

**ÉCOLES NORMALES SUPÉRIEURES
ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES**

CONCOURS D'ADMISSION SESSION 2019

FILIÈRE BCPST

COMPOSITION DE BIOLOGIE

Épreuve commune aux ENS de Paris-Saclay, Lyon, Paris et à l'ENPC

Durée : 6 heures

L'utilisation des calculatrices n'est pas autorisée pour cette épreuve.

Thème de l'épreuve :

Les flux de matière dans le vivant

L'épreuve est constituée de **trois parties indépendantes**.

Les parties peuvent être abordées dans l'ordre de votre choix mais doivent toutes être traitées. Le temps à consacrer à chacune d'elles est conseillé ci-dessous.

	Pages	Durée conseillé e	Thème
Partie A – Sujet de synthèse	3	2 h	Les échanges de matière entre l'animal et le milieu extérieur
Partie B – Sujet sur documents	4-14	2 h 30	Conséquences des perturbations anthropiques du cycle du carbone
Partie C – Sujet sur documents	15-21	1 h 30	Flux de matière dans un écosystème après le retrait d'un glacier

Les résultats présentés dans les parties B et C sont issus d'expériences reproduites au moins 3 fois de manière indépendante. Les graphiques représentent la moyenne des résultats et leur écart-type (barres d'erreurs). Les images et données brutes sont représentatives de l'ensemble des résultats obtenus.

Lors de l'évaluation, les correcteurs et correctrices attacheront une importance particulière à :

- la justification des raisonnements
- la clarté et la concision des réponses
- la qualité et la précision des illustrations
- l'orthographe, la grammaire, la syntaxe et la présentation

PARTIE A – SUJET DE SYNTHÈSE

Les échanges de matière entre l'animal et le milieu extérieur

Vous discuterez de l'importance de ces échanges pour la vie cellulaire et des modalités de ces échanges en fonction du milieu de vie de l'organisme. Vous vous limiterez aux échanges de nutriments et de gaz respiratoires.

PARTIE B – SUJET SUR DOCUMENTS

Conséquences des perturbations anthropiques du cycle du carbone

D'après certains modèles prédictifs, la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone (CO_2) pourrait doubler d'ici la fin du siècle. Les êtres vivants seraient donc soumis à une concentration atmosphérique en CO_2 jamais atteinte depuis près de 26 millions d'années.

On étudie ici les effets d'un enrichissement de l'atmosphère en CO_2 sur les végétaux chlorophylliens à fixation du carbone en C3.

SOUS-PARTIE 1 : Réponses de végétaux chlorophylliens à fixation du carbone en C3 à une augmentation de la concentration atmosphérique en CO_2

On dispose de plants à fixation du carbone en C3 chez lesquels l'activité de la ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygénase (RubisCO) a été mesurée (figure 1A). Les plants sont séparés en deux lots et cultivés en chambre de 30x30x50 cm : le lot A sous atmosphère actuelle (400 μmol de CO_2 / mol d'air) et le lot E sous atmosphère enrichie en CO_2 (700 μmol de CO_2 / mol d'air). Tous les autres paramètres de culture sont identiques. Avant la fin du développement végétatif des plants, on mesure la concentration en CO_2 intercellulaire (c_i) et la production nette (également appelée assimilation journalière de carbone) (P_N) (figure 1B). En parallèle, on injecte du dioxygène marqué à l'oxygène lourd (^{18}O) dans les chambres et on mesure la quantité de glycolate, un acide à deux carbones issu de l'oxygénation du ribulose-1,5-biphosphate (figure 1C).

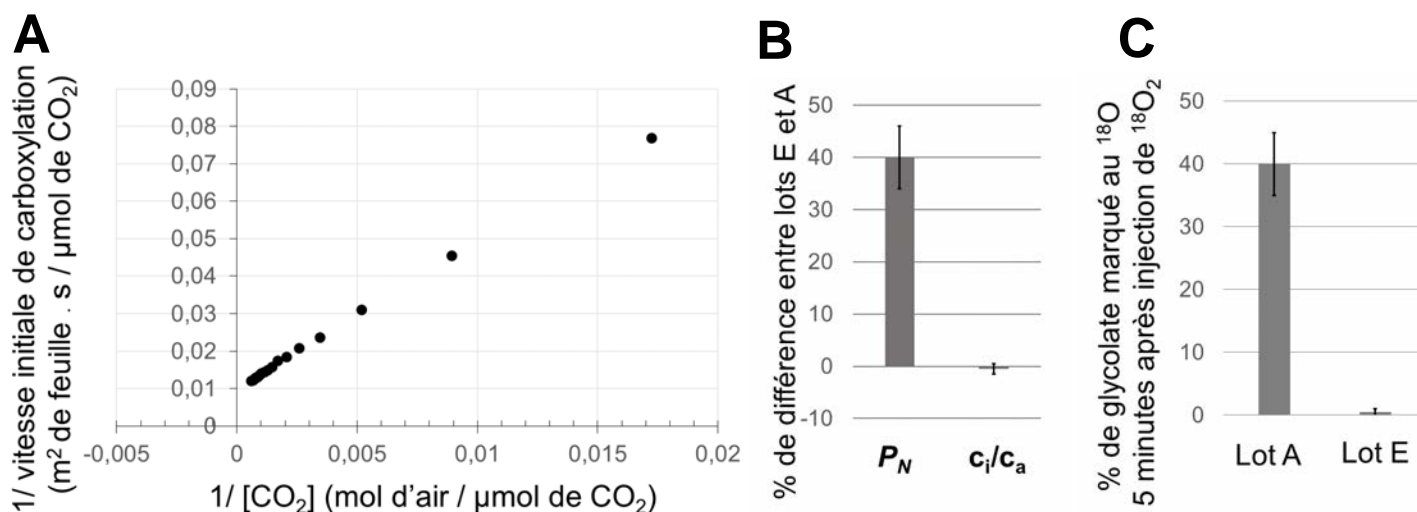


Figure 1 : Modalités de la production nette des plants cultivés sous atmosphère actuelle (lot A) et sous atmosphère enrichie en CO_2 (lot E).

A. Activité de la RubisCO de plants à fixation du carbone en C3.

B. Pourcentage moyen de différence entre la valeur du paramètre mesuré sur les plants du lot E et celle mesurée sur les plants du lot A ($100 \times [\text{Lot E} - \text{Lot A}] / \text{Lot A}$). P_N : production nette. c_i/c_a : ratio de la concentration intercellulaire (c_i) sur la concentration atmosphérique (c_a) en CO_2 .

C. Fraction de glycolate marqué à l'oxygène lourd (^{18}O) mesurée 5 minutes après injection de dioxygène lourd ($^{18}\text{O}_2$) dans les chambres du lot A et E.

Question 1 :

1a : Rappeler les réactions catalysées par la RubisCO.

1b : À partir des données de la figure 1A, estimer les paramètres cinétiques de la RubisCO puis conclure sur le mode de fonctionnement de l'enzyme dans les conditions expérimentales des lots A et E.

1c : Analyser et interpréter les résultats présentés figures 1B et 1C.

1d : Conclure sur les conséquences d'une concentration accrue en CO₂.

Sur les plants de chaque lot, au même stade végétatif, on calcule le rapport de la surface de l'ensemble des feuilles sur la surface de leur projection au sol que l'on appelle indice de surface foliaire (figure 2A). Puis, on photographie les plants (figure 2B) et on analyse une coupe transversale de leurs feuilles (figure 2C).

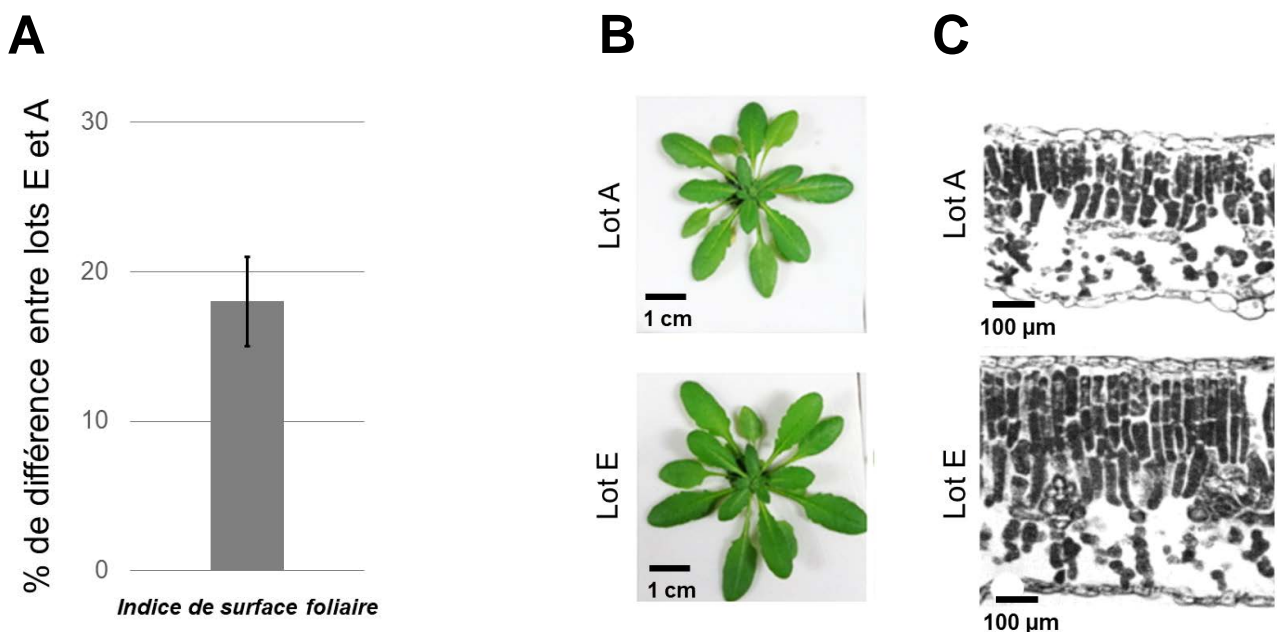


Figure 2 : Phénotypes des feuilles des plants du lot A et du lot E.

A. Pourcentage moyen de différence entre l'indice de surface foliaire mesuré sur les plants du lot E et celui mesuré sur les plants du lot A ($100 \times [\text{Lot E} - \text{Lot A}] / \text{Lot A}$).

B. Photographies de plants représentatifs du lot A et E au même stade végétatif.

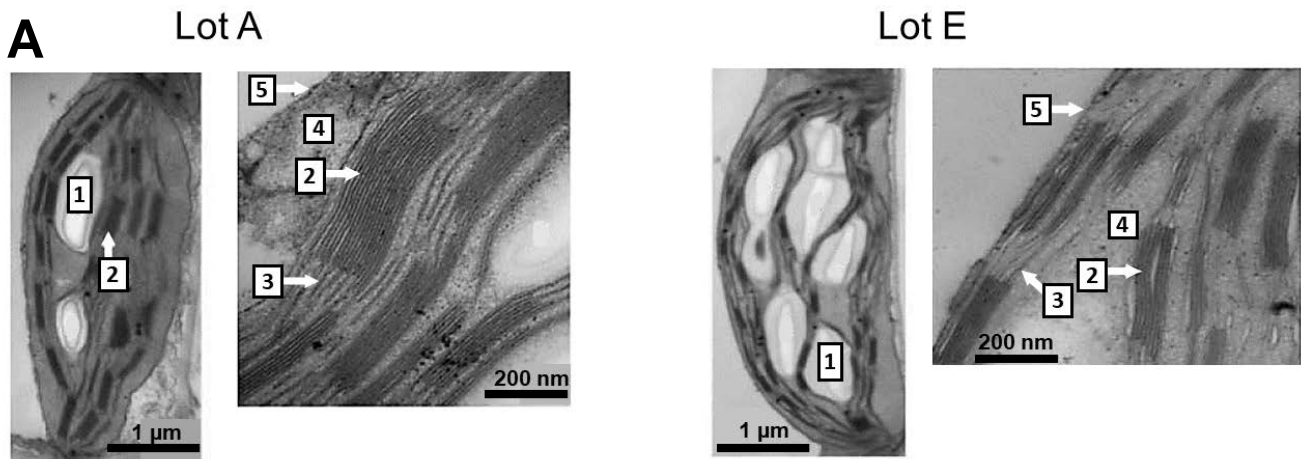
C. Coupes transversales de feuilles en fin de développement de plants représentatifs du lot A et E observées au microscope optique.

Question 2 :

2a : Analyser et interpréter les résultats présentés figure 2.

2b : À partir de vos interprétations, discuter des conséquences potentielles des modifications morphologiques et anatomiques décrites figure 2 sur la production nette des plants cultivés sous atmosphère enrichie en CO₂.

On purifie puis observe par microscopie électronique à transmission les chloroplastes des feuilles des plants des lots A et E (figure 3A). On isole les structures identifiées par les chiffres 2 et 3 sur les électronographies (figure 3A) (fractions 2 et 3 respectivement), et on mesure leur composition protéique et leur vitesse de production de dioxygène (figure 3B). La figure 3B présente les résultats de ces mesures pour le lot E ; les résultats pour le lot A sont similaires.



B

Fraction	Rapport PSI/PSII	Production d'O ₂ (µmol / (mg chl.) / h)
2	0,1	249
3	3,2	78

Figure 3 : Ultrastructure et biochimie de chloroplastes extraits de plants du lot A et du lot E.

A. Chloroplastes de plants représentatifs du lot A et E observés par microscopie électronique à transmission.
B. Rapports entre les quantités de photosystème I (PSI) et de photosystème II (PSII) et vitesses de production de dioxygène (en µmol d'O₂ par mg de chlorophylle par heure) des structures du lot E légendées par les chiffres 2 et 3 en figure 3A.

Question 3 :

3a : Quelles sont les principales différences entre la microscopie optique et la microscopie électronique à transmission ?

3b : Identifier les structures légendées par les chiffres 1 à 5.

3c : Analyser et interpréter les résultats présentés figure 3.

3d : Discuter des avantages métaboliques potentiels conférés par la modification de l'ultrastructure chloroplastique des plants cultivés sous atmosphère enrichie en CO₂.

On mesure l'évolution journalière de l'évapotranspiration des plants du lot A et E (figure 4A). En parallèle, on transfère des plants du lot A dans les conditions de culture du lot E pendant 1 heure puis on les replace dans leurs conditions de culture initiales. On mesure leur conductance stomatique (figure 4B) et on observe leurs stomates en microscopie optique (figure 4C) au cours de ces transferts.

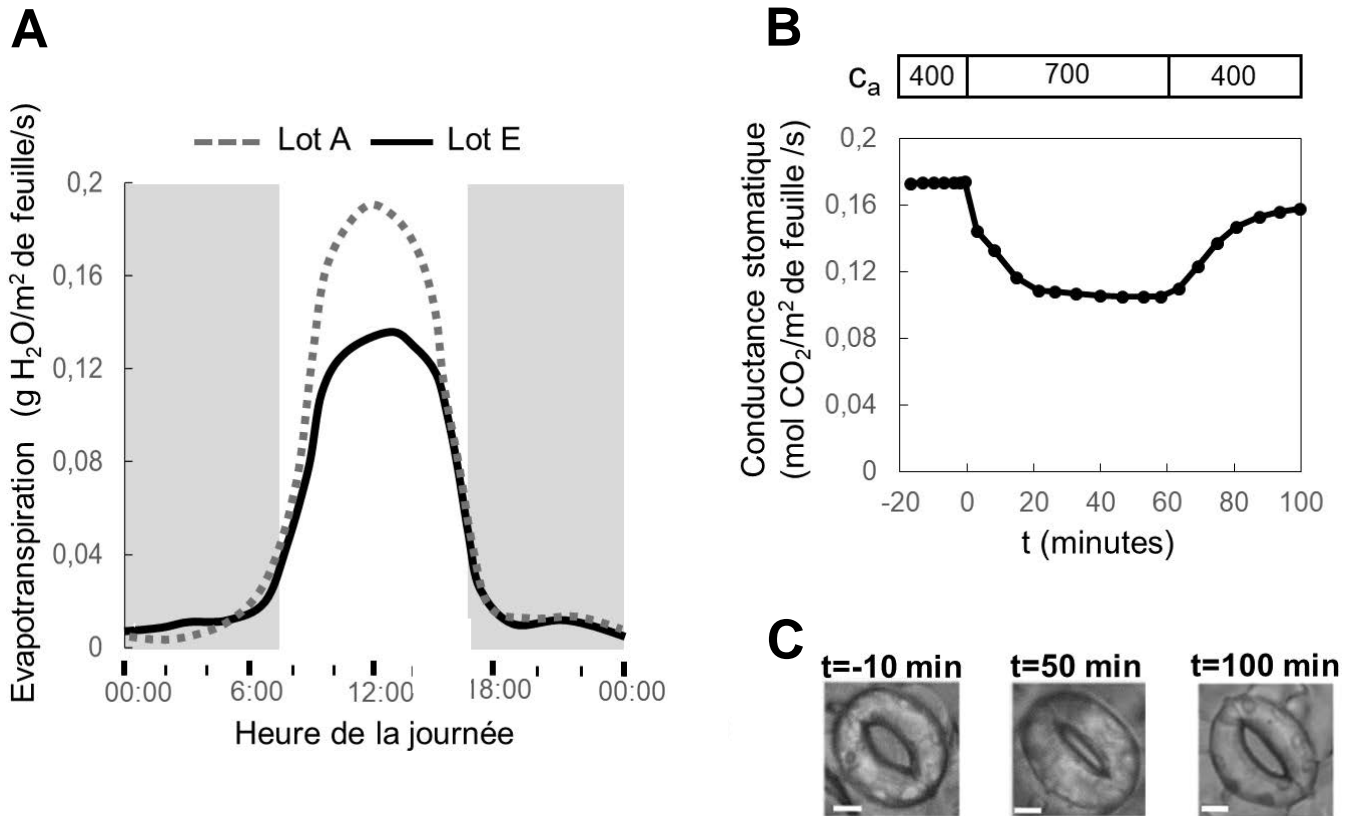


Figure 4 : Évapotranspiration, conductance stomatique et morphologie des stomates de plants du lot A et du lot E.

A. Évapotranspiration moyenne de plants du lot A et E au cours d'une journée. La nuit est repérée par un fond grisé. Quand les courbes ne se superposent pas, les valeurs de l'évapotranspiration sont significativement différentes.

B. Conductance stomatique moyenne de plants du lot A ($c_a = 400 \mu\text{mol de CO}_2/\text{mol d'air}$) lors de leur transfert dans les conditions du lot E ($c_a = 700 \mu\text{mol de CO}_2/\text{mol d'air}$) puis lors de leur retour dans les conditions de culture initiales. c_a = concentration atmosphérique en CO₂.

C. Photographies représentatives de stomates de plants du lot A, 10 min avant transfert et 50 ou 100 min après transfert dans les conditions de culture du lot E (figure 4B). Barre d'échelle : 20 μm .

Question 4 :

4a : Analyser et interpréter les résultats présentés figure 4.

4b : À partir de vos interprétations et de vos connaissances, expliquer en quoi la modification de la conductance stomatique consécutive à l'enrichissement atmosphérique en CO₂ peut avoir des effets antagonistes sur la croissance foliaire des plants.

On cherche à identifier les mécanismes à l'origine de l'augmentation de la surface des feuilles des plants du lot E grâce à l'étude de deux lots de plants mutants présentant des défauts de croissance foliaire :

- le mutant *NCE* chez lequel une enzyme clef de la voie de biosynthèse d'acide abscissique est surexprimée,
- le mutant *MAL* chez lequel l'export du maltose hors du chloroplaste est bloqué.

On mesure la conductance stomatique diurne (figure 5A), la quantité foliaire d'amidon en fin de journée et en fin de nuit à différents stades du développement de la feuille (figure 5B) ainsi que la croissance foliaire (figure 5C) chez des plants sauvages et mutants (*NCE* et *MAL*) cultivés sous atmosphère actuelle.

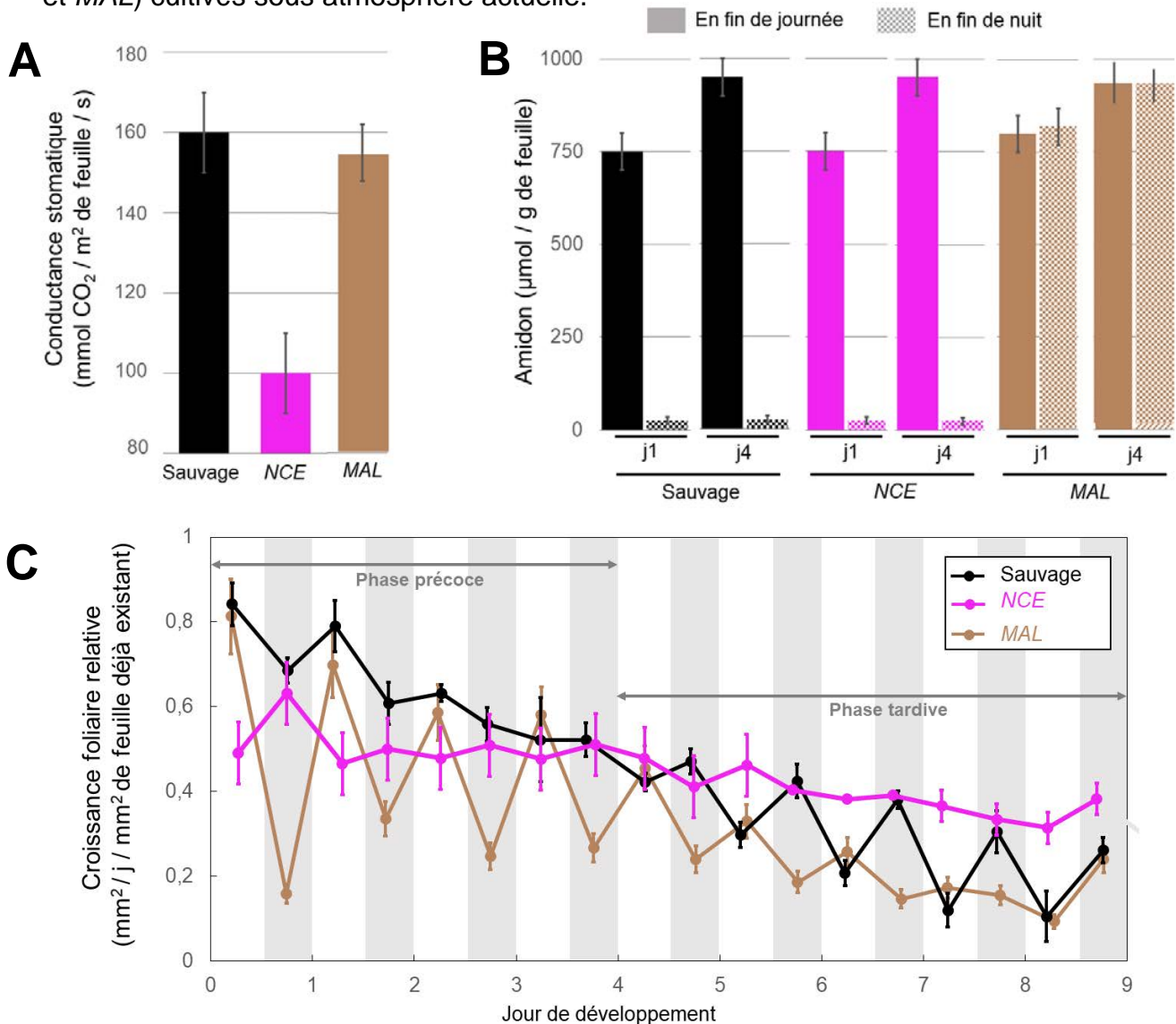


Figure 5 : Conductances stomatiques, quantité d'amidon et croissance foliaire de plants sauvages et mutants cultivés sous atmosphère actuelle.

A. Conductance stomatique diurne de plants sauvages et mutants (*NCE* et *MAL*). Moyenne des valeurs obtenues entre le 1^{er} et le 9^{ème} jour de développement.

B. Quantité moyenne d'amidon dans les feuilles de plants sauvages et mutants (*NCE* et *MAL*) en fin de journée et en fin de nuit au 1^{er} (j1, début de phase précoce) et au 4^{ème} jour (j4, début de phase tardive) de développement.

C. Croissance foliaire relative (en mm² de feuille formé par jour par mm² de feuille déjà existant) diurne (zones blanches) et nocturne (zones grisées) des feuilles de plants sauvages ou mutants (*NCE* et *MAL*) jusqu'au 9^{ème} jour de développement sous atmosphère actuelle.

Question 5 :

5a : Analyser et interpréter les résultats présentés figure 5. D'après vos interprétations, quels facteurs influencent la croissance foliaire ?

5b : En tenant compte de vos réponses précédentes, proposer des mécanismes qui pourraient expliquer l'augmentation de la surface foliaire lors d'un enrichissement de l'atmosphère en CO₂.

Question 6 : Rédiger un bilan résumant les différentes réponses de plants à fixation du carbone en C3 conséquentes à un enrichissement de l'atmosphère en CO₂. Vous préciserez les liens de causes à effets hypothétiques entre les différents phénomènes observés.

SOUS-PARTIE 2 : Réponses de végétaux chlorophylliens à fixation du carbone en C3 à un enrichissement prolongé de l'atmosphère en CO₂

Afin d'évaluer sur le long terme les réponses des plantes à un enrichissement de l'atmosphère en CO₂, des expériences sont conduites pendant plusieurs années en champ grâce au dispositif FACE (*Free-Air Carbon dioxide Enrichment* ; enrichissement en CO₂ à l'air libre). Le dispositif FACE permet de contrôler finement la concentration atmosphérique en CO₂ au niveau de parcelles grâce à un système de régulation par rétrocontrôle.

On dispose de plants vivaces à feuilles persistantes et à fixation du carbone en C3 chez lesquels les feuilles matures (c'est-à-dire ayant terminé leur développement) survivent plusieurs saisons. Ces plants sont répartis sur 4 parcelles adjacentes. La concentration atmosphérique en CO₂ et la fertilisation des sols en azote diffèrent d'une parcelle à l'autre selon les modalités décrites en figure 6A. Après plusieurs années de culture, des plants des 4 parcelles sont prélevés et placés en chambres afin de faire varier la concentration intercellulaire de CO₂ (c_i). Pour chaque concentration c_i , la production nette (P_N , également appelée assimilation journalière de carbone) est mesurée (figure 6B).

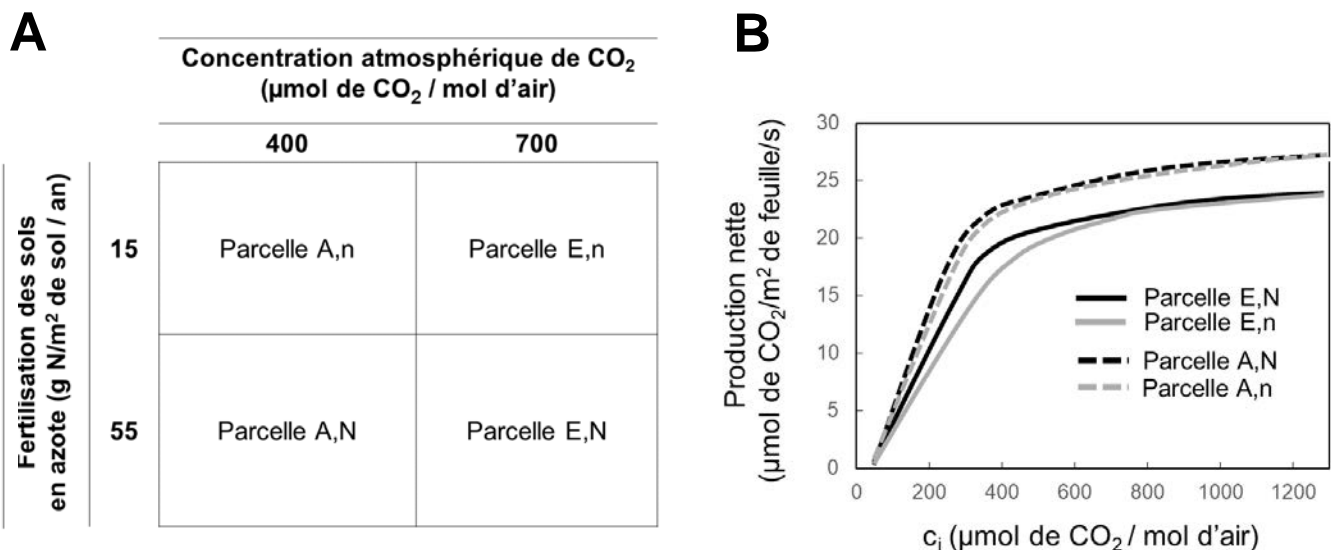


Figure 6 : Présentation du dispositif FACE et production nette des plants cultivés sur les différentes parcelles.

A. Détails des conditions de culture sur les différentes parcelles.

B. Production nette (P_N) en fonction de la concentration en CO₂ intercellulaire (c_i). Quand les courbes ne se superposent pas, les productions nettes sont significativement différentes.

Question 7 : Dresser un bilan comparatif des avantages et des inconvénients du système en chambre (sous-partie 1 page 4) et du système FACE pour l'étude des conséquences d'un enrichissement de l'atmosphère en CO₂.

Question 8 :

8a : D'après vos connaissances sur la photosynthèse, expliquer l'allure biphasique des courbes de la figure 6B.

8b : Analyser et interpréter les résultats présentés figure 6B.

On cherche à comprendre l'origine de la réponse des plants à un enrichissement de l'atmosphère en CO₂ sur le long terme. Après plusieurs années de culture, on mesure la teneur en glucose, fructose, saccharose et amidon (figure 7A) ainsi que la vitesse maximale de carboxylation par la RubisCO ($V_{c,max}$) des feuilles matures de plants des différentes parcelles (figures 7B).

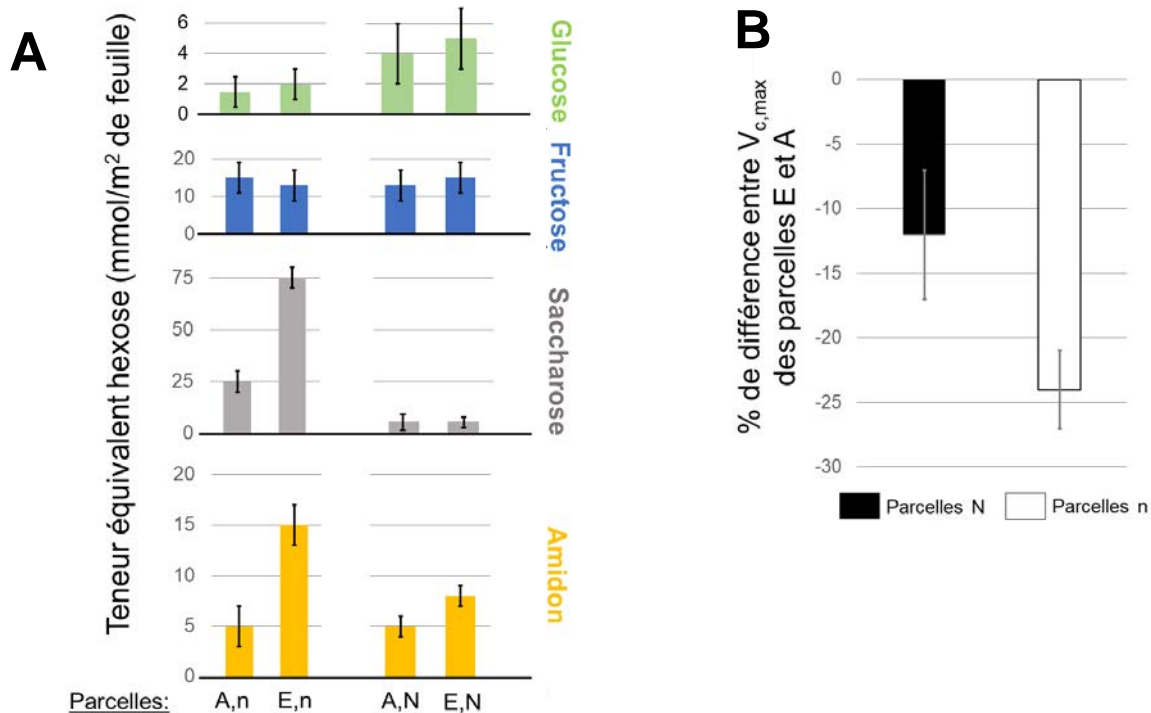


Figure 7 : Teneurs en oses et vitesses maximales de carboxylation par la RubisCO dans des feuilles matures de plants cultivés sur les différentes parcelles FACE.

A. Teneurs en glucose, fructose, saccharose et amidon mesurées dans des feuilles matures de plants des différentes parcelles. La teneur pour chaque glucide est exprimée en équivalent hexose.

B. Pourcentage moyen de différence entre les vitesses maximales de carboxylation par la RubisCO ($V_{c,max}$) mesurées sur les plants de la parcelle E,n et de la parcelle A,n ou entre celles mesurées sur les plants de la parcelle E,N et de la parcelle A,N.

Question 9 :

9a : En prenant en compte les résultats présentés figure 6B, analyser et interpréter les résultats présentés figure 7A.

9b : Analyser et interpréter les résultats présentés figure 7B.

9c : Sachant que la production nette de plants vivaces à feuilles persistantes cultivés sous atmosphère enrichie en CO₂ est supérieure pendant plusieurs années à celle de mêmes plants cultivés sous atmosphère actuelle, proposer un modèle permettant d'expliquer les réponses des plants à un enrichissement prolongé de l'atmosphère en CO₂ lorsque la fertilisation des sols en azote est faible.

On rétrotranscrit les ARN messagers (ARNm) extraits d'une même quantité de cellules de feuilles des plants de la parcelle A,n et de la parcelle E,n en ADN complémentaires (ADNc) et on les marque soit par un fluorophore vert (parcelle A,n) soit par un fluorophore magenta (parcelle E,n).

Les ADNc simple brin marqués sont mélangés et incubés sur une puce à ADN contenant les oligonucléotides complémentaires de l'ensemble des ADNc du génome de l'espèce. Après lavage, on mesure le ratio entre fluorescence magenta et verte pour chaque transcrite i de la puce (R_i). On calcule le rapport moyen (R) et l'écart type (σ) pour l'ensemble de la puce puis le score z pour chaque transcrite d'après la formule :

$$score\ z_i = \frac{R_i - R}{\sigma}$$

Les scores z correspondant à quelques transcrits d'intérêt sont présentés en figure 8.

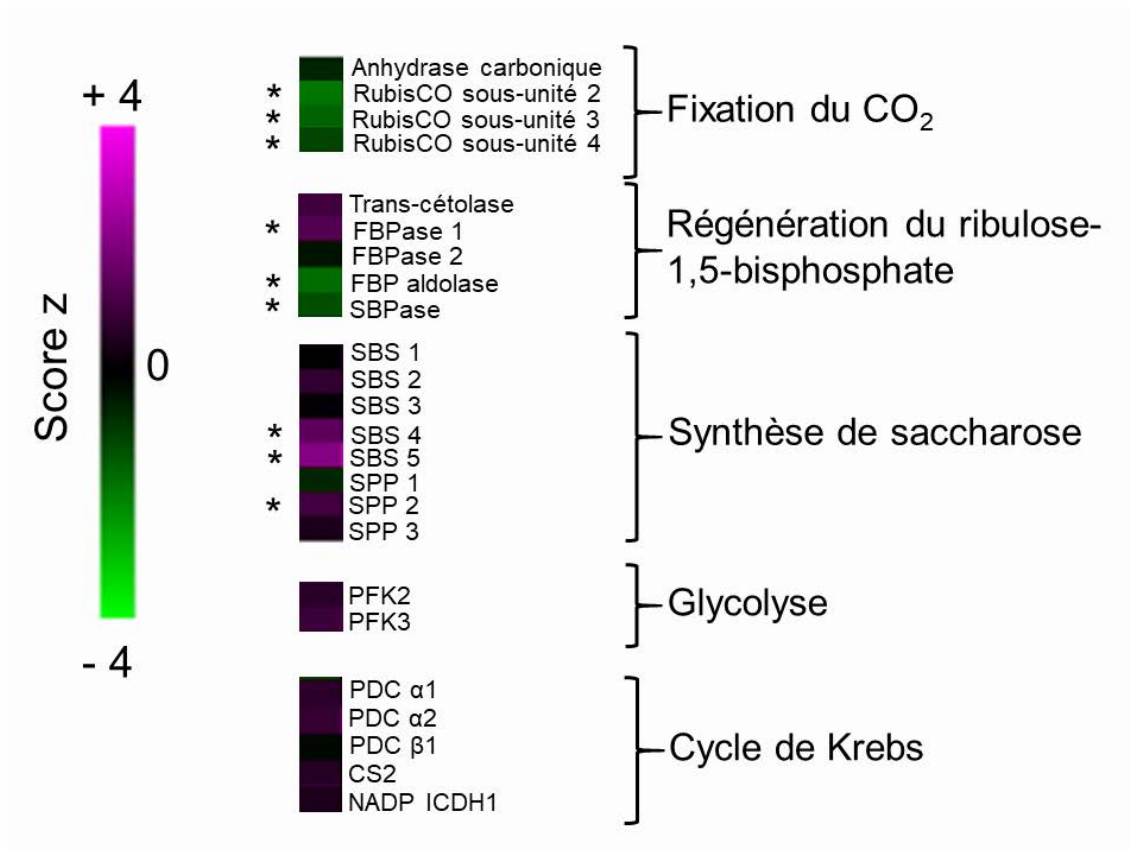


Figure 8 : Scores z résultants d'une analyse transcriptomique de cellules de plants de la parcelle A,n et E,n.

Chaque case correspond à un transcrite. Les transcrits sont regroupés en fonction de la voie métabolique dans laquelle est impliquée la protéine qu'ils codent. Les transcrits pour lesquels le score z témoigne d'une différence significative ($|\text{score } z| > 1,5$) sont repérés par des astérisques.

Question 10 :

10a : Dans le cadre de cette étude, discuter de l'intérêt d'utiliser le score z et des conclusions qui peuvent être faites selon sa valeur.

10b : Analyser et interpréter les résultats présentés figure 8.

Afin de comprendre les mécanismes moléculaires qui sous-tendent les résultats présentés figure 8, on met en culture des protoplastes (cellules végétales dont la paroi pecto-cellulosique a été retirée) d'*Arabidopsis thaliana* et on ajoute de l'eau, du glucose ou du 6-désoxyglucose au milieu. 24 heures plus tard, on lyse les protoplastes et on analyse le lysat par Northern Blot (figure 9A).

On réalise la même expérience en présence de glucose sur des protoplastes sauvages ou portant les transgènes suivants : le gène codant l'hexokinase d'*Arabidopsis thaliana* (HK1) sous contrôle d'un promoteur constitutif (35S : HK1) ou le gène codant un ARN interférent antisens de l'ARNm codant l'hexokinase d'*Arabidopsis thaliana* (antisens HK1) sous contrôle d'un promoteur constitutif (35S : antisens HK1) (figure 9B).

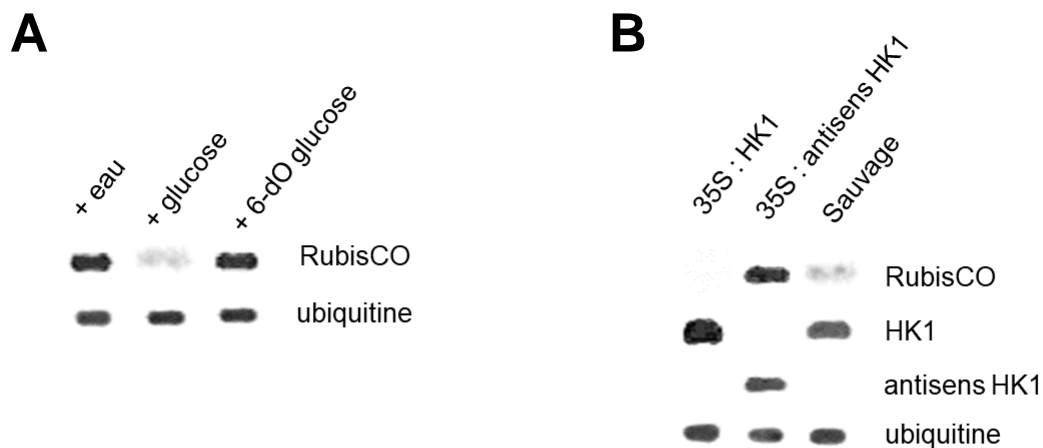


Figure 9 : Northern blots réalisés à partir de lysats de protoplastes incubés dans différentes solutions.

A. Northern blot réalisé sur des protoplastes de plants sauvages lysés 24 heures après ajout d'eau, de glucose ou de 6-désoxyglucose (6-dO glucose) à des concentrations identiques dans le milieu de culture. Les transcrits détectés sont indiqués à droite de la figure. Le niveau d'expression du gène codant l'ubiquitine est stable dans les conditions expérimentales testées.

B. Northern blot réalisé sur des protoplastes de plants sauvages ou transgéniques (35S : HK1 et 35S : antisens HK1) lysés 24 heures après ajout de glucose dans le milieu de culture. Les transcrits détectés sont indiqués à droite de la figure. Le niveau d'expression du gène codant l'ubiquitine est stable dans les conditions expérimentales testées.

Question 11 :

11a : Proposer un protocole expérimental permettant d'obtenir des protoplastes.

11b : Analyser et interpréter les résultats présentés figure 9. Conclure.

On observe que chez certaines espèces végétales, l'enrichissement prolongé de l'atmosphère en CO₂ n'entraîne pas les modifications physiologiques décrites ci-dessus. Afin de comprendre ce qui déclenche ces modifications, on cultive 15 espèces différentes de plantes vivaces à feuilles persistantes et à fixation du carbone en C₃ sur les parcelles A,n et E,n puis on mesure la quantité de RubisCO, l'activité de l'invertase (enzyme impliquée dans l'hydrolyse du saccharose en glucose et fructose) et le rapport hexose/saccharose dans des feuilles matures de plants de chaque espèce (figure 10).

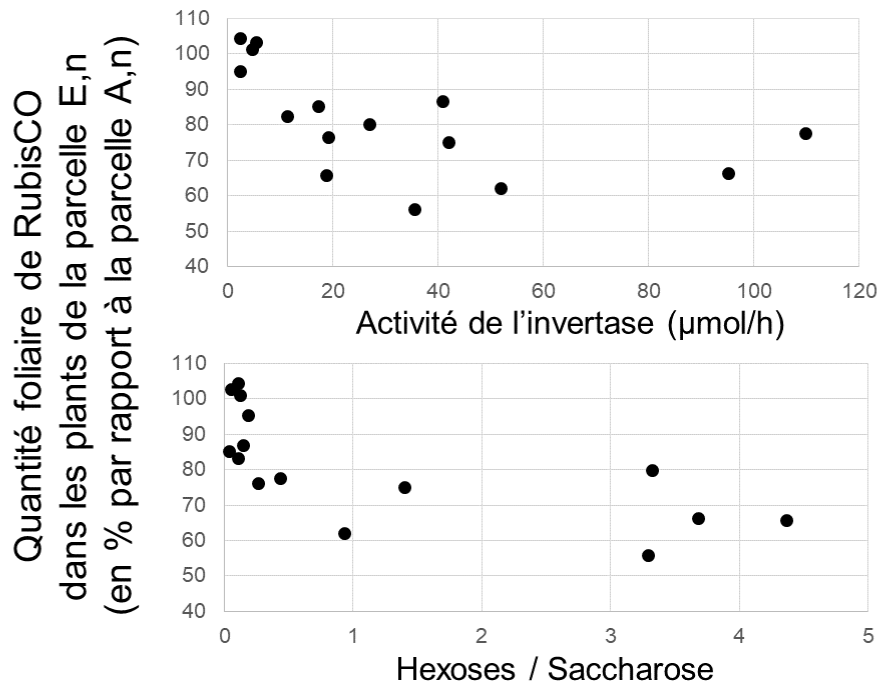


Figure 10 : Relation entre teneur en RubisCO, activité invertase et rapport hexose/saccharose dans des feuilles matures de plants de 15 espèces différentes cultivées sur la parcelle A,n ou la parcelle E,n.

Chaque espèce est représentée par un point dans les graphiques.

Question 12 : Analyser et interpréter les résultats présentés figure 10.

Question 13 : À partir de vos réponses aux questions précédentes, proposer un modèle permettant d'expliquer la diminution de la production nette des plants cultivés de manière prolongée sous atmosphère enrichie en CO₂ et l'effet de la fertilisation en azote. Votre réponse prendra la forme d'un texte organisé et concis.

PARTIE C – SUJET SUR DOCUMENTS

Flux de matière dans un écosystème après le retrait d'un glacier

Depuis 1865, les scientifiques suivent la dynamique (avancées et retraits) du glacier Damma dans les Alpes suisses en relevant la position du front du glacier (figure 11). En 2004, ils se sont également intéressés au devenir des zones libérées par le retrait du glacier.

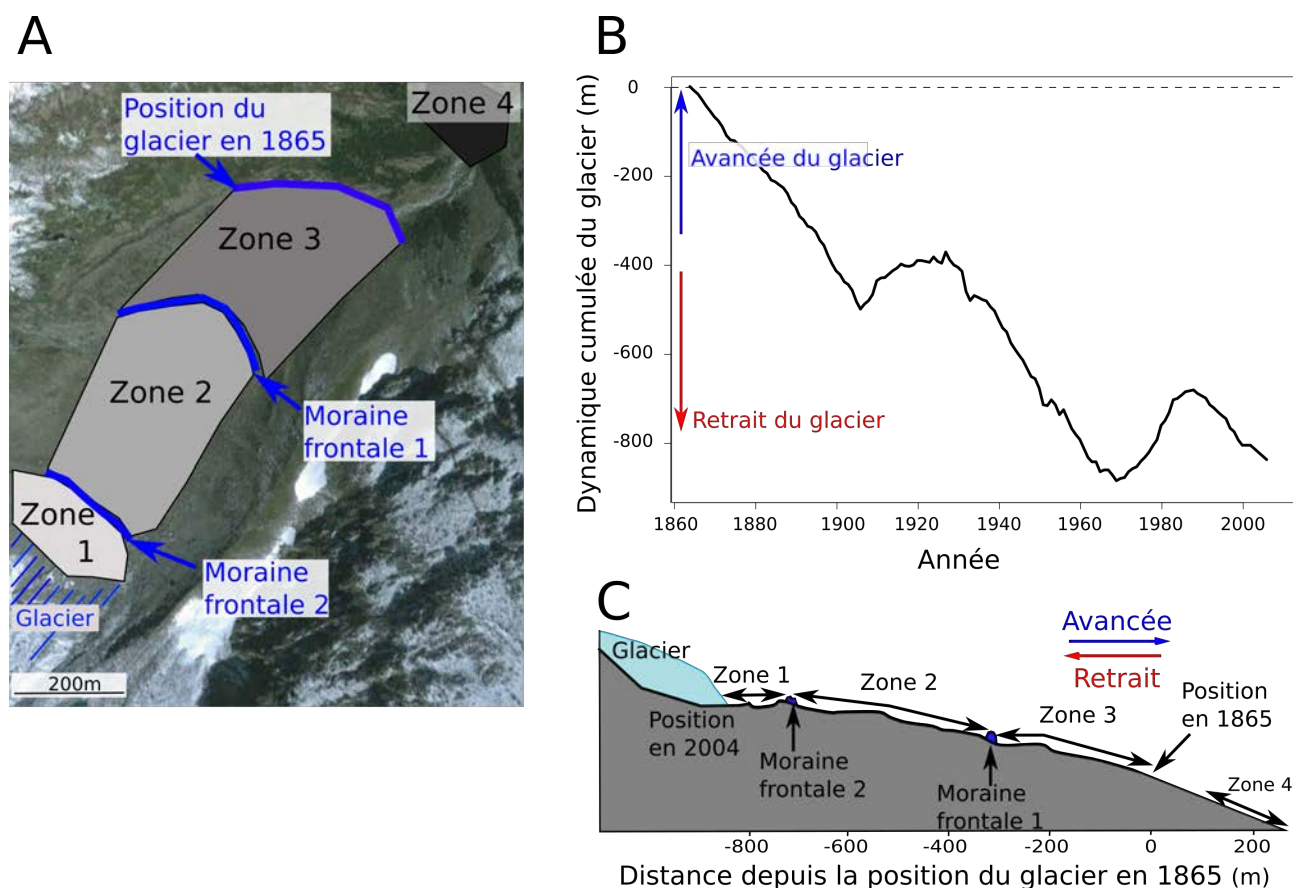


Figure 11 : Le glacier Damma et sa dynamique.

A. Géographie du glacier Damma. À chaque fois que la dynamique s'inverse passant de l'avancée au retrait, le glacier laisse derrière lui un amas de débris appelé moraine frontale. Le nom des différentes zones d'étude et leur position par rapport aux moraines frontales sont indiqués. La mise à nu du substrat de la zone 4 date d'il y a 2000 ans environ.

B. Dynamique cumulée du glacier entre 1865 et 2004.

C. Profil topographique de la vallée et zones d'étude.

Question 14 :

14a : Quel est l'impact de la dynamique du glacier sur les écosystèmes ? Quels effets durables la présence récente du glacier pourrait-elle avoir sur leur développement ?

14b : À partir de la figure 11, déterminer l'âge de mise à nu du substrat de l'aval et de l'amont de chacune des zones 1, 2 et 3.

On étudie la végétation et les sols des zones 1 à 4 (figure 12). Pour cela, on observe la morphologie aérienne et souterraine de la végétation (figure 12A), la couverture du sol (figure 12B), la biomasse végétale (figures 12C) et on recense les principales espèces végétales rencontrées (figure 12D).

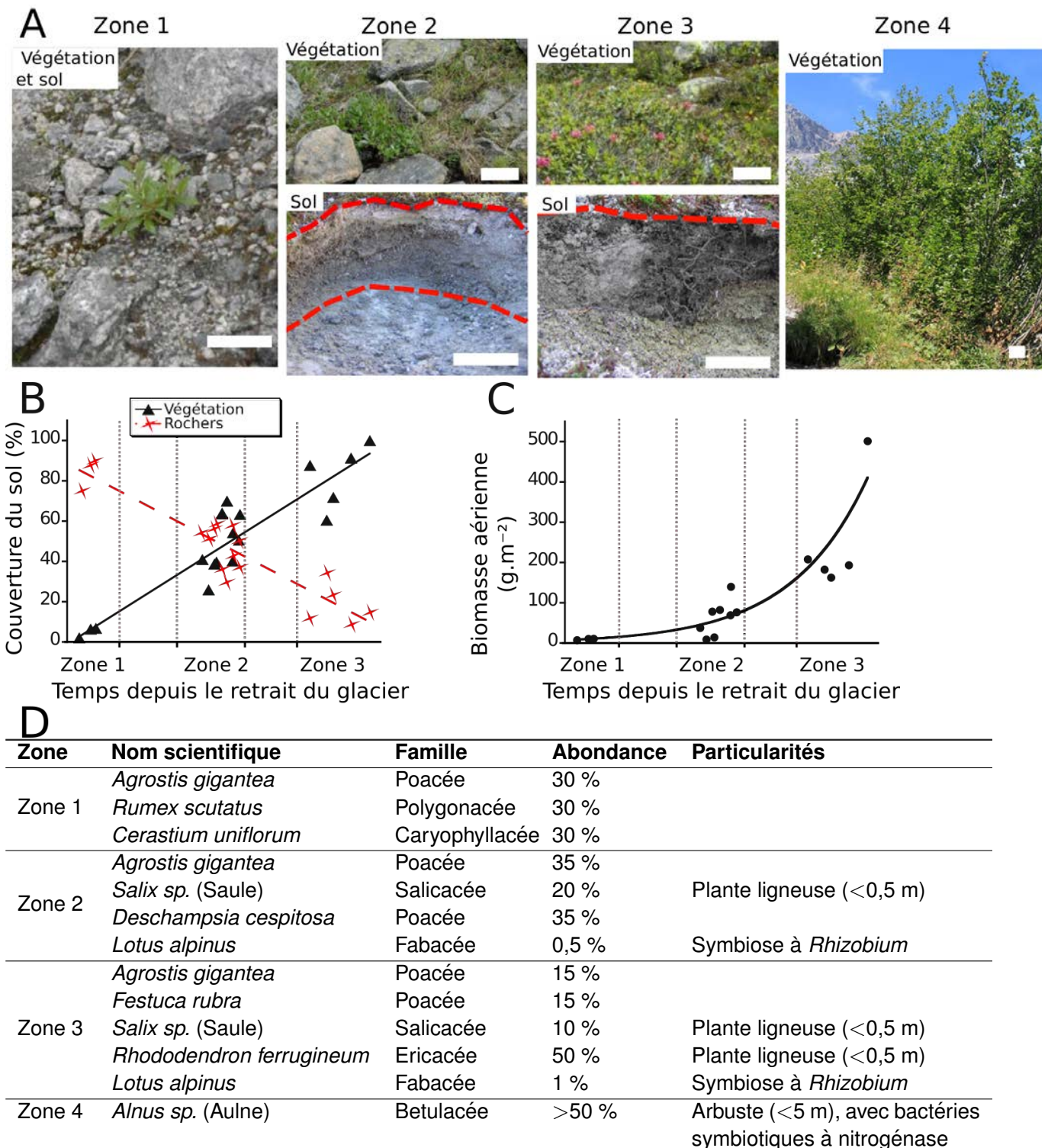


Figure 12 : Sol et végétation dans les zones 1 à 4.

A. Photographies représentatives de la végétation et des sols des zones 1 à 4. Barres d'échelle : 10 cm.

Sols des zones 2 et 3 : vue en coupe verticale, les pointillés délimitant différentes couches.

B. Couverture du sol et **C.** biomasse aérienne au cours du temps depuis le retrait du glacier.

Chaque point représente une mesure. Les régressions représentées sont significatives.

D. Nom, abondance et particularités des principales espèces recensées dans les zones 1 à 4.

Question 15 :

15a : Analyser et interpréter les résultats présentés figure 12.

15b : En vous appuyant sur vos connaissances concernant la fertilisation des sols, commenter la relation entre le changement de la biomasse végétale et la composition des communautés végétales.

On mesure les concentrations en azote et en phosphore dans les sols des différentes zones (figure 13).

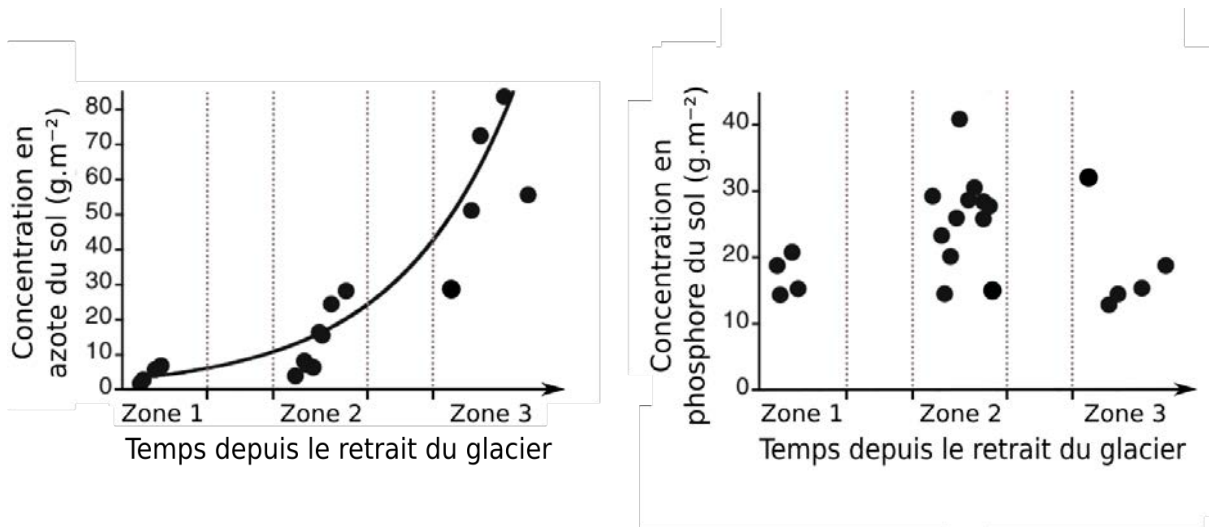


Figure 13 : Concentration en azote et en phosphore dans les sols en fonction du temps après le retrait du glacier.

Chaque point représente une mesure. La régression représentée est significative.

Question 16 :

16a : Analyser et interpréter les résultats présentés figure 13.

16b : La fixation d'azote liée à *L. alpinus* atteint $0,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ au maximum en zone 3. On mesure également dans le sol libre de la zone 3 une activité nitrégénase de $0,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$. Évaluer et discuter la contribution de la fixation biologique d'azote dans les sols suite au retrait du glacier.

Pour étudier les mécanismes de fertilisation dans la zone 1, des scientifiques utilisent des tubes de plexiglas contenant des résines qui retiennent les ions minéraux des solutions qui les traversent. Ces tubes sont fermés à l'une de leurs extrémités par une membrane semi-perméable, qui laisse passer l'eau mais pas les ions (figure 14A). On mesure les quantités d'azote et de phosphore recueillies par les résines placées pendant un mois à différentes positions (notées I à IV) (figures 14B à 14E).

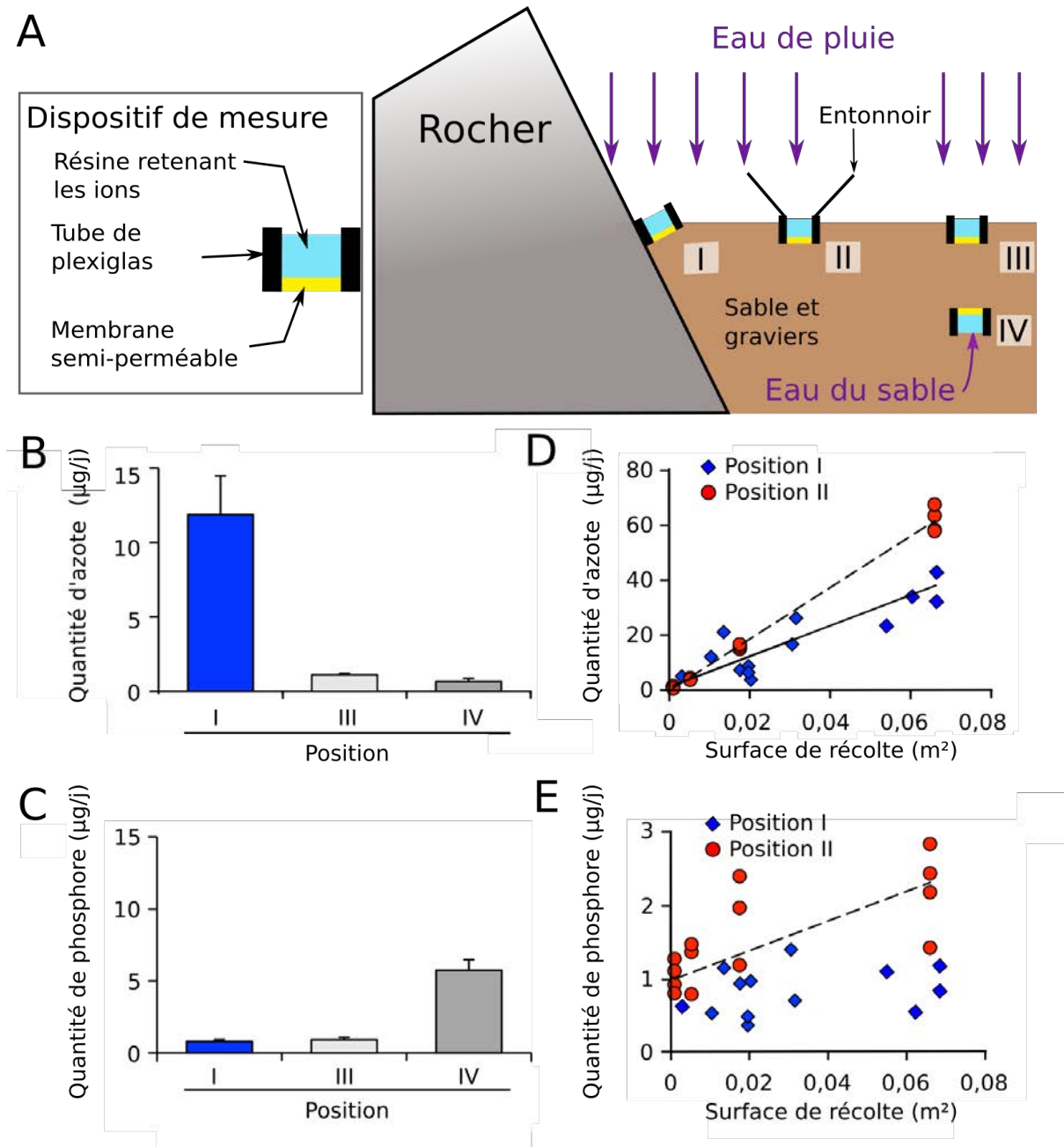


Figure 14 : Mesures de concentrations en ions dans la zone 1.

A. Dispositif de mesure des quantités d'azote et de phosphore. Les tubes sont disposés le long de rochers de taille variable (I), loin des rochers avec des entonnoirs de taille variable (II), sans entonnoir (III) ou en position inversée (IV). Les tubes sont fermés à une de leurs extrémités par une membrane semi-perméable. La résine placée à l'intérieur retient l'azote et le phosphore.

B et C. Quantités d'azote et de phosphore recueillies par jour en fonction de la position des tubes.

D et E. Quantités d'azote et de phosphore recueillies par jour en fonction de la surface de récolte. Chaque point représente une mesure. Les régressions représentées sont significatives.

Question 17 :

17a : Analyser les résultats présentés figure 14 et conclure sur l'origine de l'enrichissement en azote et en phosphore dans la zone 1.

17b : D'après les observations de terrain, l'effet mesuré ici devrait-il être aussi important pour toutes les zones étudiées ? Justifier.

17c : À partir des quantités d'azote mesurées jusqu'en zone 3 (figure 13), en ignorant le prélèvement par les plantes et en estimant que 30 % de l'azote est lessivé, estimer la quantité moyenne d'azote déposée ainsi par unité de surface suite au retrait du glacier (à exprimer en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$).

Les végétaux ne peuvent assimiler que certaines formes d'azote et de phosphore que l'on appelle azote et phosphore disponibles. On dispose de résines qui n'absorbent que ces formes d'azote et de phosphore et on les place dans les différentes zones d'étude. On déterre ces résines après le passage d'une saison de végétation (de juin à août à cette altitude). On mesure alors les quantités d'azote et de phosphore disponibles (figures 15A et 15B). Pour tester l'homogénéité temporelle de la disponibilité en nutriments, la même expérience est menée sur des périodes d'un mois durant la saison de végétation (figure 15C).

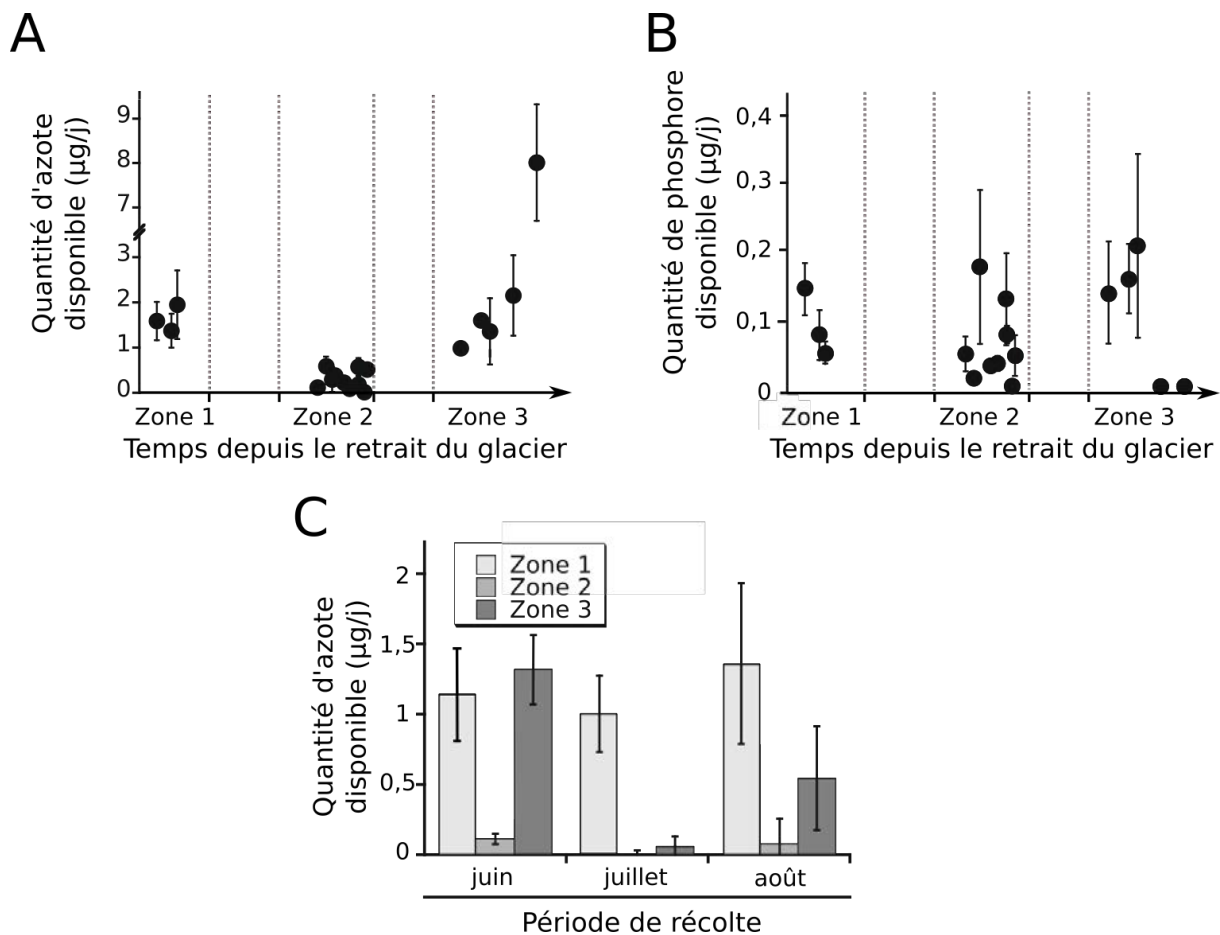


Figure 15 : Nutriments disponibles dans les sols après retrait du glacier.

A. et B. Quantités d'azote disponible (A) et de phosphore disponible (B) recueillies par jour dans les sols pendant une saison de végétation en fonction du temps après le retrait du glacier.

C. Quantité d'azote disponible recueillie par jour dans les sols pendant un mois en juin, juillet ou août en fonction de la zone d'étude.

Question 18 :

18a : Commenter la relation entre les concentrations totales en azote et en phosphore (présentées figure 13) et les concentrations disponibles en azote et en phosphore pour la végétation (présentées figures 15A et 15B). Analyser et interpréter les résultats présentés figure 15C.

18b : À partir de vos réponses précédentes et de la figure 15C, proposer un mécanisme expliquant le changement de la disponibilité en azote pour les végétaux entre les zones 1 et 2. Proposer des hypothèses expliquant le changement de la disponibilité en azote pour les végétaux entre les zones 2 et 3.

Question 19 :

Établir un schéma bilan résumant les changements du biotope après le retrait du glacier Damma et les conséquences de ces changements sur la végétation et sa structuration spatiale.

Ce schéma sera à compléter en question 22, prévoir de le réaliser sur une feuille entière.

D'autres scientifiques ont étudié les activités microbiologiques et biochimiques des sols des zones 1 et 2. À partir d'échantillons de sol, ils ont séquencé les gènes bactériens *nifH* et construit un dendrogramme phylogénétique (figure 16). À partir d'une base de données, ils ont pu associer chaque séquence à un phylum bactérien (figure 16). On donne pour les phylums correspondants quelques activités enzymatiques connues à partir d'autres études.

Par ailleurs, le séquençage d'un autre gène indique la présence d'Eumycètes possédant une activité de minéralisation (activités de protéase et de chitinase) dans les sols des deux zones.

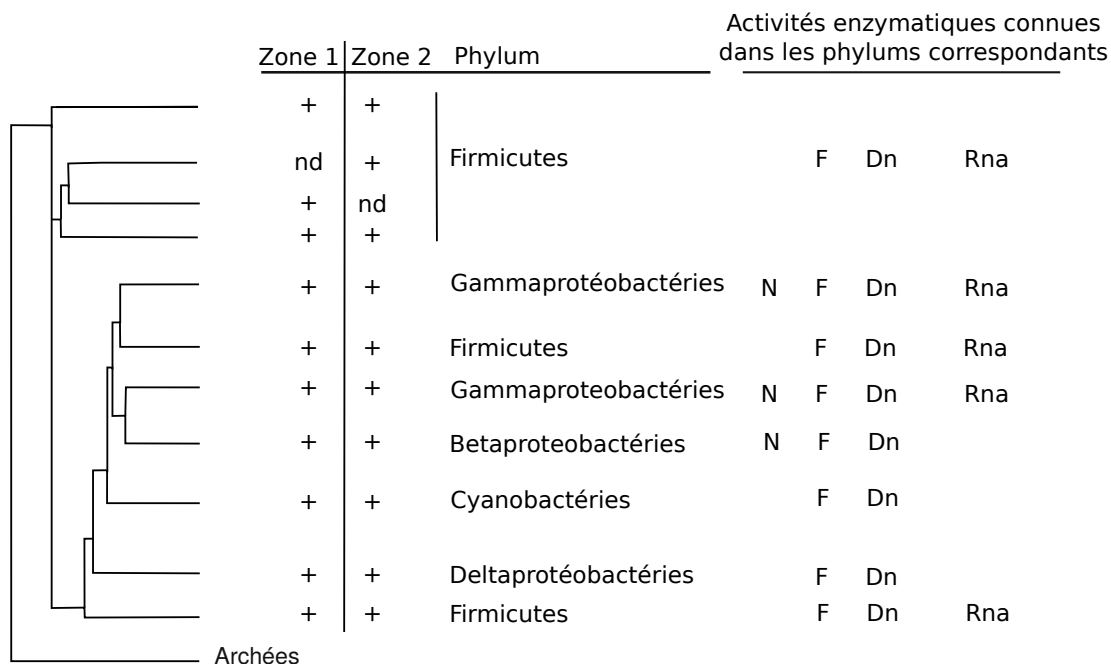


Figure 16 : Communautés bactériennes du sol et activités enzymatiques connues.

Dendrogramme obtenu à partir des séquences du gène bactérien (*nifH*) extrait d'échantillons de sols des zones 1 et 2. Les phylums bactériens associés aux séquences et les activités enzymatiques connues dans les phylums correspondants sont présentés. + : séquence détectée ; nd : aucune séquence détectée. Activités enzymatiques : Dn : dénitrification (forme NO_3^- vers forme N_2), N : nitrification (forme NH_4^+ vers forme NO_3^-), F : fixation d'azote (forme N_2 vers forme NH_4^+), Rna : réduction du nitrate en ammonium (forme NO_3^- vers forme NH_4^+).

Question 20 :

Discuter de la répartition des phylums dans le dendrogramme présenté figure 16.

Pour compléter ces données, on mesure l'activité des enzymes impliquées dans le cycle de l'azote dans les sols des zones 1 à 4 (figure 17).

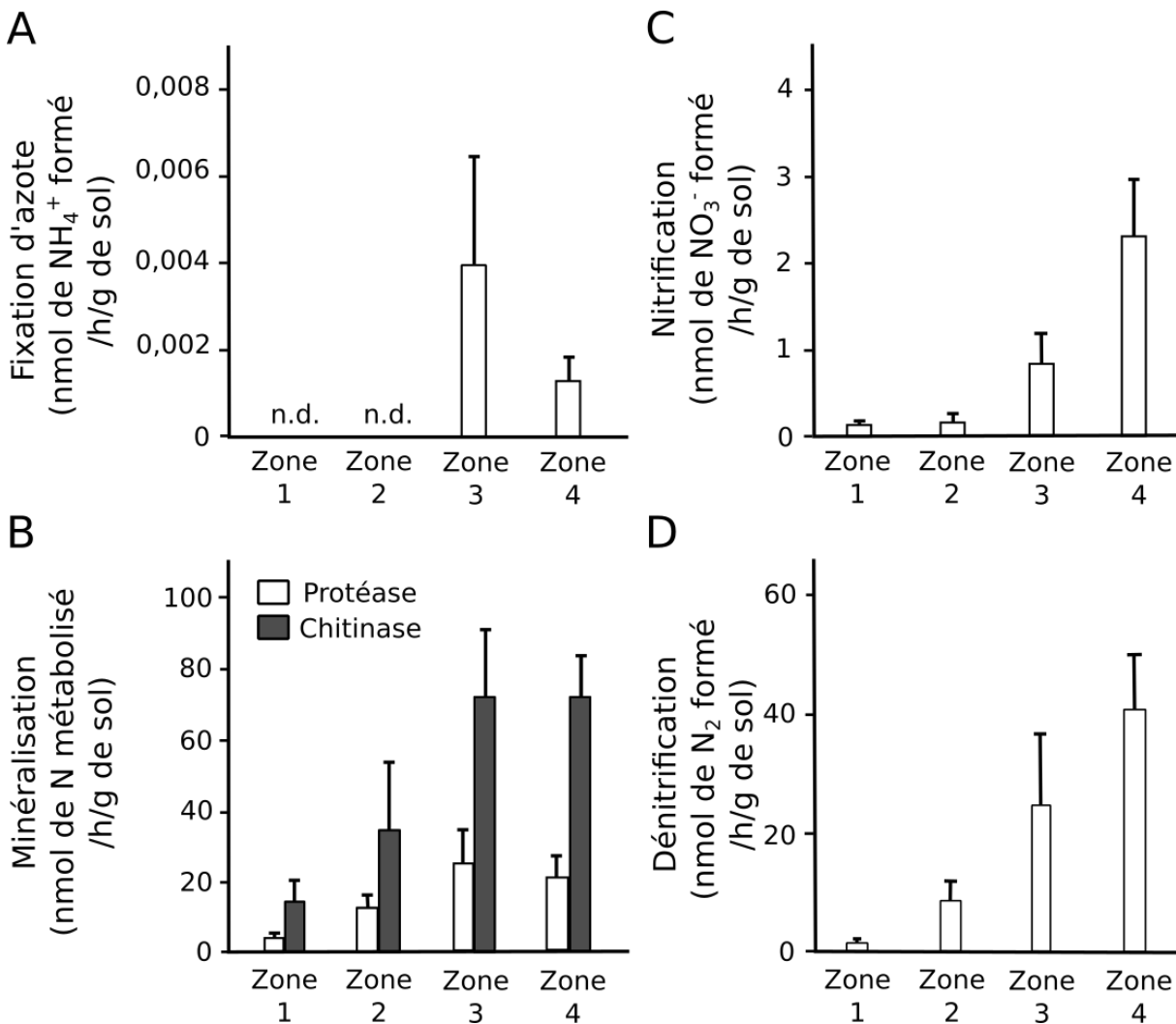


Figure 17 : Activité des enzymes impliquées dans le cycle de l'azote dans différents sols.
n.d. : activité non détectée.

Question 21 :

21a : Analyser les résultats présentés figure 17. Discuter du cycle de l'azote dans les différentes zones.

21b : Confronter les résultats de la figure 17 à ceux du recensement des communautés de micro-organismes (figure 16). D'après vos connaissances, proposer des hypothèses expliquant ces constatations. Comment pourrait-on les vérifier expérimentalement ?

Question 22 :

Compléter le schéma bilan établi en question 19 avec les données recueillies dans les figures 16 et 17.

Fin du sujet