

Sciences de la vie et de la Terre

Baccalauréat général 2025 — épreuve de spécialité

Métropole, session 2025 (25-SVTJ1ME1)

Corrigé

Deux exercices

Exercice 1 (7 points)

Sujet — Exercice 1 — Le végétal chlorophyllien et l'eau (7 points)

Les Angiospermes, dans leur grande majorité, ont un mode de vie fixé à l'interface entre le milieu souterrain et le milieu aérien. Ces plantes sont dépendantes de leur environnement proche pour assurer leur nutrition.

QUESTION :

Expliquer comment l'absorption de l'eau du sol par des structures variées chez les Angiospermes permet d'aboutir à la production de matière organique dans les cellules chlorophylliennes des feuilles.

Vous rédigerez un texte argumenté. On attend des expériences, des observations, des exemples pour appuyer votre exposé et argumenter votre propos.

(Cette partie du sujet ne comporte aucun document : la réponse repose uniquement sur les connaissances, illustrées par des expériences et des observations.)

Corrigé

Introduction Les **Angiospermes**, ou plantes à fleurs, mènent une **vie fixée** : ancrées au sol par leurs racines, elles ne peuvent pas se déplacer vers leurs ressources et doivent donc les prélever là où elles se trouvent, à l'interface de deux milieux très différents — le sol, qui fournit l'eau et les ions minéraux, et l'atmosphère éclairée, qui fournit le CO_2 et l'énergie lumineuse. Ce sont des organismes **autotrophes** : ils synthétisent eux-mêmes leur matière organique à partir de matière minérale, par **photosynthèse**, dans les cellules chlorophylliennes des feuilles. Or l'eau que ces cellules utilisent a été prélevée à plusieurs décimètres, parfois à plusieurs mètres de là, dans le sol. Comment l'absorption de l'eau du sol par des structures variées aboutit-elle à la production de matière organique dans les feuilles ? Nous suivrons le trajet de l'eau : son absorption par les vastes surfaces d'échange souterraines, son transport par les tissus conducteurs et le moteur de cette ascension, enfin son rôle de réactif dans la photosynthèse et le devenir des molécules produites.

I. De grandes surfaces souterraines absorbent l'eau du sol L'eau du sol est diluée et dispersée dans un volume considérable : pour la capter, la plante maximise sa surface de contact. L'appareil racinaire se ramifie abondamment, et, en arrière de l'extrémité de chaque jeune racine, la **zone pilifère** porte des **poils absorbants**, fines expansions des cellules de l'épiderme racinaire, qui peuvent se compter par milliers au centimètre carré. *Observation* : une graine de cresson ou de radis germée sur coton humide, examinée à la loupe, montre un manchon feutré de poils quelques millimètres en arrière de l'apex ; ils sont absents de la coiffe et des portions âgées de la racine, ce qui localise précisément la zone d'absorption. *Ordre de grandeur* : chez un plant de seigle adulte, la surface racinaire totale, poils compris, se compte en centaines de mètres carrés, sans commune mesure avec la surface du corps d'un animal de

masse comparable.

Cette absorption est le plus souvent facilitée par des **symbioses**, associations à bénéfices réciproques. Les **mycorhizes** associent les racines à un champignon du sol : ses filaments, bien plus fins que les racines, explorent un volume de sol beaucoup plus grand et lui cèdent de l'eau et des ions (en particulier le phosphate) ; la plante lui fournit en retour des sucres issus de la photosynthèse. *Expérience* : deux lots de plants identiques sont cultivés sur un même sol pauvre, l'un inoculé par le champignon, l'autre non. Au bout de quelques semaines, le lot mycorhizé a produit une biomasse nettement supérieure et prélevé davantage d'eau et de phosphate : la symbiose améliore bien la nutrition hydrique et minérale. Chez les Légumineuses (trèfle, pois), des bactéries logées dans des **nodosités** racinaires fixent le diazote N_2 de l'air ; cette symbiose-là concerne la nutrition azotée, non l'absorption d'eau : il ne faut pas les confondre. **Bilan** : par ses poils absorbants et ses symbioses, la racine prélève dans la solution du sol une eau qui contient déjà les ions minéraux nécessaires aux synthèses ultérieures.

II. Le xylème conduit l'eau jusqu'aux feuilles, la transpiration l'aspire Les lieux de prélèvement sont aux deux extrémités de l'organisme : la plante doit donc transporter l'eau sur de longues distances, par des **tissus conducteurs** groupés en faisceaux dans la racine, la tige et les nervures des feuilles. Le **xylème**, formé de cellules mortes lignifiées, conduit la **sève brute** (eau et ions minéraux) des racines vers les feuilles ; le **phloème**, formé de cellules vivantes, conduit la **sève élaborée**, riche en saccharose, des feuilles vers les organes consommateurs ou de réserve.

Expérience : un pétiole de céleri, ou un rameau feuillé, est placé quelques heures dans de l'eau additionnée d'un colorant. Une coupe transversale de la tige montre alors le colorant *uniquement* dans les vaisseaux du xylème, que l'on retrouve colorés jusque dans les nervures des feuilles. La conduction de l'eau est donc localisée, ascendante et continue de la racine au limbe. *Expérience complémentaire — l'anneau de Malpighi* : sur une tige ligneuse, on retire l'écorce, et donc le phloème, sur un anneau complet. Les feuilles restent vertes et turgescents, car le bois intact continue de leur monter l'eau, mais un bourrelet se forme au-dessus de l'anneau, du côté des feuilles, tandis que la partie inférieure s'appauvrit : deux circulations distinctes coexistent, l'une montante dans le xylème, l'autre descendante dans le phloème.

Quel est le moteur de cette ascension ? L'eau s'évapore en permanence au niveau des feuilles — c'est la **transpiration** — et cette évaporation crée une aspiration qui tire la colonne d'eau contenue dans le xylème ; la poussée racinaire y contribue. *Argument expérimental* : un rameau dont la base plonge dans un tube gradué (potomètre) absorbe d'autant plus d'eau que la transpiration est intense (air sec, ventilation, lumière) ; placé à l'obscurité, stomates fermés, il n'absorbe presque plus rien. L'absorption suit donc la transpiration, et non l'inverse. *Où l'eau sort-elle ?* Un papier au chlorure de cobalt, bleu à sec et rose humide, appliqué sur les deux faces d'une feuille, rosit beaucoup plus vite à la face inférieure, précisément là où une empreinte épidermique au vernis montre les **stomates** les plus nombreux. Chaque stomate est un orifice bordé de deux cellules de garde dont la turgescence règle l'ouverture.

Ce que le correcteur attend : ne pas céder au finalisme. La plante ne cherche pas l'eau et ne la pompe pas ; l'ascension est un phénomène physique passif, entretenu par l'évaporation foliaire. Il faut aussi souligner le **compromis stomatique** : le même orifice laisse entrer le CO_2 et sortir la vapeur d'eau. En cas de sécheresse, la fermeture des stomates préserve l'eau mais interrompt l'entrée du CO_2 , donc la photosynthèse.

Bilan : l'eau absorbée par les racines parvient, par le xylème et grâce à l'aspiration créée par la transpiration, jusqu'aux cellules chlorophylliennes du limbe.

III. Dans la cellule chlorophyllienne, l'eau est le réactif oxydé de la photosynthèse La feuille est un organe aplati dont le limbe étale une grande surface face à la lumière. Sous l'épiderme percé de stomates, le parenchyme est riche en cellules contenant des **chloroplastes**, et les nervures y amènent la sève brute au contact même de ces cellules. Le chloroplaste

renferme les **pigments chlorophylliens** : une chromatographie d'un extrait foliaire sépare le vert apparent en plusieurs pigments (chlorophylles *a* et *b*, caroténoïdes), ce qui montre que la capture de la lumière est assurée par un ensemble de molécules.

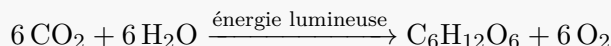
Expérience d'Engelmann (fin du XIX^e siècle) : un filament d'algue verte est éclairé par un spectre lumineux, dans une préparation contenant des bactéries aérobies mobiles. Celles-ci s'accumulent le long des portions du filament éclairées en bleu-violet et en rouge, c'est-à-dire là où les pigments absorbent le plus. C'est donc bien la lumière captée par les pigments chlorophylliens qui permet le dégagement de dioxygène.

Expérience de Ruben et Kamen (début des années 1940) : des algues sont cultivées soit avec de l'eau marquée par l'isotope 18 de l'oxygène, H¹⁸₂O, soit avec du dioxyde de carbone marqué, C¹⁸O₂. Dans le premier cas, le dioxygène dégagé est marqué ; dans le second, il ne l'est pas.

Le dioxygène libéré provient donc de l'eau, et non du CO₂ : l'eau n'est pas seulement le véhicule des ions, elle est un *réactif* de la photosynthèse, qui y est oxydée.

Expérience de Sachs, ou feuille partiellement masquée : une plante est placée à l'obscurité une nuit, puis une feuille est recouverte pour partie d'un cache opaque et éclairée quelques heures. Décolorée à l'alcool bouillant puis traitée à l'eau iodée, elle ne brunit que dans la zone restée éclairée : la matière organique (ici l'amidon) n'apparaît qu'à la lumière.

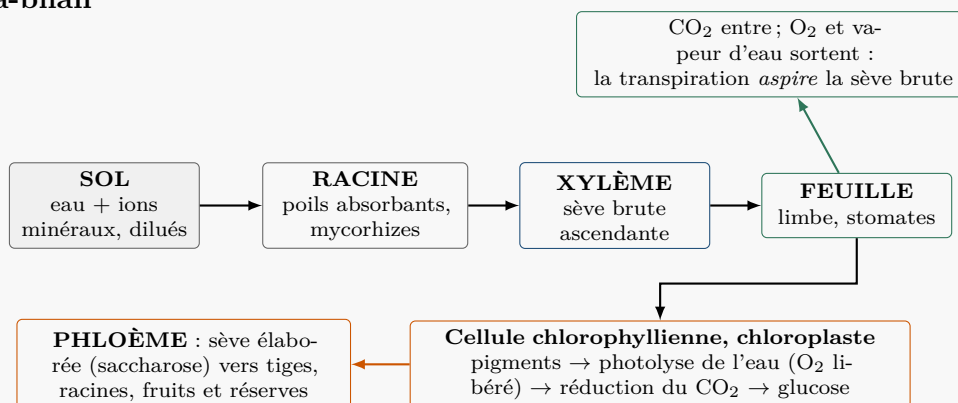
Le mécanisme se résume ainsi : l'énergie lumineuse est captée par les pigments chlorophylliens au niveau du chloroplaste, puis convertie en énergie chimique par la **photolyse de l'eau**, avec libération de O₂ ; cette énergie permet la **réduction du CO₂**, qui aboutit au glucose et à d'autres sucres solubles. Le bilan global s'écrit :



Ces sucres ne restent pas sur place : exportés par le phloème dans la sève élaborée, ils gagnent tous les organes, où des enzymes variées les transforment en cellulose et en lignine (croissance et port de la plante), en réserves (saccharose, amidon, protéines, lipides des graines, fruits et tubercules), ou en molécules d'interaction avec les autres espèces (tanins, anthocyanes). Une simple goutte d'eau iodée sur une coupe de tubercule de pomme de terre y révèle les grains d'amidon, produits lointains de l'eau absorbée dans le sol.

Bilan : l'eau joue ici trois rôles distincts — solvant et transporteur des ions, réactif oxydé par la photolyse, et, par son évaporation, moteur de sa propre ascension.

Schéma-bilan



Conclusion Chez les Angiospermes, une chaîne continue relie l'eau du sol à la matière organique de la feuille. De vastes surfaces souterraines — poils absorbants, filaments des champignons mycorhiziens — prélèvent une eau chargée d'ions ; le xylème la conduit jusqu'au limbe, tiré par l'aspiration qu'y crée la transpiration à travers les stomates ; dans le chloroplaste des cellules chlorophylliennes, l'énergie lumineuse captée par les pigments provoque la photolyse de cette eau, libère le dioxygène et permet la réduction du CO₂ en glucose, que le phloème

redistribue ensuite à toute la plante. L'eau y est tour à tour transportée, transportante et transformée. Cette chaîne a son point faible : elle impose d'ouvrir les stomates pour capter le CO_2 , donc de perdre de l'eau. On comprend ainsi que la sécheresse limite d'abord la photosynthèse, et que les plantes des milieux arides, comme les variétés sélectionnées pour résister au manque d'eau, agissent précisément sur ce compromis.

Exercice 2 (8 points)

Sujet — Exercice 2 — Le climat au Dryas récent (8 points)

Depuis la dernière grande période glaciaire (la glaciation de Würm), la Terre a connu des variations plus ou moins importantes et plus ou moins rapides du climat. En particulier, une période appelée « Dryas récent » a été marquée par une brusque variation de température, notamment dans les régions situées autour de l'Atlantique Nord. Cette période dura environ 1 300 ans, entre 12 800 et 11 500 années BP (BP : « before present » = avant l'année 1950).

QUESTION :

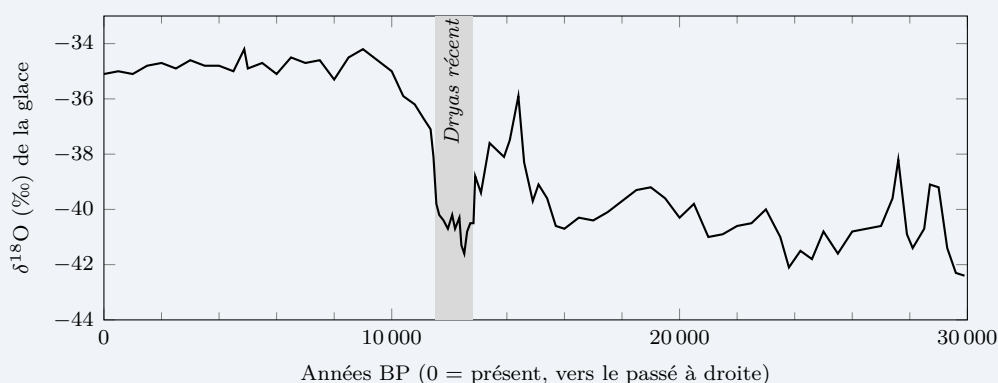
Caractériser le climat au Dryas récent et proposer une hypothèse permettant d'expliquer l'entrée dans cette période climatique.

Vous organiserez votre réponse selon une démarche de votre choix intégrant des données des documents et les connaissances utiles.

Document de référence : carte de l'Atlantique Nord montrant la localisation des différents sondages qui ont servi de support aux études mentionnées dans les documents

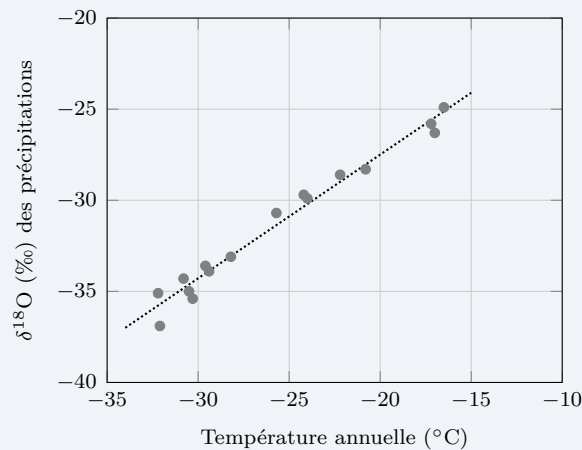
Carte de l'Atlantique Nord vue depuis le pôle (continents en blanc, océan en gris) : on reconnaît les U.S.A. et le Canada à gauche, le pôle Nord en haut, le Groenland au centre et l'Europe en bas à droite. Quatre sondages sont pointés par une croix : le **sondage GISP2** au centre du Groenland ; le **sondage C** en mer, entre le Groenland et la Norvège ; le **sondage A** en mer, au large de la Norvège, un peu plus au sud ; le **sondage B** sur le continent, dans le sud de la France (Pyrénées) (document reproduit dans le sujet PDF).

Document 1 : $\delta^{18}\text{O}$ de la carotte de glace du sondage GISP2 (Groenland) en fonction de l'âge de la glace (courbe redessinée et lissée, valeurs lues sur le graphique du sujet ; la bande grisée marque le Dryas récent)



Source : d'après Taylor K.C. et al. (1997). Science.

Calibration du thermomètre isotopique $\delta^{18}\text{O}$ (points et droite redessinés, valeurs lues sur le graphique du sujet)



Les points représentent les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ des précipitations à l'origine de la glace en fonction des moyennes annuelles de la température, mesurées en différents endroits du Groenland. Cette relation empirique est utilisée pour quantifier les variations passées de température à partir des variations isotopiques enregistrées dans les glaces polaires.

Source : d'après Jouzel J. et al. (1994). *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*.

Document 2 : abondance relative de deux espèces de Foraminifères dans une carotte de sédiments océaniques réalisée au large de la Norvège (sondage A)

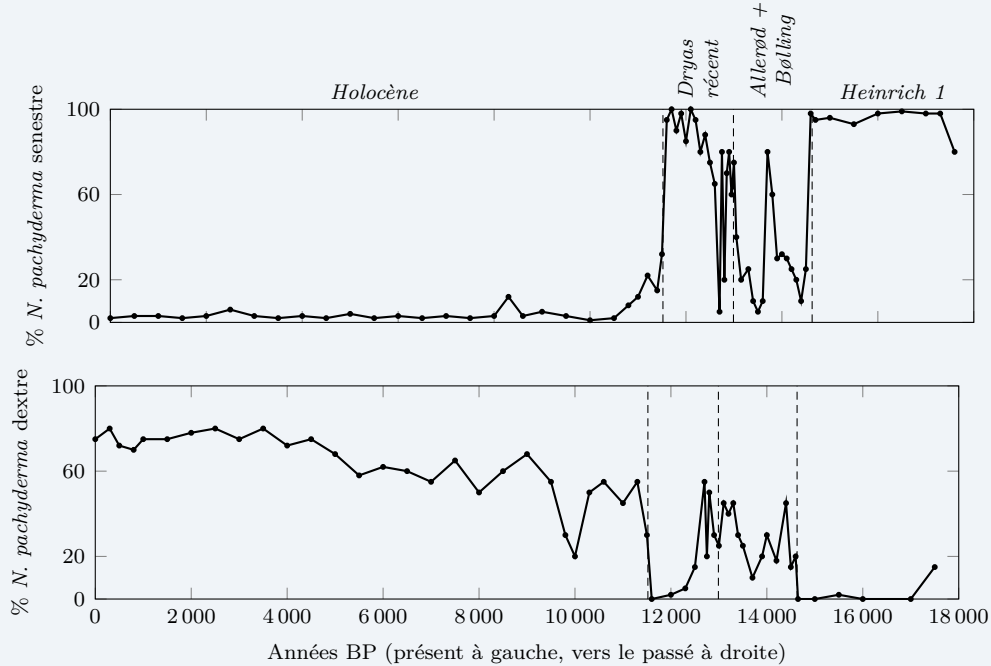
Les Foraminifères sont des organismes unicellulaires aquatiques, qui fabriquent une micro-coquille appelée également test. À la mort de l'organisme, son test peut se retrouver préservé dans les sédiments.

Test du foraminifère *Neogloboquadrina pachyderma* (microphotographie au microscope électronique à balayage) : le test apparaît formé de quatre loges globuleuses accolées, enroulées en spirale, la dernière étant la plus grosse ; leur surface est granuleuse. La barre d'échelle indique $50\ \mu\text{m}$: le test entier mesure environ $200\ \mu\text{m}$ (document reproduit dans le sujet PDF).

Le sens d'enroulement du test de *Neogloboquadrina pachyderma* dépend de la température des eaux de surface :

- quand les eaux de surface sont froides, le test s'enroule plus fréquemment vers la gauche (enroulement senestre) ;
- dans des eaux de surface plus chaudes, le test s'enroule plus fréquemment vers la droite (enroulement dextre).

Abondance relative des tests (en % du nombre total) à enroulement dextre ou sénestre de *Neogloboquadrina pachyderma* en fonction de l'âge des sédiments (courbes redessinées et simplifiées, valeurs lues sur le graphique du sujet ; les traits tiretés séparent les périodes : Holocène / Dryas récent / Allerød + Bølling / Heinrich 1)



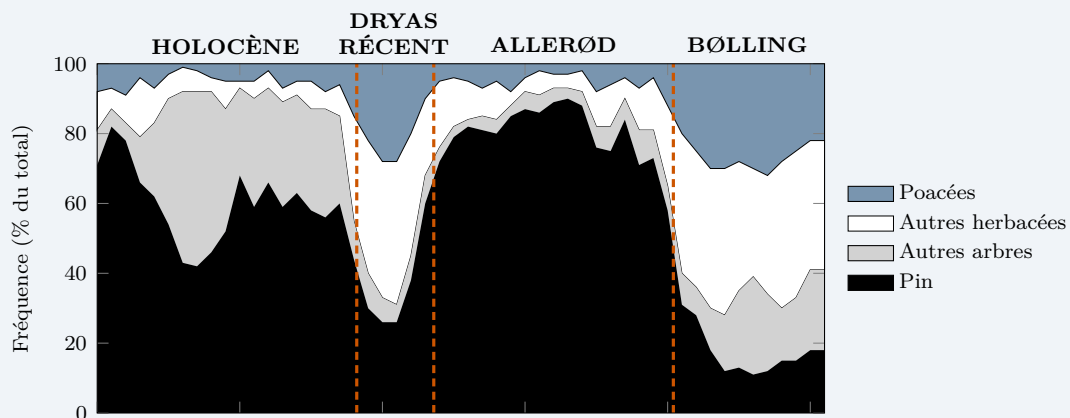
Remarque : d'autres espèces de Foraminifères sont présentes dans cette carotte de sédiments mais ne sont pas représentées sur le graphique pour des raisons de simplification.

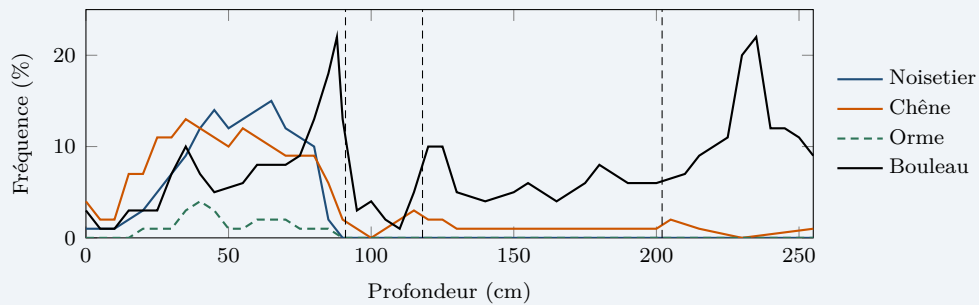
Source : d'après Klitgaard-Kristensen D., Sejrup H.P. et Hafliðason H. (2001). *Paleoceanography*.

Document 3 : données palynologiques

Document 3a : extrait du diagramme pollinique réalisé à partir d'une carotte de tourbe issue de la tourbière de la Borde (Pyrénées Orientales, France – sondage B)

Le diagramme du sujet donne, en fonction de la profondeur dans la carotte (de 0 à environ 255 cm ; le présent est en haut de la carotte, à gauche, le passé vers la droite), la fréquence des grains de pollen en % du nombre total de grains. Il est redessiné ci-dessous avec les valeurs lues, simplifiées tous les 5 cm. Le diagramme du haut est cumulé : de bas en haut, le pin, les autres arbres (dont ceux détaillés en dessous), qui forment ensemble l'**ensemble des arbres** ; puis les autres herbacées et les Poacées, qui forment l'**ensemble des herbacées**. Les périodes sont indiquées au-dessus : Holocène (0 à environ 91 cm), Dryas récent (91 à 118 cm), Allerød (118 à 202 cm), Bølling (au-delà de 202 cm).





Sur le diagramme du sujet, un point isolé sur l'axe signifie « pollen présent mais en toute petite quantité » (c'est le cas du chêne pendant l'Allerød et le Bølling, du noisetier et de l'orme près de la surface).

Source : d'après Reille M. (2013) *Leçons de palynologie et d'analyse pollinique*.

Document 3b : exigences climatiques et écologiques des espèces représentées sur le diagramme

Espèces	Exigences écologiques	Exigences climatiques
Bouleau	Résiste au froid. Exigeant en eau, craint la sécheresse.	Climat froid à tempéré humide
Pin	Supporte la chaleur. Ne craint pas les gelées. Craint les fortes pluies.	Climat froid à tempéré sec
Noisetier	Résiste au froid, humidité de l'air élevée. Craint la sécheresse.	Climat tempéré à chaud humide
Chêne	Préfère les climats assez chauds. Exige de la lumière.	Climat tempéré à chaud
Orme	Accepte les sols froids à humides. Craint la sécheresse et les grands froids.	Climat tempéré humide
Poacées (= Graminées) et autres herbacées	Supportent les très grands froids. Association de végétaux formant les steppes.	Tous climats, mais très majoritaires (par rapport aux arbres) lorsque les conditions climatiques sont particulièrement froides.

Associations végétales rencontrées en fonction du climat (température) : schéma d'un paysage qui, de gauche à droite, passe de la **toundra, steppe** (mousses, lichens, herbacées dont Poacées) à la **taïga** (conifères : pins, épicéas, sapins ; feuillus : bouleaux, saules), puis à la **forêt tempérée** (nombreux arbres feuillus : chênes, hêtres, noisetiers), sous une flèche « Climat de plus en plus chaud » orientée vers la droite (document reproduit dans le sujet PDF).

Source : d'après Académie de Versailles – SVT

Document 4 : la circulation océanique actuelle et passée

Document 4a : la circulation océanique globale actuelle et le climat de l'Europe

La circulation océanique globale est le résultat du couplage de la circulation de courants de surface chauds et de courants de fond froids et salés. Elle contribue à répartir la chaleur à la surface de la Terre.

Dans l'Atlantique Nord, le Gulf Stream, courant océanique chaud de surface, génère un apport de chaleur depuis l'équateur vers les zones plus au Nord, qui explique entre autres les températures relativement douces de la façade atlantique de l'Europe.

Près du Groenland, les eaux océaniques de surface plongent vers les profondeurs, formant le courant profond.

Il existe un lien entre la plongée des eaux de surface et le Gulf Stream : une baisse de la vitesse de plongée des eaux de surface est susceptible d'entraîner un ralentissement du Gulf Stream, limitant l'influence thermique de ce dernier sur l'Europe de l'Ouest.

La circulation océanique globale actuelle : planisphère sur lequel un ruban continu fait le tour du globe. Les flèches blanches figurent le **courant de surface chaud** : il remonte l'Atlantique le long de l'Amérique du Nord (étiquette « Gulf Stream ») jusqu'à la mer du Groenland ; un cercle en tirets y marque la **zone de plongée des eaux de surface denses (car très salées et refroidies) dans l'Atlantique Nord**. De là, les flèches grises figurent le **courant de fond froid et très salé**, qui descend tout l'Atlantique, contourne l'Afrique et l'Antarctique, puis remonte dans l'océan Indien et le Pacifique nord, où des flèches marquent la **remontée des eaux profondes** ; le courant de surface chaud revient ensuite vers l'Atlantique par l'Indonésie et le cap de Bonne-Espérance (document reproduit dans le sujet PDF).

Source : d'après Boesch Q. (2022). *Climatologie, à la découverte des climats passés, présents et futurs de notre planète*.

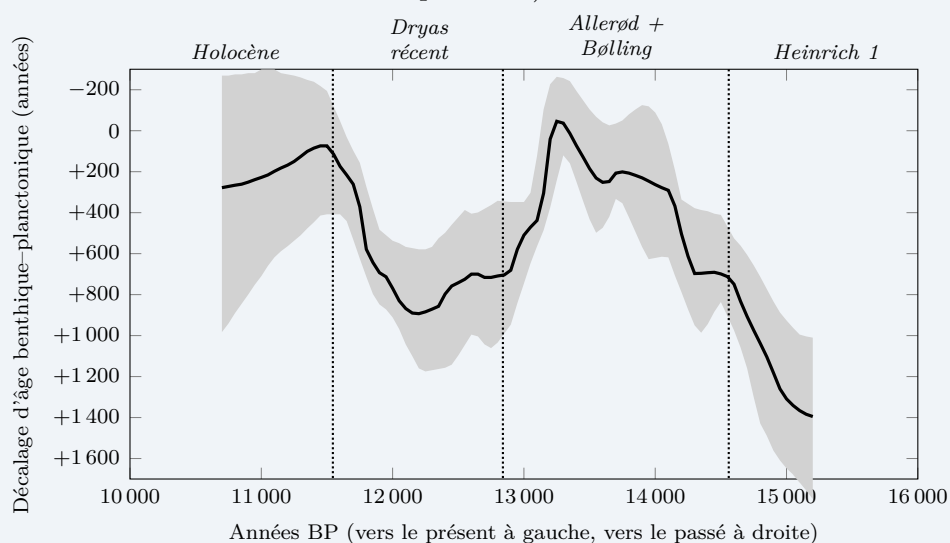
Document 4b : un autre indicateur mesuré dans une carotte de sédiments océaniques réalisée en Mer de Norvège (sondage C)

Des chercheurs ont réalisé des mesures afin d'estimer les variations de la vitesse de plongée des eaux océaniques de surface. Ils déterminent un indicateur appelé « décalage d'âge benthique-planctonique » à partir des tests des foraminifères présents dans les sédiments.

Estimé grâce au ^{14}C , le décalage d'âge entre les foraminifères benthiques (qui vivent au fond de l'océan) et planctoniques (qui vivent à la surface) permet d'estimer la vitesse à laquelle se fait le mélange entre les eaux océaniques proches de la surface et les eaux océaniques de fond. Quand le décalage d'âge est faible, cela signifie que le mélange se fait vite, et donc que la plongée des eaux de surface est rapide. Quand le décalage d'âge augmente (vers des valeurs jusqu'à +1 600 années), cela signifie que le mélange se fait plus lentement et donc que la plongée des eaux de surface ralentit.

Décalage d'âge benthique-planctonique donné en fonction de l'âge du sédiment (en années BP)

Trait noir = moyenne modélisée ; secteur grisé = intervalle de confiance à 95 %. (Courbe et secteur redessinés, valeurs lues sur le graphique du sujet ; les traits pointillés séparent les périodes.)



Source : d'après Muschitiello F. et al. (2019). *Nat. Commun.*

Corrigé

Introduction La dernière glaciation (Würm) a culminé il y a environ 21 000 ans ; depuis, la Terre est entrée dans l'interglaciaire actuel, l'**Holocène**. Cette déglaciation n'a pas été régulière : après un réchauffement (Bølling–Allerød), le **Dryas récent** (12 800 à 11 500 ans BP) interrompt brutalement la sortie de glaciation autour de l'Atlantique Nord. Le climat d'une époque révolue ne se mesure pas : on le reconstitue par des **indicateurs paléoclimatiques** enregistrés dans des archives naturelles. Le sujet en fournit trois (carte de référence) : le thermomètre isotopique d'une carotte de glace du Groenland (document 1), l'enroulement d'un foraminifère des sédiments marins au large de la Norvège (document 2), les pollens d'une tourbière des Pyrénées (document 3). Deux questions : *quel climat régnait au Dryas récent ?* et *quel mécanisme a pu faire entrer la région dans cet épisode ?* Démarche : caractériser le climat par la convergence des trois archives (documents 1 à 3), puis chercher dans la circulation océanique (document 4) une cause compatible avec la chronologie observée.

Document 1 — le thermomètre isotopique de la glace du Groenland **Ce que je vois** : pendant l'Holocène (0 à 10 000 ans BP), le $\delta^{18}\text{O}$ de la glace oscille autour de -35‰ . Entre 15 000 et 25 000 ans BP (période glaciaire), il vaut environ -40‰ (-38 à -42). Le Bølling–Allerød (14 700 à 12 800 ans BP) remonte vers -36 à -38‰ . Au **Dryas récent**, la valeur retombe à -40 à -41‰ (minimum lu à $-41,6\text{‰}$ vers 12 500 ans BP), c'est-à-dire aux valeurs glaciaires, puis remonte très vite vers -37‰ à 11 450 ans BP et -35 ensuite. La chute à l'entrée (de $-38,5$ à $-40,5$ entre 12 850 et 12 750 ans BP) comme la remontée à la sortie (de -40 à -38 entre 11 620 et 11 450) se font en un à deux siècles seulement. **Ce que j'en déduis** : la molécule d'eau lourde H_2^{18}O condense plus facilement que la légère : plus l'air qui arrive au Groenland est froid, plus les précipitations sont appauvries en ^{18}O , donc plus le $\delta^{18}\text{O}$ est négatif. La calibration le quantifie : la droite passe par environ (-34 °C ; -37‰) et (-15 °C ; -24‰), soit une pente de $13/19 \approx 0,7\text{‰}$ par degré : **1‰ correspond à environ 1,5 °C**. L'écart Holocène–Dryas récent, $-35 - (-40,5) = 5,5\text{‰}$, représente donc un refroidissement d'environ $5,5 \times 1,5 \approx 8\text{ °C}$ de la moyenne annuelle au Groenland ; l'écart avec l'Allerød qui précède (-38 à $-40,5$, soit $2,5\text{‰}$) vaut 3 à 4 °C. *Ce que le correcteur attend* : dire que cette calibration est établie dans l'espace (divers sites actuels) et transposée au temps par le principe d'actualisme : elle donne un ordre de grandeur, pas une température au degré près. **Conclusion partielle** : au Groenland, le Dryas récent est un retour brutal, pendant 1 300 ans, à un climat de type glaciaire, environ 8 °C plus froid que l'Holocène.

Document 2 — les foraminifères, thermomètre des eaux de surface au large de la Norvège **Ce que je vois** : le sondage A est en mer, sur la route du courant chaud qui longe la Norvège. Pendant l'Holocène, les tests **dextres** dominant (50 à 80 %) et les **senestres** sont rares (0 à 5 %). Avant 14 600 ans BP (Heinrich 1, période glaciaire), c'est l'inverse : 95 à 100 % de senestres, 0 % de dextres. Au Bølling–Allerød, les deux formes coexistent et fluctuent (senestres 5 à 80 %, dextres 10 à 50 %). Au **Dryas récent**, dès 11 600–12 200 ans BP les senestres remontent à 90–100 % et les dextres tombent à 0–5 % ; la fin de la période (12 200–12 900) montre des oscillations rapides. À 11 500 ans BP, la bascule vers l'Holocène se fait en moins de deux siècles. **Ce que j'en déduis** : l'enroulement senestre est plus fréquent en eau froide : les eaux de surface au large de la Norvège étaient chaudes à l'Holocène, froides pendant Heinrich 1 et à nouveau froides, comme en pleine période glaciaire, pendant le **Dryas récent**. Ce proxy est statistique et d'autres espèces ne sont pas figurées : il donne une tendance, pas une température. **Conclusion partielle** : le refroidissement du Dryas récent atteint l'océan de surface de l'Atlantique Nord-Est, là où passe aujourd'hui l'eau chaude venue du sud.

Document 3 — les pollens, archive de la végétation continentale des Pyrénées **Ce que je vois (3a)** : la tourbière de la Borde est sur le continent, dans les Pyrénées. Pendant l'Allerød (118 à 202 cm), les arbres représentent 80 à 95 % des pollens, presque uniquement du

pin (70 à 90 %) ; Poacées 2 à 8 %, bouleau 4 à 10 %, noisetier et orme absents, chêne à l'état de traces. Au **Dryas récent** (91 à 118 cm), les arbres chutent à 30–45 % (pin 25–30 %) et les herbacées montent à 55–70 %, dont les **Poacées** qui passent de 5 % à 20–30 % ; le bouleau reste à 2–5 % puis forme un pic (environ 20 %) à la limite avec l'Holocène (vers 90 cm). À l'**Holocène** (0 à 91 cm), les arbres remontent à 80–95 %, mais leur composition change : le pin recule (40 à 60 %) au profit du **noisetier** (10 à 15 % entre 45 et 75 cm), du **chêne** (10 à 13 %) et de l'**orme** (3 à 4 %). Le **Bølling** (au-delà de 202 cm) ressemble au Dryas récent : arbres 30–40 %, Poacées 25–35 %, bouleau jusqu'à 20 %. **Ce que j'en déduis (avec 3b)** : la végétation reflète le climat régional. Pin dominant et absence des feuillus exigeants : l'Allerød porte une **taïga**, climat froid à tempéré sec. Poacées et autres herbacées très majoritaires, pin résiduel : le Dryas récent porte une **steppe**, association « très majoritaire lorsque les conditions climatiques sont particulièrement froides » ; l'absence du noisetier et de l'orme, qui « craignent la sécheresse », et le recul du bouleau « exigeant en eau » suggèrent un climat aussi **plus sec**. Le pic de bouleau, arbre pionnier qui « résiste au froid », marque la recolonisation au tout début de l'Holocène ; puis noisetier, chêne et orme installent la **forêt tempérée** feuillue, climat tempéré à chaud et humide. *Ce que le correcteur attend* : l'axe est une profondeur, pas un temps (la vitesse d'accumulation de la tourbe varie) ; le pollen de pin, léger et abondant, est surreprésenté ; on raisonne donc sur les changements d'assemblages, pas sur un pourcentage isolé. **Conclusion partielle** : le refroidissement du Dryas récent s'est fait sentir jusque dans le sud de la France, où la forêt de conifères a fait place à la steppe, comme au Bølling qui sortait à peine de la glaciation.

Mise en relation — caractériser le climat du Dryas récent Trois archives indépendantes (glace, sédiment marin, tourbe), trois régions (Groenland vers 72° N, mer de Norvège, Pyrénées vers 42° N) convergent :

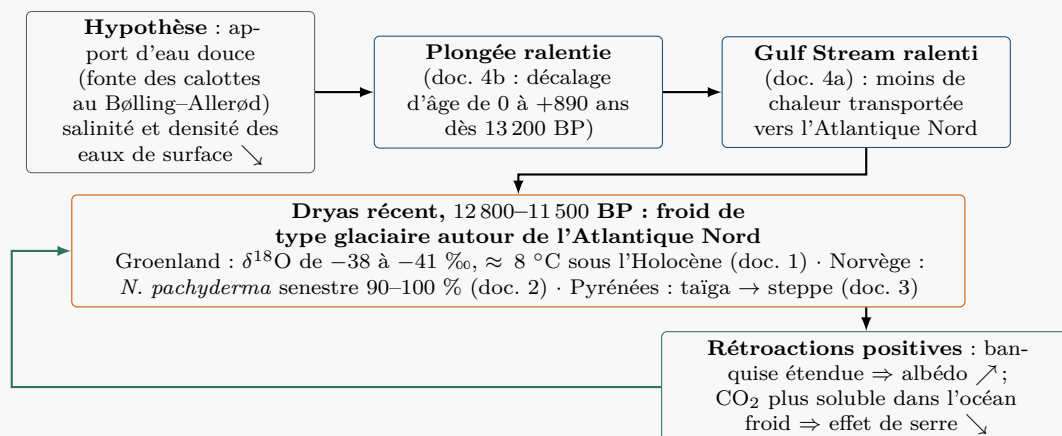
	Allerød (avant)	Dryas récent	Holocène (après)
Glace, GISP2	$\delta^{18}\text{O} \approx -38 \text{ ‰}$	-40 à -41 ‰ : $\approx 8 \text{ °C}$ sous l'Holocène	$\approx -35 \text{ ‰}$
Sédiments, Norvège	senestres 5–80 %, eaux tempérées instables	senestres 90–100 % : eaux de surface froides	dextres 50–80 % : eaux chaudes
Tourbe, Pyrénées	taïga de pins (arbres 80–95 %)	steppe (herbacées 55–70 %, Poacées 20–30 %) : froid et sec	forêt tempérée (noisetier, chêne, orme)

Le Dryas récent est donc un **épisode froid et sec de type glaciaire**, d'environ 1 300 ans, qui interrompt la déglaciation ; il est **régional** (autour de l'Atlantique Nord, du Groenland aux Pyrénées), d'amplitude forte (de l'ordre de 8 °C au Groenland, plusieurs degrés en Europe) et surtout **rapide** : l'entrée comme la sortie se font en un à deux siècles. Cette rapidité exclut les paramètres orbitaux de Milankovitch, dont les périodes se comptent en dizaines de milliers d'années et qui, à cette époque, poussaient au réchauffement : il faut un mécanisme régional et rapide.

Document 4a — l'océan redistribue la chaleur **Ce que je vois** : le courant de surface chaud (Gulf Stream) apporte la chaleur de l'équateur vers l'Atlantique Nord et adoucit la façade atlantique de l'Europe. Près du Groenland, les eaux de surface, refroidies et très salées donc **denses**, plongent et alimentent le courant de fond froid et salé qui parcourt tous les océans. Le texte précise le lien : si la plongée ralentit, le Gulf Stream ralentit et son influence thermique sur l'Europe diminue. **Ce que j'en déduis** : la plongée des eaux près du Groenland est le **moteur** de cette circulation ; toute perturbation de la densité des eaux de surface (température, salinité) dans la zone de plongée peut donc, sans changer l'énergie reçue par la Terre, refroidir précisément la région étudiée par les documents 1 à 3.

Document 4b — la vitesse de plongée a chuté juste avant le Dryas récent Ce que je vois : le sondage C est en mer de Norvège, près de la zone de plongée. Le décalage d'âge benthique–planctonique vaut environ +1 400 ans à 15 200 ans BP (Heinrich 1), diminue pendant le Bølling–Allerød jusqu'à un minimum voisin de 0 vers 13 250–13 300 ans BP, puis **remonte dès 13 200 ans BP** : +440 ans à 13 100, +510 à 13 000, +710 à 12 800 (limite du Dryas récent) et un maximum d'environ +890 ans vers 12 150–12 200 ans BP. Il redescend ensuite : +260 à 11 700, +175 à 11 600, +85 à 11 400 (Holocène). Le secteur grisé est large (de l'ordre de ± 300 ans), mais il ne se recouvre pas entre les deux dates clés : –260 à +120 ans vers 13 300, +580 à +1 160 ans vers 12 200. La hausse est donc réelle. **Ce que j'en déduis** : un décalage faible signifie un mélange rapide, donc une plongée rapide ; un décalage élevé, une plongée ralentie. Pendant le Bølling–Allerød la plongée était vigoureuse ; elle a **fortement ralenti à partir de 13 200 ans BP**, soit trois à quatre siècles **avant** le début du refroidissement du Dryas récent (12 800), et elle est restée lente pendant toute la période ; sa reprise (de 12 100 à 11 600) précède la sortie du Dryas récent. La chronologie est celle d'une cause qui précède son effet.

Mise en relation — une hypothèse pour l'entrée dans le Dryas récent En croisant le mécanisme du document 4a et la chronologie du document 4b, on formule l'hypothèse suivante : **le ralentissement de la plongée des eaux de surface dans l'Atlantique Nord a ralenti le Gulf Stream, donc l'apport de chaleur vers le nord, ce qui a refroidi l'ensemble de la région** : eaux de surface froides au large de la Norvège (document 2), air plus froid de 8 °C sur le Groenland (document 1), steppe dans les Pyrénées (document 3). Pourquoi la plongée a-t-elle ralenti ? Les documents ne le disent pas ; une hypothèse cohérente avec le document 4a est qu'un **apport massif d'eau douce** issu de la fonte des calottes pendant le réchauffement du Bølling–Allerød a diminué la salinité, donc la densité des eaux de surface, qui ont cessé de plonger. Le refroidissement a ensuite pu être amplifié par des **rétroactions positives** connues du cours : extension de la banquise qui augmente l'**albédo**, et plus grande **solubilité du CO₂** dans un océan froid, qui réduit l'effet de serre. Le caractère régional du Dryas récent, mentionné par l'énoncé, s'explique bien : l'énergie reçue par la Terre n'a pas changé, c'est sa **répartition** par l'océan qui a été perturbée. *Ce que le correcteur attend* : le document 4b établit une coïncidence temporelle, et l'ordre des événements (plongée ralentie, puis refroidissement) rend la causalité plausible ; il ne la démontre pas à lui seul : c'est le mécanisme physique du document 4a qui donne à la corrélation le statut d'hypothèse explicative.



Conclusion Le Dryas récent fut, autour de l'Atlantique Nord, un retour brutal d'environ 1 300 ans à un climat froid et sec de type glaciaire, attesté par la convergence de trois indicateurs indépendants : un $\delta^{18}\text{O}$ de la glace groenlandaise abaissé de 5,5 ‰ (environ 8 °C), des eaux de

surface froides au large de la Norvège et une steppe à la place de la taïga dans les Pyrénées. Son entrée coïncide avec, et suit de quelques siècles, un effondrement de la plongée des eaux de surface en mer de Norvège : l'hypothèse la plus économique est qu'un ralentissement de la circulation océanique, en privant l'Atlantique Nord de la chaleur du Gulf Stream, a déclenché l'épisode, amplifié ensuite par les rétroactions de l'albédo et du CO₂. Cet exemple montre qu'un climat peut basculer en quelques décennies à l'échelle d'une région sans changement de l'énergie solaire reçue : c'est l'une des raisons pour lesquelles les modèles du climat futur surveillent la stabilité de la circulation atlantique face à la fonte du Groenland.