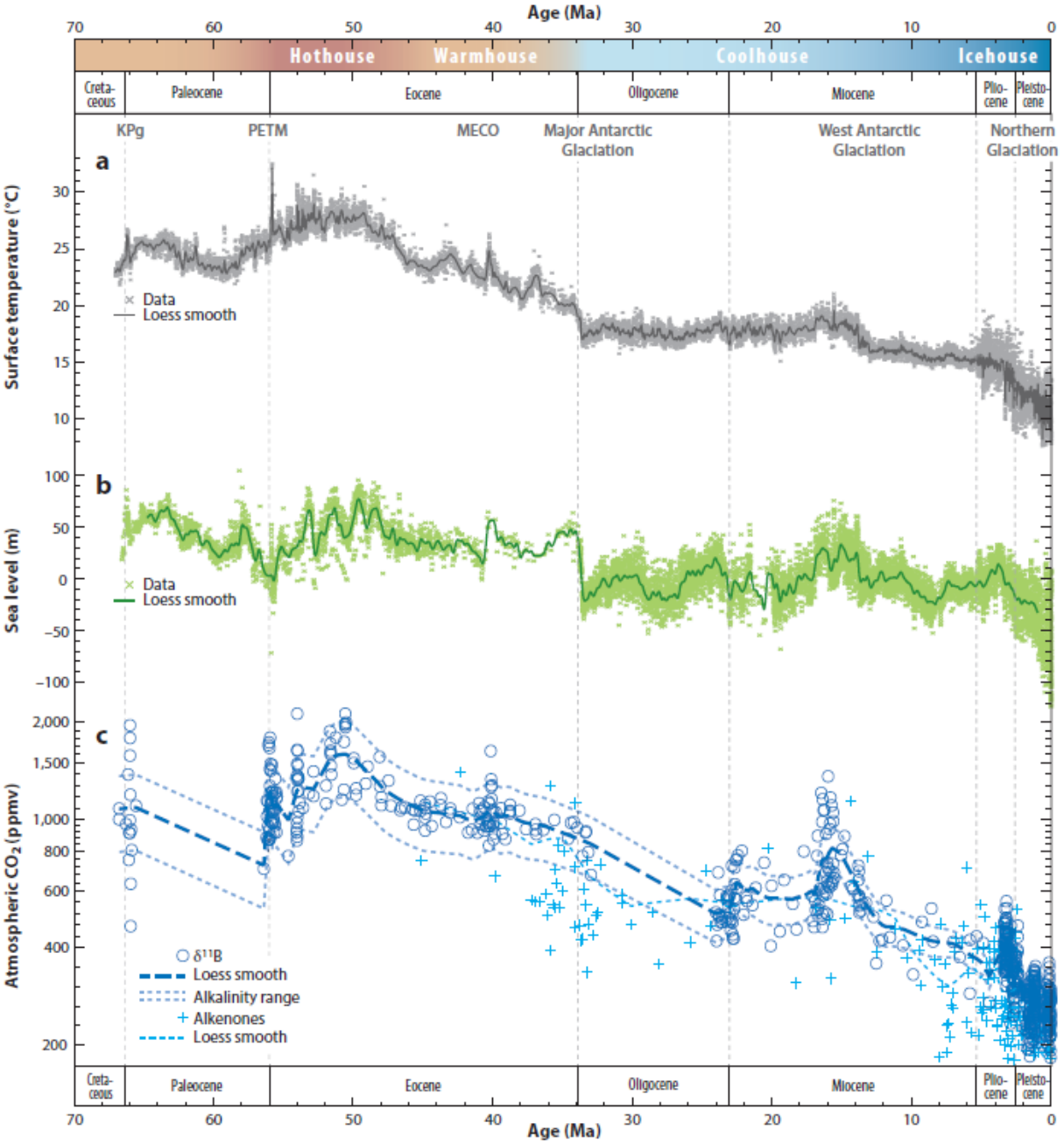
Plusieurs périodes géologiques sont étudiées par les scientifiques du GIEC. Parmi elles, le Pliocène (5,3 à 2,6 Ma) est l'époque la plus récente citée comme analogue climatique pour un futur proche (scénario SSP2-4.5).

QUESTION 18 : À partir de l'étude des documents 10 et 11 et de vos connaissances, indiquer quelles propositions à propos du Pliocène parmi les suivantes sont VRAIES. (plusieurs réponses correctes)

A. Les températures de surface océaniques (SST) étaient en moyenne 3 à 4 °C plus élevées qu'aujourd'hui
B. Les concentrations en CO_2 atmosphériques étaient en moyenne 5 fois supérieures aux valeurs préindustrielles
C. La répartition des masses continentales était relativement proche de l'actuel
D. Le niveau moyen des océans était plus bas qu'aujourd'hui
E. Les outils de reconstitution des paléo-concentrations en CO_2 permettent de proposer des valeurs précises pour le Pliocène



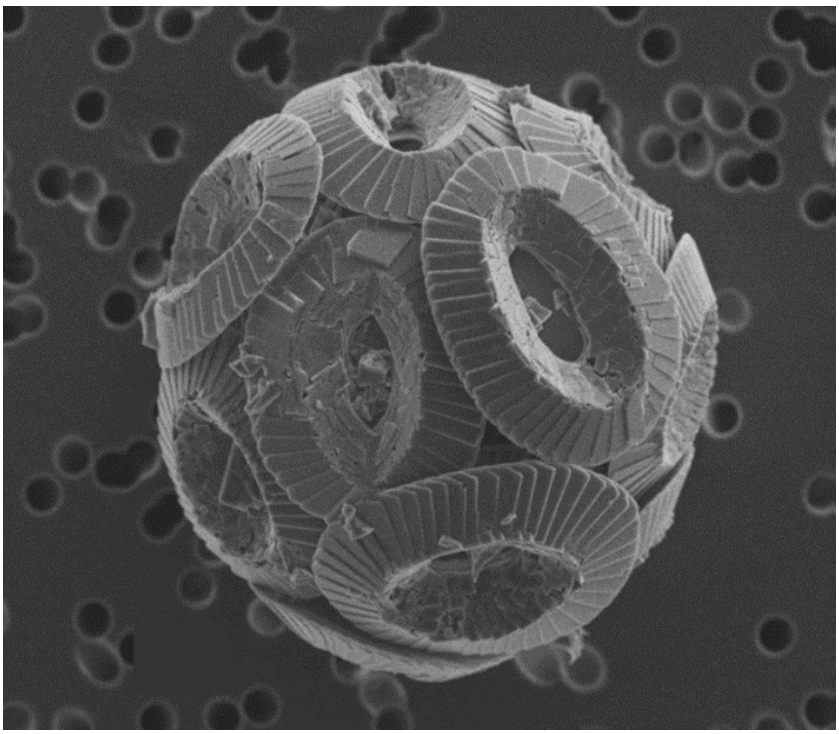
DOCUMENT 10 : Carte de la Terre il y a 5 millions d'années. Les contours noirs représentent les frontières des pays actuels à leurs emplacements respectifs. *Scotese et al., 2025.*



Document 11 : Graphique des paramètres climatiques globaux au Cénozoïque. a) Température de surface océanique estimée à partir de l'étude du $\delta^{18}O$ de foraminifères benthiques. b) Estimations du niveau marin. c) Reconstructions de la concentration atmosphérique en CO_2 à partir des isotopes du bore. *Rae et al., 2021.*

Questions 19 à 21 : Géochimie isotopique des coccolithes, un nouvel outil de reconstitution des paléoclimats

Les êtres vivants enregistrent certains paramètres de leur environnement de vie dans la matière qu'ils produisent. Lorsque cet enregistrement n'est pas dégradé par des processus géologiques comme la diagenèse, les fossiles de ces êtres vivants sont alors une archive pour reconstituer les paléoclimats. Ces fossiles peuvent être des coraux, des tests de foraminifères, ou encore des coccolithes. Les coccolithes sont des plaques calcaires micrométriques produites intracellulairement par des microalgues photosynthétiques, les coccolithophoridés.



DOCUMENT 12 : Image obtenue au Microscope Electronique à Balayage (MEB) d'un coccolithophoridé (espèce *Coccolithus braarudii*). Chaque plaque de forme elliptique est un coccolithe. L'ensemble des coccolithes forme une sphère appelée coccosphère. La cellule du coccolithophoridée se trouve à l'intérieur de cette coccosphère (la cellule n'est donc pas visible sur cette image). Ici, la coccosphère est posée sur une membrane en polycarbonate qui constitue le fond de l'image. Les pores de cette membrane font 1 µm de diamètre. *Le Guevel, 2024.*

QUESTION 19 : À l'aide du document 12, déterminer la taille d'un coccolithe de l'espèce *Coccolithus Braarudii*. (une seule réponse correcte)

NB : on appelle « petit axe » le diamètre de longueur minimale d'une ellipse.

A. Le petit axe d'un coccolithe mesure environ 1 µm
B. Le petit axe d'un coccolithe mesure environ 4 µm
C. Le petit axe d'un coccolithe mesure environ 7 µm
D. Le petit axe d'un coccolithe mesure environ 18 µm
E. On ne peut pas connaître la taille approximative d'un coccolithe à partir des seules informations du document 12

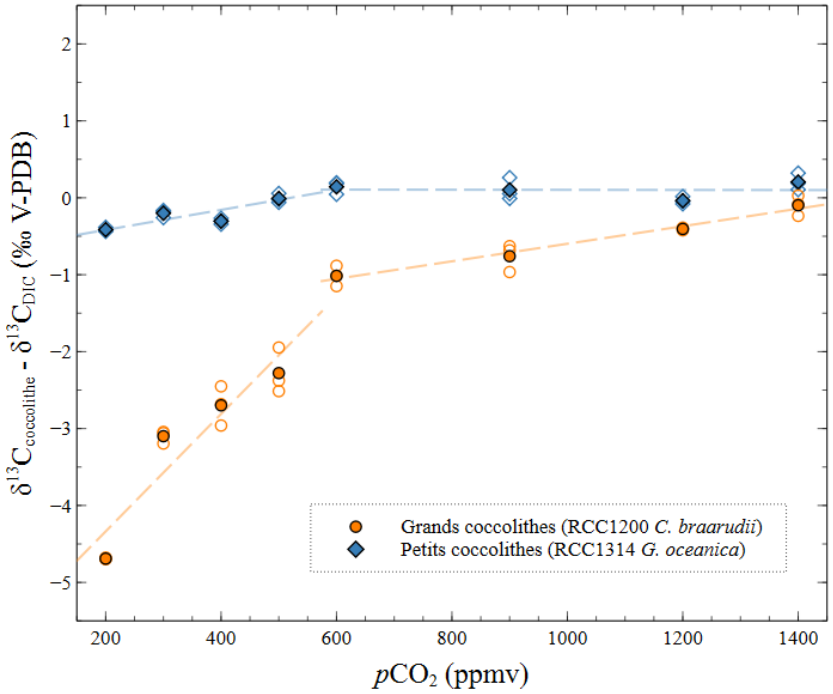
À la mort des coccolithophoridés, les coccolithes sédimentent vers le fond des océans. Après diagenèse, ils forment une roche que l'on appelle « craie ».

QUESTION 20 : À partir de vos connaissances et des éléments mentionnés précédemment dans cette partie, indiquer quelles affirmations parmi les suivantes sont FAUSSES ? (plusieurs réponses correctes)

A. La craie est une roche sédimentaire
B. La craie est une roche magmatique
C. La craie est une roche carbonatée
D. La craie est reconnaissable car elle peut être rayée à l'ongle
E. La craie peut rayer le verre
F. La craie fait effervescence à l'acide chloridrique

Un nouvel outil de reconstitution des paléo-concentrations en CO_2 est étudié depuis quelques années. Cet outil est basé sur la géochimie isotopique des coccolithes. Pour reconstruire des paléo-concentrations en CO_2, les chercheurs utilisent la différence de rapport isotopique en carbone ($\delta^{13}C_{coccolithe}$) entre des coccolithes de tailles différentes. Cet outil est noté $\Delta^{13}C$ et est calculé selon l'équation suivante :

$$\Delta^{13}C = \delta^{13}C_{petit\ coccolithe} - \delta^{13}C_{grand\ coccolithe}$$



DOCUMENT 13 : Graphique représentant l'évolution du $\delta^{13}C_{coccolithe}$ en fonction de la concentration en CO_2 (notée pCO_2), obtenue à partir de travaux de culture de coccolithophoridés en laboratoire. Deux espèces ont été cultivées sous différentes condition de pCO_2 : une espèce qui produit des petits coccolithes (*G. oceanica*) et une espèce qui produit des gros coccolithes (*C. braarudii*). Les points pleins correspondent aux moyennes des réplicas (points vides). *Le Guevel et al., 2024.*

QUESTION 21 : À partir de l'étude du graphique du document 13, des informations données dans cette partie et de vos connaissances, indiquer quelles propositions parmi les suivantes sont VRAIES. (plusieurs réponses correctes)

A. En considérant que le $\delta^{13}C_{DIC}$ soit constant, on peut dire qu'une augmentation de la concentration en CO_2 induit une diminution du $\delta^{13}C_{coccolithe}$
B. En considérant que le $\delta^{13}C_{DIC}$ soit constant, on peut dire que le $\delta^{13}C_{coccolithe}$ augmente plus rapidement avec la pCO_2 aux faibles concentrations en CO_2 (avant 600 ppmv) qu'aux fortes concentration en CO_2 (après 600 ppmv) pour *C. braarudii*
C. Quand la pCO_2 augmente, le $\Delta^{13}C$ augmente
D. Une augmentation de la pCO_2 induit une diminution du pH
E. Une augmentation de la pCO_2 induit une augmentation du pH
F. Le $\Delta^{13}C$ vaut environ 1 ‰V-PDB pour une concentration en CO_2 de 600 ppmv

Partie III : « Les océans enregistrent l'histoire de la Terre »

Questions 22 et 23 : Les océans et l'âge de la Terre

Au XVIII^{e} siècle, Buffon essaie de déterminer l'âge de la Terre en mesurant le temps de refroidissement de boules de fer forgé. Considérant que la Terre était initialement en fusion comme une boule de fer et, tenant compte de sa température actuelle, il en déduit un âge de formation de l'ordre de 100 ka (100 mille ans). Vers 1900, John Joly reprend une idée de Halley pour déterminer l'âge de la Terre, ou plus précisément l'âge des premiers océans. Il étudie les concentrations en sels de l'eau de mer, de l'eau des fleuves et les flux d'eau des fleuves vers les océans, en considérant un océan initial d'eau pure enrichi au fur et à mesure par les apports des fleuves.

Voici quelques données moyennes actualisées permettant de refaire les calculs de Joly :

- masse de l'eau des océans : $1{,}40.10^{21}$ kg
- flux annuel d'eau des fleuves vers les océans : $3{,}6.10^{16}$ kg/a
- teneurs en chlore (Cl) : océans $1{,}8.10^{7}$ µg/kg – fleuves $7{,}8.10^{3}$ µg/kg
- teneurs en sodium (Na) : océans $1{,}04.10^{7}$ µg/kg – fleuves $6{,}0.10^{3}$ µg/kg

QUESTION 22 : Quelles affirmations sont VRAIES à propos des calculs de John Joly pour estimer un âge de formation des océans ? (plusieurs réponses correctes)

A. Il a oublié de prendre en compte l'évaporation des océans formant les nuages, ce qui augmente de fait les concentrations mesurées dans les océans et diminue l'âge calculé
B. Il considère un système dans lequel pluies et évaporation ne transportent pas d'éléments dissouts mais juste de l'eau pure
C. Il considère un système dans lequel la connaissance partielle des flux existants suffit pour estimer l'âge des océans car le système est à l'équilibre
D. Il pense connaitre tous les flux utiles transportant les éléments considérés pour avoir une bonne estimation de l'ordre de grandeur de l'âge recherché

QUESTION 23 : De quel ordre de grandeur est l'âge des premiers océans d'après la méthode proposée par John Joly ? Vous calculerez l'âge obtenu à l'aide des données de l'énoncé ci-dessus (en utilisant le Na et/ou le Cl). (une seule réponse correcte)

A. De l'ordre de 4 ka, bien inférieur à l'âge déterminé par Buffon
B. De l'ordre de 100 ka, du même ordre de grandeur que l'âge déterminé par Buffon
C. De l'ordre de 4 Ma (millions d'années), bien au-delà de l'âge déterminé par Buffon
D. De l'ordre de 100 Ma (millions d'années), très au-delà de l'âge déterminé par Buffon
E. De l'ordre de 4 Ga (milliards d'années), plus proche de l'âge actuellement admis

Questions 24 à 26 : Les océans, la pluie et les cycles glaciaires

Les océans sont la source ultramajoritaire (à plus de 85%) de la vapeur d'eau atmosphérique.

L'oxygène a plusieurs isotopes dont les principaux sont l'^{16}O (le plus abondant) et l'^{18}O. Cela induit que les molécules d'eau sont très largement composées d'$H_2{}^{16}O$ et d'$H_2{}^{18}O$ (on ne prend pas en compte ici les molécules supplémentaires mais très minoritaires liées aux isotopes de l'hydrogène).

Pour une évaporation partielle, on observe un fractionnement isotopique entre le liquide initial et la vapeur d'eau évaporée : les molécules les plus "lourdes" passent moins "facilement" en phase vapeur que les molécules les plus "légères". Ce fractionnement lors de l'évaporation diminue lorsque l'énergie disponible dans le système augmente. À l'inverse, lors de la condensation de vapeur (formation de la pluie), les molécules les plus "lourdes" précipitent un peu plus "facilement" que les molécules plus "légères".

Pour quantifier ce fractionnement, on définit comme suit le $\delta^{18}O$ (« delta O 18 ») d'une eau étudiée :

$$\delta^{18}\mathrm{O} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}\mathrm{O}}{^{16}\mathrm{O}}\right)_{\mathrm{sample}}}{\left(\frac{^{18}\mathrm{O}}{^{16}\mathrm{O}}\right)_{\mathrm{standard}}} - 1 \right),$$

avec "*sample*" pour l'échantillon d'eau analysé (eau de mer, de lac, de vapeur, de glace…), "*standard*" pour un standard servant de référence pour toutes les mesures, et ($^{18}O/^{16}O$) le rapport isotopique des deux isotopes considérés. Les valeurs de fractionnement sont généralement très faibles (de l'ordre de quelques millièmes) et exprimées en pour mille (0,001 = 1.10^{-3} = 1 ‰).

QUESTION 24 : Quelle proposition est VRAIE à propos de la vapeur d'eau formée par évaporation au-dessus d'un océan ou d'une mer ? (un seule réponse correcte)

A. Elle est plus "légère", son $\delta^{18}O$ est donc supérieur à celui de l'eau de mer dont elle est issue
B. Elle est plus "lourde", son $\delta^{18}O$ est donc supérieur à celui de l'eau de mer dont elle est issue
C. Elle est plus "légère", son $\delta^{18}O$ est donc inférieur à celui de l'eau de mer dont elle est issue
D. Elle est plus "lourde", son $\delta^{18}O$ est donc inférieur à celui de l'eau de mer dont elle est issue

QUESTION 25 : Toutes choses égales par ailleurs, si la température augmente, indiquer quelle proposition parmi les suivantes est alors VRAIE à propos de la vapeur d'eau issue de l'évaporation de l'eau de mer. (une seule réponse correcte)

A. plus "légère" que l'eau de mer mais moins que pour une évaporation à température plus basse
B. plus "légère" que l'eau de mer et encore plus que pour une évaporation à température plus basse
C. plus "lourde" que l'eau de mer mais moins que pour une évaporation à température plus basse
D. plus "lourde" que l'eau de mer et encore plus que pour une évaporation à température plus basse

QUESTION 26 : Quelle proposition est VRAIE concernant les glaces formées à partir des précipitations sur les glaciers et calottes polaires lors d'une période glaciaire. (une seule réponse correcte)

A. un $\delta^{18}O$ inférieur à celui des glaces déposées lors des périodes interglaciaires
B. un $\delta^{18}O$ supérieur à celui des glaces déposées lors des périodes interglaciaires
C. un $\delta^{18}O$ proche de celui des glaces déposées lors des périodes interglaciaires car le fractionnement lors de la précipitation compense le fractionnement lors de l'évaporation
D. un $\delta^{18}O$ proche de celui des glaces déposées lors des périodes interglaciaires car la composition de l'eau de mer est aussi affectée par les variations de température

Question 27 : Les océans et les circulations thermo-halines

Les vents de surface entrainent par frottement les eaux océaniques de surface, créant ainsi les courants de surface. De plus, des mouvements aussi bien horizontaux que verticaux sont générés par des différences de densité de masses d'eau. Les deux paramètres qui affectent la densité de l'eau sont la salinité (la quantité d'éléments dissous) et la température, d'où le nom de circulation thermo-haline (température–sel).

Le tableau ci-dessous donne la masse volumique (ici notée ρ) de l'eau pure en fonction de la température dans des conditions standard de surface (pression de 1013,25 hPa).

T (°C)	0	5	10	15	20	25	30
ρ (kg/m^3)	999,8	1000,0	999,8	999,1	998,3	997,1	995,7

DOCUMENT 13 : Photo d'un modèle analogique permettant de mettre en évidence les échanges d'eau entre deux réservoirs d'eaux de densités différentes. Ces réservoirs sont "profonds" et connectés uniquement par un orifice près de la surface, mimant en cela la connexion entre deux bassins océaniques séparés par un seuil peu profond comme c'est par exemple le cas entre l'océan Atlantique et la Mer Méditerranée, qui sont en connexion via le détroit de Gibraltar large de 15 km et profond de seulement 300 m. L'eau de l'un des réservoirs est colorée en bleu afin de visualiser plus facilement les circulations.

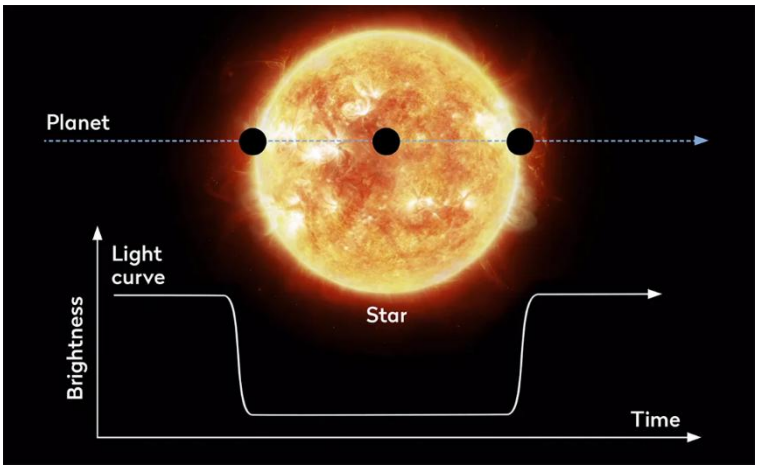
QUESTION 27 : Sachant que, à proximité du seuil de Gibraltar, en surface, les eaux atlantiques ont une salinité de 36 g/L et une température de 18,5°C alors que les eaux méditerranéennes présentent une salinité de 38 g/L et une température de 21,5°C, que pourrait représenter l'eau colorée en bleu foncé de la modélisation analogique ci-dessus (document 13). (une seule réponse correcte)

A. L'eau bleue modélise l'eau de l'Atlantique, plus dense car plus froide même si moins salée
B. L'eau bleue modélise l'eau de l'Atlantique, moins dense car moins salée même si moins froide
C. L'eau bleue modélise l'eau de la Méditerranée, plus dense car plus salée même si plus chaude
D. L'eau bleue modélise l'eau de la Méditerranée, moins dense car plus chaude même si plus salée

Partie IV : « Enquête sur les Exoplanètes»

Le Système solaire est défini par tous les objets liés gravitationnellement au Soleil. Par extension, on appelle système exoplanétaire un ensemble d'objets, planètes, étoiles, disques, comètes, satellites..., liés gravitationnellement entre eux.

La détection des exoplanètes est difficile car leurs émissions sont très faibles et qu'elles sont proches de leur étoile, ce qui les rend presque invisibles en observation directe. Des méthodes indirectes (méthode des transits, méthode des vitesses radiales) mesurent donc les effets produits par la planète sur son étoile. Lorsque les planètes se situent très loin de leur étoile (à plus de 100 UA), il est tout de même possible d'utiliser l'imagerie directe. Utiliser l'imagerie directe est aussi parfois possible à condition de supprimer l'éblouissement stellaire pour isoler la lumière extrêmement faible de la planète.



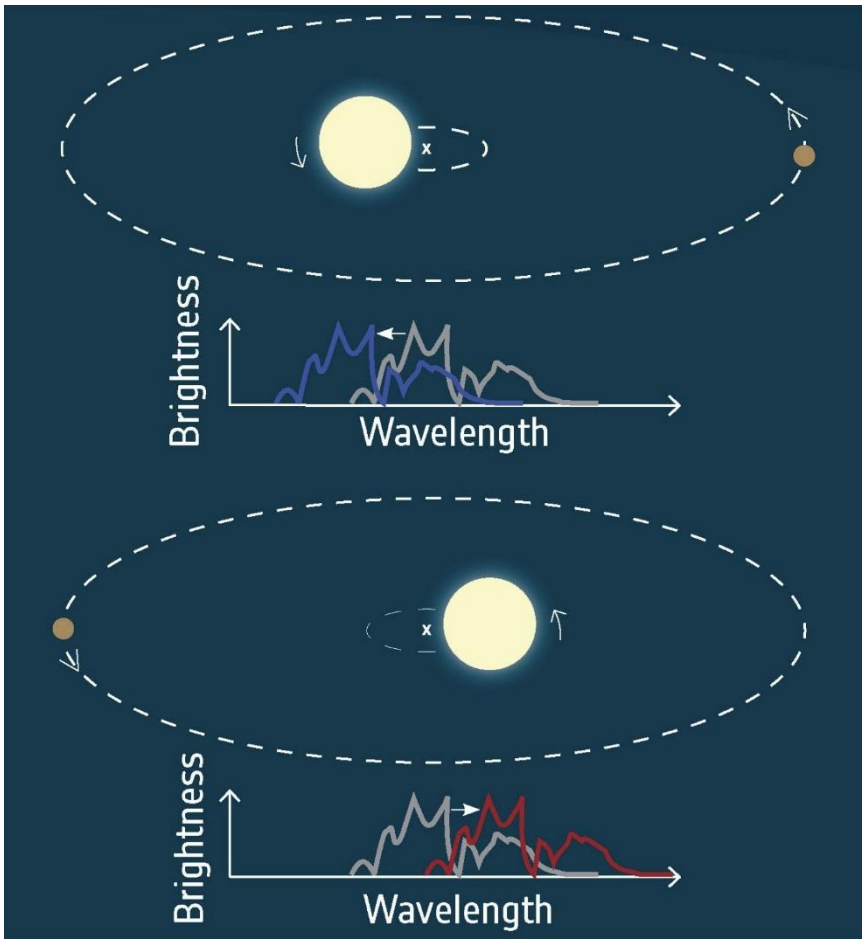
DOCUMENT 14-1 : Détection d'une exoplanète par la méthode des transits. La méthode des transits consiste à observer la lumière d'une étoile et à détecter une petite baisse régulière lorsqu'une planète passe devant elle. En mesurant l'importance et la périodicité de cette baisse, on peut déterminer la taille de la planète et sa période de révolution autour de son étoile. Cette méthode a été largement utilisé par le satellite Kepler de la NASA.

Crédit : NASA.

DOCUMENT 14-2 : Détection d'une exoplanète par la méthode des vitesses radiales (*radial velocity measurements*). La méthode des vitesses radiales permet de détecter une exoplanète en observant le léger mouvement de va-et-vient de son étoile. La planète exerce une attraction gravitationnelle qui fait osciller l'étoile autour d'un point. En analysant ces oscillations grâce à l'effet Doppler (la lumière de l'étoile devient un peu plus bleue – longueurs d'onde plus faibles – ou plus rouge – longueur d'onde plus grande), on peut déterminer la masse de la planète et sa période orbitale.

Crédit : ESA.

NB : si l'étoile se rapproche, la vitesse radiale V_R <0. Si l'étoile s'éloigne, V_R >0.



DOCUMENT 14 : Système exoplanétaire et méthodes de détection.

Grandeurs et Constantes	Valeur ou Formule	Justification
Masse du Soleil	$1{,}989\ 10^{30}$ kg	Référence pour la masse stellaire
3ème loi de Kepler	a^3 / P^2 = constante	Permet de lier le demi-grand axe a (UA) et la période P (an)
Vitesse de libération V_0	V_0 est proportionnelle à $M^{1/2}$	M : masse de la planète NB : pour qu'une planète retienne une atmosphère, il faut que : $V_0 \gtrsim (5 \text{ à } 6)*V_T$ *(VT = vitesse thermique)*
Décalage Doppler	$\Delta\lambda / \lambda = V_R/c$ avec $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$	Utilisé dans la méthode des vitesses radiales (V_R). 'c' est la vitesse de la lumière. λ_0 est la longueur d'onde de référence.
Baisse de Flux (Transits)	$(R_p/R_*)^2$	R_p : rayon planète, R_*: rayon étoile

DOCUMENT 15 : Quelques lois et grandeurs physiques

QUESTION 28 : À partir de l'étude des documents 14-2 et 15, et de vos connaissances, quelles affirmations sont VRAIES concernant l'utilisation du décalage Doppler pour la détection d'une exoplanète (méthode des vitesses radiales) ? (plusieurs réponses correctes)

A. La lumière de l'étoile est décalée vers le rouge (grands λ) lorsque l'étoile se rapproche de l'observateur
B. La variation de vitesse radiale (V_R) de l'étoile est directement proportionnelle au rayon de la planète
C. La mesure des vitesses radiales permet de déduire la présence d'une exoplanète en orbite autour d'une étoile en mesurant le mouvement de l'étoile
D. L'amplitude du décalage Doppler est inversement proportionnelle à la vitesse de la lumière (c)

QUESTION 29 : À partir de l'étude des documents 14 et 15, et de vos connaissances, quelles informations sont directement fournies par la méthode des transits, ou en sont déduites par combinaison avec d'autres méthodes ? (plusieurs réponses correctes)

A. Le télescope spatial Kepler a principalement utilisé la méthode des transits pour découvrir des milliers d'exoplanètes
B. L'observation d'un transit ne nécessite pas de connaître la taille de l'étoile hôte
C. La combinaison des transits (rayon) et des vitesses radiales (masse) permet de déterminer la densité de l'exoplanète
D. Cette méthode est favorisée pour la détection des exoplanètes dont la période de révolution est très longue (plusieurs siècles)

QUESTION 30 : Pourquoi la majorité des exoplanètes confirmées par les méthodes indirectes (vitesses radiales ou transits) se situent-elles à moins de 10 UA de leur étoile ? (une seule réponse correcte)

A. La 3ème loi de Kepler montre qu'une distance de 10 UA correspond à une période de révolution d'environ 30 ans. C'est le temps depuis la première découverte d'une exoplanète

B. Les planètes situées à moins de 10 UA sont facilement détectables par imagerie directe

C. Les planètes éloignées sont trop petites pour être détectées par les méthodes indirectes

Système / Planète	Type d'étoile	Distance a (UA)	Période P	Caractéristique(s)
51 Pegasi b (Dimidium)	Type solaire	0,05	4,2 jours	Type Jupiter chaud. Température >1300 °C. 1ère exoplanète découverte en 1995 par la méthode des vitesses radiales
Proxima Centauri b	Naine rouge	0,05	11,2 jours	Le plus proche de la Terre, à 4,3 années lumières. 1,3 M_{Terre}, dans la ZA.
TRAPPIST-1	Naine rouge ultra froide	0,011 - 0,062	1-20 jours	1er système découvert à 7 planètes par la méthode des transits.7 planètes terrestres (3 dans la ZA)
Kepler-10b	Type solaire	0,017	0,84 jours	Super-Terre rocheuse (≈ 3,5 M_{Terre} ; 1,4 R_{Terre}). Très chaude (~2000 °C). 1ère planète rocheuse confirmée par le télescope spatial Kepler.

DOCUMENT 16 : Systèmes multiples et Habitabilité. Zone Habitable (ZA) = région autour d'une étoile où les conditions permettent à l'eau liquide d'exister à la surface d'une planète. Sa distance à l'étoile peut s'estimer à partir de la luminosité de celle-ci grâce à la relation :

$$d\ (\mathrm{UA}) = \sqrt{\frac{L_{\text{étoile}}}{L_{\odot}}}$$

où d est la distance de la zone habitable en unités astronomiques (UA), $L_{étoile}$ est la luminosité de l'étoile, et $L_{\odot}$ est la luminosité du Soleil.

Une planète est considérée comme habitable si c'est une planète tellurique de masse terrestre dans la ZA d'une étoile.

QUESTION 31 : À partir de l'étude du document 16 et de vos connaissances, quelles affirmations sont exactes concernant la Zone Habitable (ZA) d'un système exoplanétaire ? (plusieurs réponses correctes)

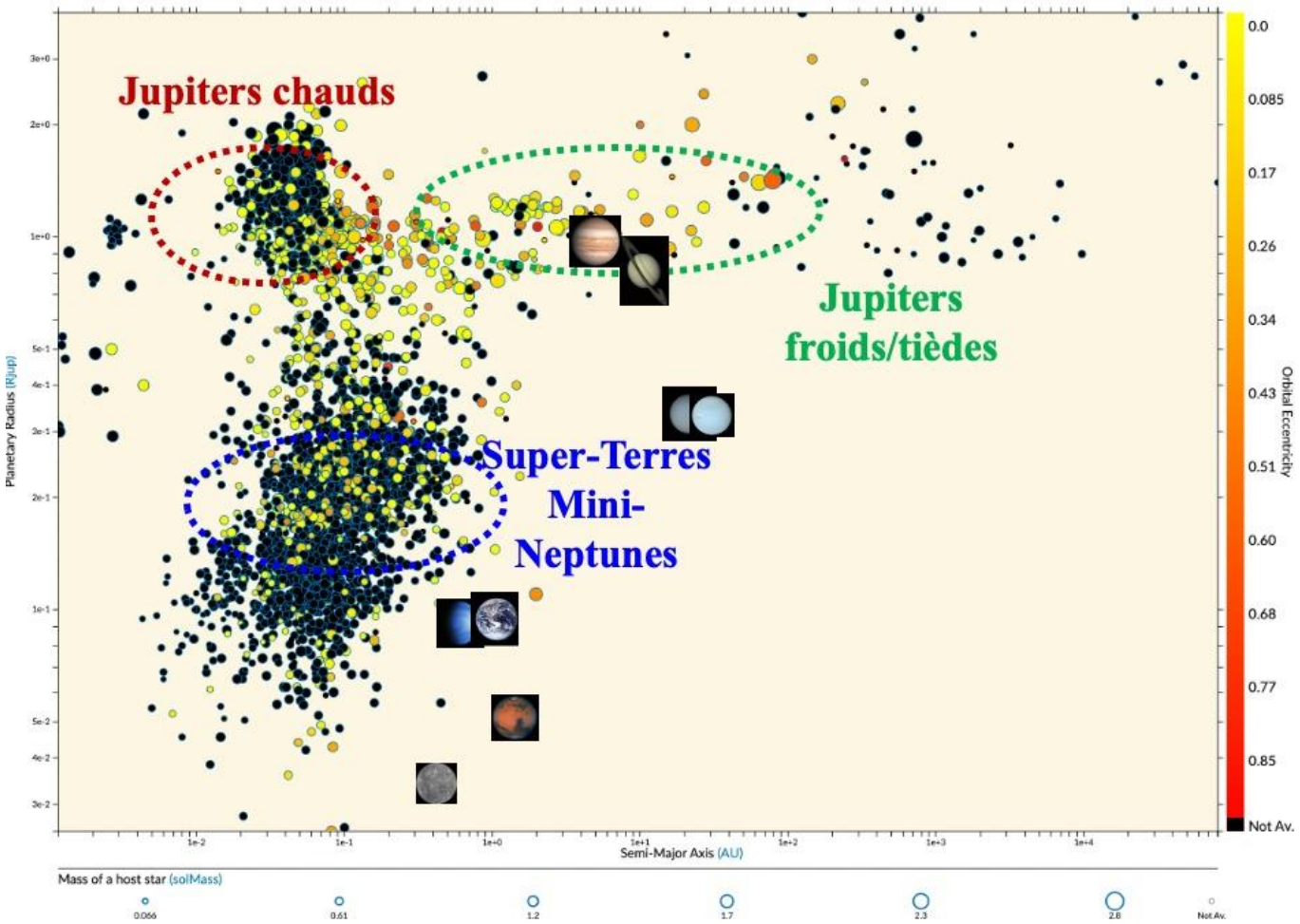
A. La ZA est la région où les conditions de température sont favorables à la présence d'eau liquide (H_2O) à la surface d'une planète
B. Le concept de ZA est absolu et s'applique à tous les types d'environnements susceptibles d'abriter la vie
C. La ZA d'une étoile évolue avec le temps, se décalant vers l'extérieur à mesure que l'étoile augmente en luminosité
D. La présence d'eau liquide sous la glace (océans subglaciaires) sur des satellites est prise en compte dans la définition de la ZA
E. Dans notre galaxie, les planètes terrestres sont beaucoup plus rares que les planètes géantes

QUESTION 32 : À partir de l'étude du document 16, indiquer quelles caractéristiques sont communes ou remarquables aux systèmes TRAPPIST-1 et Proxima Centauri b ? (plusieurs réponses correctes)

A. Les deux systèmes sont centrés autour d'une étoile de type naine rouge ou naine rouge ultra froide
B. Les deux systèmes sont très éloignés de nous, situés à plus de 40 années-lumière de la Terre
C. Les deux systèmes contiennent des planètes de taille terrestre situées dans leur Zone Habitable (ZA)
D. La planète Proxima Centauri b a une période orbitale plus longue que la Terre

QUESTION 33 : De nombreuses exoplanètes situées près de naines rouges sont supposées être en rotation synchrone (comme la Lune). À partir de vos connaissances, indiquer quelle affirmation parmi les suivantes est FAUSSE ? (une seule réponse correcte)

A. La rotation synchrone implique que la période de rotation de la planète est strictement égale à sa période de révolution
B. La planète présente toujours la même face, éclairée, à son étoile, créant une face jour permanente
C. La rotation synchrone est un phénomène physique causé par des forces de marée exercées par l'étoile hôte
D. La rotation synchrone favorise la distribution uniforme de la chaleur sur toute la surface de la planète
E. L'absence de cycle jour/nuit dû à la rotation synchrone est considérée comme une contrainte pour l'habitabilité



DOCUMENT 17 : Types d'exoplanètes. Ce diagramme montre la répartition des exoplanètes selon leur distance à leur étoile et leur masse, révélant trois grandes familles : les Jupiters chauds, proches de leur étoile et très irradiés, les Super-Terres/Mini-Neptunes, très nombreuses et situées à des distances modérées, et les Jupiters froids ou tièdes, plus éloignés et comparables à Jupiter dans notre Système solaire. La transition planétaire, située autour de 30 masses terrestres (≈ 1,8 rayons terrestres), correspond au seuil entre les Super-Terres rocheuses et les Mini-Neptunes, au-delà duquel les planètes commencent à retenir une enveloppe significative de gaz et deviennent dominées par leur atmosphère plutôt que par leur noyau solide. D'après les données récentes, il y a beaucoup plus d'exoplanètes de type « petites / moyennes » (telles que rocheuses ou « mini-Neptunes / super-Terres ») que de grosses géantes gazeuses.

QUESTION 34 : À partir de vos connaissances et de l'étude du document 17, indiquer quelle affirmation concernant la relation entre la densité, la masse et la composition des exoplanètes est FAUSSE ? (une seule réponse correcte)

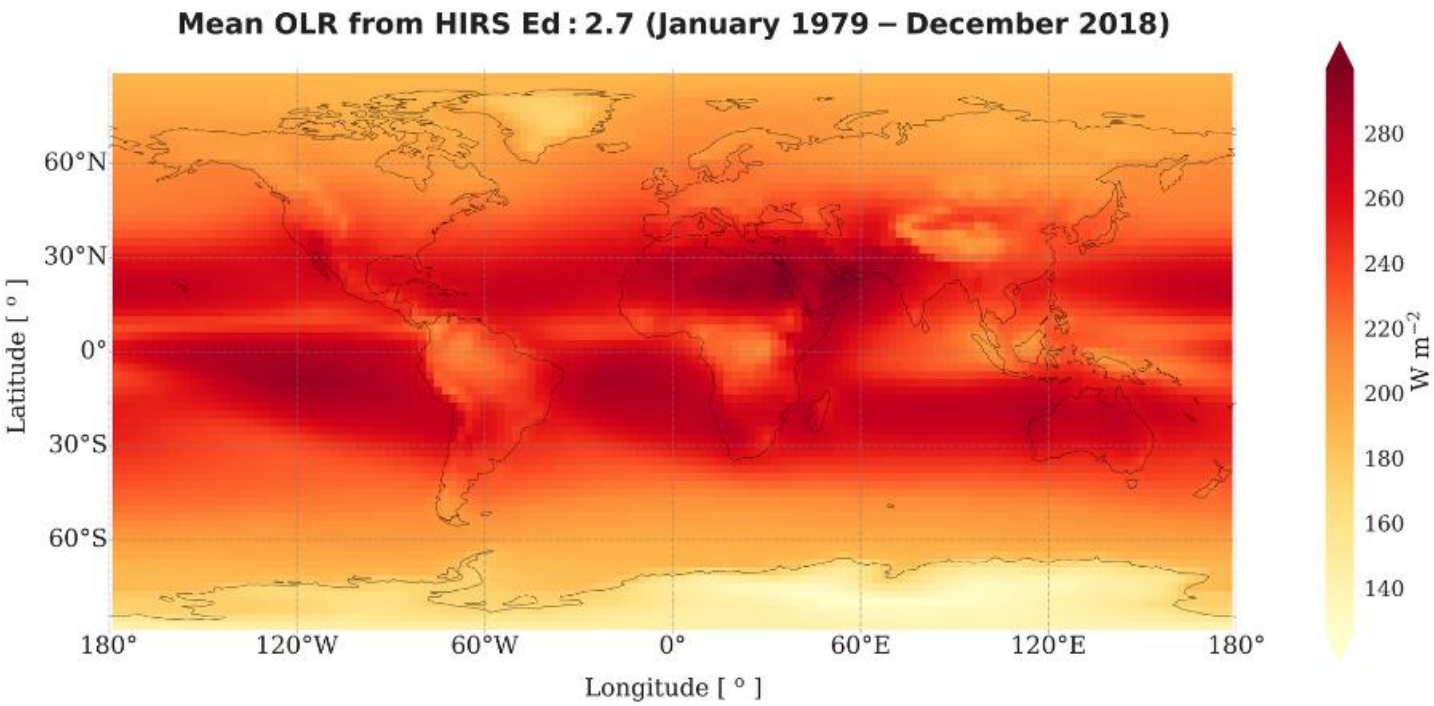
A. Si une exoplanète est tellurique, cela signifie qu'elle est petite, avec une masse très élevée, et très peu dense
B. Les exoplanètes les plus proches de leur étoile (chaudes) sont celles qui sont les plus susceptibles d'avoir perdu tout ou partie de leur gaz constituant
C. Kepler 10b, la première exoplanète tellurique découverte, est une planète dense avec une masse élevée

QUESTION 35 : En vous appuyant sur vos connaissances et sur l'étude du document 17, indiquer quelles affirmations sont exactes concernant la diversité et la fréquence des planètes observées ? (plusieurs réponses correctes)

A. La Galaxie contient des centaines de milliards d'étoiles, et il y aurait des milliards de planètes
B. Les planètes de taille terrestre sont aussi courantes que les planètes géantes
C. La température d'équilibre d'une planète $T_{équilibre}$ dépend uniquement de sa distance à l'étoile
D. La transition entre les planètes solides et les planètes gazeuses se situe vers un rayon d'environ 1,8 rayon terrestre

Partie V : « Météorologie »

Questions 36 et 37 : Circulation générale atmosphérique / cellule de Hadley



DOCUMENT 18 : Climatologie du rayonnement grande longueur d'onde sortant de l'atmosphère (en anglais *Outgoing Longwave Radiation* (OLR)). Les fortes valeurs correspondent aux régions sans nuages tandis que les faibles valeurs correspondent aux zones froides ou présentant des nuages épais à sommets élevés.

QUESTION 36 : À partir de l'étude du document 18 et de vos connaissances, identifiez la proposition FAUSSE parmi les suivantes. (une seule réponse correcte)

A. Les valeurs faibles d'OLR à l'équateur correspondent à la ceinture d'ascendance marquée par la présence de cumulonimbus voire d'orages à sommets élevés et froids.

B. Les 2 bandes rouge foncé de part à d'autre de l'équateur correspondent aux zones sèches et chaudes associées aux mouvements descendants de la cellule de Hadley

C. Les faibles valeurs d'OLR sur le Groenland correspondent à une surface froide

D. Les faibles valeurs d'OLR sur l'Antarctique sont dues à la présence de cumulonimbus

QUESTION 37 : À partir de vos connaissances, indiquez quelle est la proposition VRAIE parmi les suivantes. (une seule réponse correcte)

A. L'activité orageuse est généralement plus intense sur les océans

B. L'activité orageuse est généralement plus intense sur les continents

C. Il n'y a pas de différence entre l'activité orageuse sur mer et sur terre

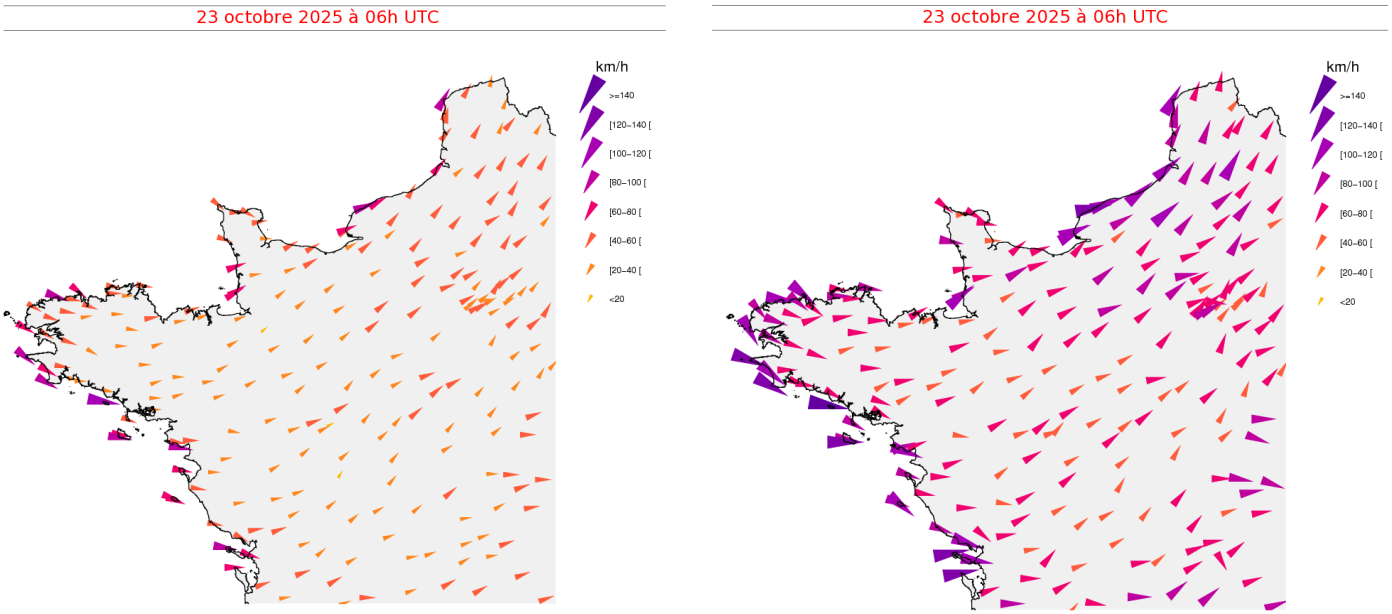
Questions 38 à 41 : Étude de la tempête Benjamin (23 octobre 2025)

QUESTION 38 : D'après vos connaissances, indiquez à quelle hauteur la vitesse du vent est-elle généralement mesurée. (une seule réponse correcte)

A. 2 mètres
B. 10 mètres
C. 50 mètres
D. 100 mètres

QUESTION 39 : D'après vos connaissances, indiquez quels paramètres parmi ceux listés ci-dessous impactent directement la force du vent. (plusieurs réponses correctes)

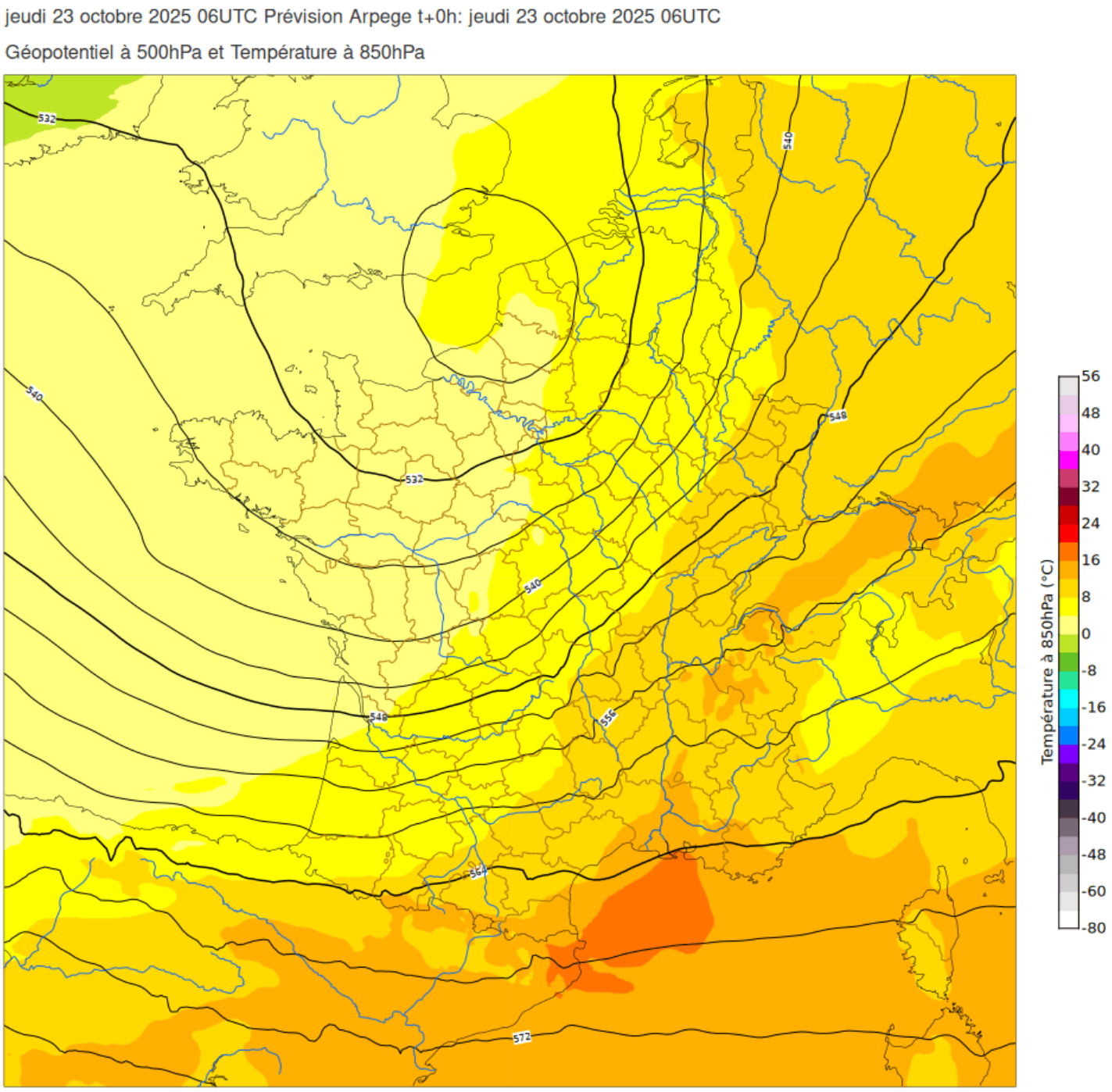
A. L'écartement entre les isobares
B. La température des masses d'air
C. L'intensité des précipitations
D. La rugosité de la surface terrestre



DOCUMENT 19 : Observations de la tempête Benjamin le 23 octobre 2025 à 06h UTC. Cartes éditées le 16/12/2025, élaborées avec les données disponibles du 02/11/2025 à 05 :35 UTC. *Crédit : Météo-France.*

QUESTION 40 : D'après vos connaissances, et l'étude du document 19, indiquer quelles propositions sont VRAIES parmi les suivantes. (plusieurs réponses correctes)

A. La figure de gauche représente les observations de vent moyen et celle de droite représente la rafale maximale
B. La figure de gauche représente la rafale maximale et celle de droite représente les observations de vents moyens
C. Il n'est pas normal que le vent moyen et les rafales soient parallèles les uns par rapport aux autres
D. Il est tout à fait normal que les vents moyens et les rafales soient parallèles les uns par rapport aux autres



DOCUMENT 20 : Carte du géopotentiel à 500 hPa (courbes noires) et des températures à 850 hPa (plages de couleurs) le 23 octobre 2025 à 06 heures UTC. *Crédit : Météo-France.*

QUESTION 41 : D'après vos connaissances et l'étude du document 20, quelle structure météorologique est mise en évidence sur le document 20 ? (une seule réponse correcte)

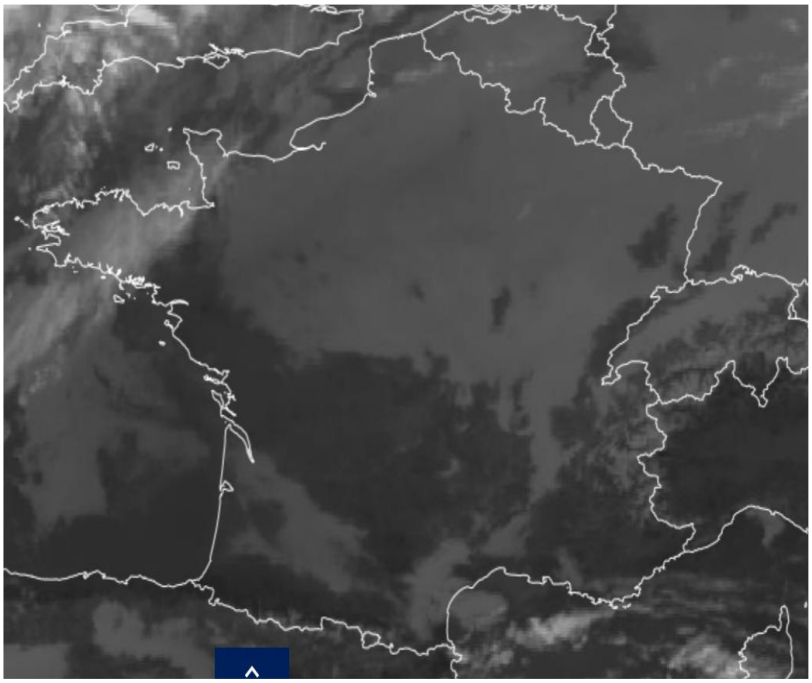
A. Une dorsale (ou crête barométrique)

B. Un thalweg (ou creux barométrique)

C. une dépression

D. un anticyclone

Question 42 : Analyse d'une situation anticyclonique



DOCUMENT 21 : Image obtenu par radiométrie depuis le satellite METEOSAT – Canal infrarouge thermique 10,2 µm. Les données permettent de représenter le rayonnement émis par la Terre, assimilable à la température radiative du sommet des nuages et de la surface terrestre. Les zones claires (blanches) correspondent à des températures basses, souvent associées à des sommets de nuages élevés. Les zones sombres correspondent à des températures plus élevées, à savoir le sol ou la mer.

DOCUMENT 22 : Carte des reliefs de la France métropolitaine. *Source : IGN.*

QUESTION 42 : D'après vos connaissances et l'étude du document 21, indiquez quelle proposition est VRAIE concernant la situation anticyclonique d'hiver visible sur ce document. Vous pouvez vous aider du document 22. (une seule réponse correcte)

A. Il a neigé sur les Vosges et le Jura

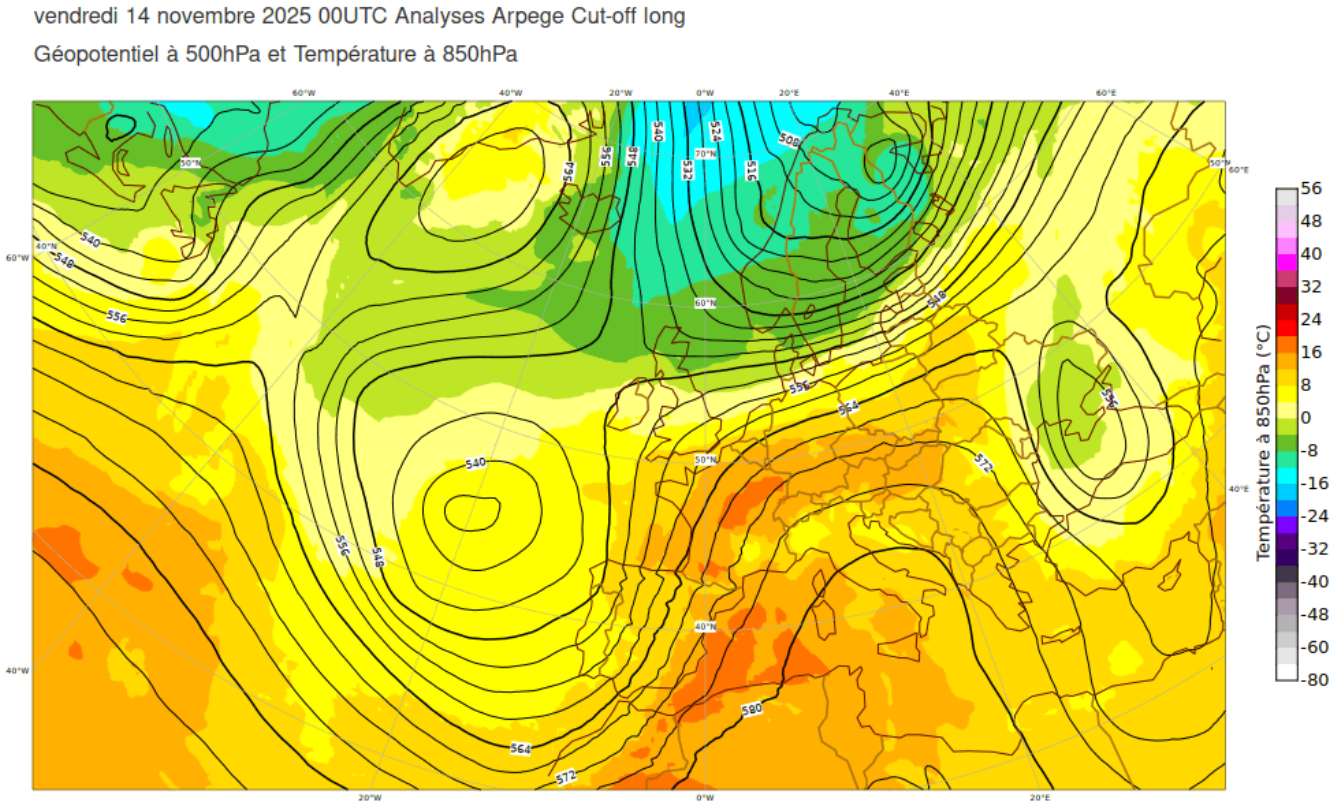
B. La Bretagne est ensoleillées

C. Les zones de plaine et de moyenne montagne dont l'altitude est inférieure à 800 m sont couvertes de nuages bas, brume et brouillard

D. Lorsque la situation est anticyclonique sur l'ensemble du pays, le temps est généralement couvert, surtout en hiver

Question 43 : Situation présentant une anomalie par rapport à la climatologie

On s'intéresse à la situation du 14 novembre 2025 caractérisée par une anomalie marquée par rapport au climat des trente dernières années.



DOCUMENT 23 : Carte du géopotentiel à 500 hPa (courbes noires) et des températures à 850 hPa (plages de couleurs) le 14 novembre 2025 à 00 heures UTC. *Crédit : Météo-France.*

QUESTION 43 : D'après vos connaissances et l'étude du document 23, indiquez quelle est la proposition VRAIE. (une seule réponse correcte)

A. La situation est anticyclonique sur la France

B. La situation est cyclonique sur la France

C. La température moyenne sur la France est anormalement basse pour la saison

D. La température moyenne sur la France est anormalement élevée pour la saison