

RAPPORT SUR L'ÉPREUVE ÉCRITE DE BIOLOGIE

Coefficients (en pourcentage du total d'admission) :

ENS de Paris-Saclay : 12,3%

ENS de Lyon : Option biologie : 13,2%, Option ST : 6,6%

ENS : Option biologie : 4,9%, Option ST : 2,8%

ENPC : 5,0%

Membres du jury :

G. Barthole, R. Berardozzi, A. Bessis, M. Coudel, M. Gendrel, E.Guillaume, G. Lepère, A.-C. Marsollier, P. Rialland.

Le sujet de biologie BCPST 2019 proposait aux candidat·es de s'intéresser aux flux de matière. Ce sujet exigeait de travailler à différentes échelles : de la cellule à l'organisme pour les parties A et B et à l'échelle de l'écosystème pour la partie C. Le jury salue la qualité de nombreuses copies, qui montrent une maîtrise des exemples et des concepts associés au cours ainsi qu'une capacité fine d'analyse des documents. Cette épreuve écrite a donc participé, comme tous les ans, à sélectionner des candidat·es de très bon niveau en vue des épreuves orales.

Partie A : sujet de synthèse, les échanges de matière entre l'animal et le milieu extérieur

L'épreuve de synthèse évalue les compétences de communication scientifique qui figurent au programme de BCPST : **construire une argumentation scientifique** et **organiser une production écrite**. Le jury attend des compositions comportant une introduction, un développement structuré et une conclusion. Les candidat·es qui ne font pas cet effort de mise en forme sont logiquement pénalisés.

Cette année, **le sujet portait sur les échanges de matière entre l'animal et le milieu extérieur**. Il était proposé de discuter de l'importance fonctionnelle des échanges de gaz respiratoires et de nutriments pour les cellules, et de leurs modalités d'échanges à l'échelle de l'organisme en fonction du milieu de vie. Ce sujet demandait donc de mobiliser des connaissances dispersées dans les parties I.B, I.C, II.A et II.B du programme. L'énoncé étant précis, la sélection ne s'est pas jouée sur la capacité à dégager les grands axes de la composition mais plutôt sur la capacité à trier et sélectionner parmi les connaissances les idées en lien avec le sujet et les organiser sans omettre d'aborder les différentes échelles (organisme, organe, cellule).

Les connaissances sur les modalités d'échanges de nutriments et de gaz respiratoires sont en général satisfaisantes. Cependant, beaucoup de candidat·es ont produit à partir de leurs connaissances un long catalogue de notions sans lien entre elles ou avec le sujet.

Le jury a mis en valeur les candidat·es qui ont construit un raisonnement scientifique justifié et cohérent. En pratique, cela signifie qu'il fallait remettre systématiquement les connaissances dans le contexte du sujet. L'organisation générale de l'exposé, mais aussi chaque paragraphe et chaque schéma doit répondre à la problématique plutôt que d'être une simple restitution du cours. Ici, les mécanismes à l'échelle cellulaire n'étaient pertinents que pour leur lien aux échanges à l'échelle de l'organisme. **Il fallait également utiliser des exemples judicieux pour démontrer des fonctionnements biologiques généraux.** Ici, un exemple d'appareil respiratoire et un exemple de surface d'absorption digestive permettaient de discuter de l'organisation et du fonctionnement des surfaces d'échange en lien avec la loi de Fick. Enfin, **il fallait savoir montrer la variabilité des**

fonctionnements biologiques pour différentes conditions. Par exemple, il était judicieux de comparer des appareils respiratoires de milieux différents en construisant un tableau rassemblant les différences *et* les points communs structuraux et fonctionnels.

Il est donc essentiel, afin de s'appropriier le sujet, de prendre un moment de réflexion avant de se lancer dans la rédaction. Il est ensuite indispensable de faire ressortir les grandes idées qui permettent de répondre à ce sujet et les ordonner logiquement, et enfin choisir un ou plusieurs exemples concrets à partir desquels démontrer chacune d'entre elles.

Introduction et délimitation du sujet

L'introduction doit permettre une mise en contexte du sujet pour dégager une problématique qui annonce et justifie le plan. Elle doit être composée : (i) d'une accroche suivie d'un cadrage de la problématique, (ii) d'une délimitation du sujet, (iii) d'une problématique et (iv) de l'annonce du plan. Voici quelques attendus pour les différentes parties de l'introduction :

-une accroche part d'un exemple précis, concret ou théorique, et éveille la curiosité du lecteur. À partir de l'accroche, les candidat·es doivent produire un raisonnement qui fait ressortir des interrogations scientifiques qui seront formalisées par la problématique. Certain·es candidat·es ont fait preuve d'une grande inventivité pour trouver des accroches originales et pertinentes concernant par exemple des pathologies liées aux échanges, l'alimentation ou encore l'importance des échanges à l'échelle de la biosphère. Cependant, de nombreuses copies ont commencé par « Les animaux sont des systèmes thermodynamiques ouverts qui échangent en permanence avec leur environnement » ou une formulation équivalente. Ce type d'affirmation n'éveille pas plus la curiosité qu'elle n'amène vers un questionnement tandis qu'elle participe déjà à répondre à la problématique.

-la délimitation du sujet doit être concrétisée par la définition de tous les termes du sujet, et par une limitation pertinente du sujet. Il est important qu'elle soit l'aboutissement d'une réflexion approfondie. Cette année, les termes du sujet concernaient des objets biologiques courants. Les animaux sont des êtres vivants appartenant au groupe monophylétique des Métazoaires. Le milieu extérieur est séparé du milieu intérieur par des épithéliums (au niveau des surfaces extérieures à l'organisme, mais aussi au niveau de surfaces internalisées). Les échanges de matière entre l'animal et le milieu extérieur concernent donc des flux entrants et sortants de matière à travers un épithélium. Le sous-titre invitait les candidat·es à ne traiter que des nutriments (glucides, protéides, lipides, acides nucléiques) et des gaz (dioxygène, dioxyde de carbone) mais pas d'énergie, d'eau ou de déchets azotés.

Nous encourageons donc les candidat·es à maîtriser le vocabulaire scientifique. Peu de copies comportaient les définitions pour plus d'un ou deux termes du sujet, ou une distinction entre ce qui entrait dans le sujet et ce qui était hors-sujet. Certaines définitions proposées étaient fausses : « animaux » n'est pas synonyme de « pluricellulaires » (groupement polyphylétique qui comporte notamment aussi les Angiospermes, les Eumycètes ou les Algues brunes), « milieu extérieur » n'est pas synonyme de « milieu externalisé ». **Ce manque de rigueur s'est répercuté sur le contenu de la composition.** Il a conduit à de plus ou moins longs hors-sujet : présentation détaillée de la glycolyse sans mise en perspective ; excrétion azotée ; échanges à l'échelle des écosystèmes ; etc... Cela a pénalisé les candidat·es car le temps investi dans du hors-sujet empiète sur du temps « rentable ».

-la problématique doit être une (ou plusieurs) question explicite à laquelle les candidat·es s'efforcent de répondre tout au long du développement. Une présentation succincte, mais complète, des grandes lignes du développement doit clore l'introduction. Le jury est satisfait de constater que la grande majorité des candidat·es apporte ces éléments, même si certaines problématiques ne permettent pas de répondre au sujet posé et que certaines présentations des grandes lignes du développement sont trop longues ou trop brèves.

De nombreux candidat·es ont construit une introduction dans laquelle une ou plusieurs parties de l'introduction manquent. Cela les a pénalisé·es en les amenant à construire des introductions peu logiques et peu efficaces.

Le jury insiste sur l'importance de l'introduction quant à la réussite d'une synthèse. Nous encourageons les candidat·es à mener une réflexion approfondie en amont de la rédaction, et à réaliser celle-ci au brouillon pour que l'introduction soit de la meilleure qualité possible.

Développement

Au cours du développement, le jury attend un exposé démonstratif et structuré qui permette de comprendre les notions présentées.

Notions attendues

Les candidat·es devaient discuter de l'importance des échanges de gaz et de nutriments pour le fonctionnement des cellules. Cette partie a souvent été traitée trop hâtivement, avec une récitation de connaissances sans mise en perspective. Les candidat·es ont par exemple souvent décrit des mécanismes qui ne sont pas en rapport direct avec le sujet comme les détails moléculaires du métabolisme du glucose (glycolyse et cycle de Krebs, dont le détail est pourtant hors programme). Cet exemple n'a en revanche pas été utilisé pour illustrer l'importance des molécules réduites dont l'énergie d'oxydation peut être convertie en forme utilisable par la cellule. De même, très peu de candidat·es ont présenté les besoins de la cellule en matière. La matière échangée est pourtant essentielle à l'anabolisme, et permet la croissance. Enfin, peu de candidat·es cherchent à faire le lien entre les gaz et les nutriments utilisés par les cellules et la physiologie des échanges ayant lieu au niveau de l'organisme. Les candidat·es qui ont mis en lien leurs connaissances avec le sujet ont été mis en valeur.

Les candidat·es devaient ensuite présenter les modalités des échanges en lien avec le milieu de vie des organismes. Dans un premier temps, il était indispensable de montrer la nature générale des échanges, commune à tous les animaux, en se basant sur un organisme précis. Chez la vache par exemple, les échanges ont lieu au niveau de surfaces d'échange spécialisées : les alvéoles pulmonaires pour les échanges de gaz respiratoires et l'intestin grêle pour l'absorption des nutriments. On pouvait, à l'échelle de l'organe et de la cellule, montrer les points communs à ces surfaces d'échange : une grande surface, une faible épaisseur et des systèmes de convection externe et interne. Ces exemples devaient permettre de démontrer que l'organisation des surfaces d'échange sélectionnée au cours de l'évolution permet une diffusion efficace¹. Les candidat·es ont en général bien discuté des mécanismes de diffusion et présenté un appareil respiratoire et un appareil digestif. Cependant, les échanges n'ont souvent été abordés qu'à une échelle (organe ou cellule). Le contrôle des échanges n'a été abordé qu'exceptionnellement.

Cette présentation des surfaces d'échange étant faite, **les candidat·es pouvaient dans un second temps comparer leur fonctionnement dans des milieux différents** : similarité de la structure et du fonctionnement des surfaces d'échange digestives entre milieu aérien et aquatique ; convergences dans la structure des appareils respiratoires pour un milieu donné ; différences de structure et de fonctionnement des surfaces d'échange respiratoires entre milieu aérien et aquatique.

Les candidat·es ont en général traité des différences entre appareils respiratoires pour des milieux différents, mais très rarement évoqué la similarité des appareils digestifs. Les candidat·es manquaient

¹ De nombreuses copies parlent sans explication d' « optimisation » des paramètres de la loi de Fick. L'utilisation généralisée, **mais jamais justifiée**, du qualificatif « optimal » pour décrire des structures biologiques traduit une vision erronée et idyllique d'un vivant où tout serait optimisé. De nombreuses structures biologiques fonctionnent efficacement dans un milieu donné et pour un mode de vie donné sans pour autant être optimales.

également de recul pour faire une mise en perspective plus générale. La comparaison des milieux et des structures n'a presque jamais été méthodique. La présentation de tableaux de comparaison ou la construction de schémas montrant les différences et les points communs ont été valorisés. La plupart des candidat·es se sont à l'inverse contentés de présenter des généralités, souvent parcellaires, ou de produire un catalogue d'exemples, notamment en séparant les échanges respiratoires et les échanges digestifs sans faire émerger les notions de convergence, de divergence ainsi que les contraintes qui en sont à l'origine.

Exemples et illustrations

Le jury est satisfait de constater que la plupart des candidat·es s'appuient sur des exemples précis (type de cellule ou d'organe, clade) afin d'illustrer des phénomènes biologiques. Cependant, trop peu suivent une démarche hypothético-déductive et ont recours à des mises en évidence. **Le jury déplore avec force que les candidat·es exposent la biologie comme un dogme plutôt que comme une science** dont les résultats sont issus d'observations empiriques et d'expérimentations. Les copies ne laissent qu'exceptionnellement de la place à une expérience. Des démonstrations extrêmement simples permettent pourtant de mettre en évidence les échanges gazeux entre un organisme et son milieu. Il est assez rare que les observations faites sur un organisme donné soient décrites complètement (par exemple la structure d'une branchie de Téléostéen) avant de déduire des généralités sur les échanges et leur efficacité en rapport avec le milieu. Lors de l'exposé, un exemple détaillé suffit à illustrer un fonctionnement biologique. Il est cependant parfois nécessaire de développer plusieurs exemples pour illustrer la diversité du vivant.

Les illustrations sont le plus souvent de bonne qualité, et le jury les valorise. Nous constatons ainsi un faible nombre de schémas de mauvaise qualité et sans conventions, et encourageons les futur·es candidat·es à continuer ainsi ; les échelles sont toutefois trop rarement présentes. Certain·es candidat·es parviennent même à produire des schémas de qualité exceptionnelle. En alliant représentation précise des structures et annotations fonctionnelles (flèches pour représenter les échanges), ces schémas permettent d'établir des liens entre structures et fonctions afin de décrire des processus biologiques complexes.

Rédaction du développement

Le jury attend des titres apparents, précis et informatifs quant au contenu du développement, ce qui est le plus souvent le cas. Cependant, trop de titres sont encore courts et peu informatifs. Certains sont même en discordance avec le contenu des paragraphes.

Des transitions entre les parties apparaissent dans la plupart des copies. Néanmoins, pour être informatives, elles doivent être systématiques et établir un lien logique entre ce qui a été dit avant et ce qui sera dit après, par exemple en formulant une nouvelle question.

Dans l'idéal, chaque paragraphe du développement doit partir d'un exemple, qui est décrit complètement, pour conclure sur une idée mise en lien avec le sujet. Nous encourageons les candidat·es à adopter un style concis, avec des phrases courtes et informatives ainsi qu'un vocabulaire précis et des raisonnements rigoureux. Cela permet de transmettre plus d'informations de façon claire, et disposer de davantage de temps pour traiter le reste du sujet.

Le jury est satisfait de constater que la syntaxe et l'orthographe sont de qualité globalement satisfaisante. Quelques rares copies sont difficiles à lire soit à cause d'une qualité insuffisante de la langue, soit à cause d'un manque de soin. Cela pénalise les candidat·es car le jury ne peut pas toujours déchiffrer ou comprendre leur texte malgré la meilleure des volontés. Nous rappelons également que les abréviations et acronymes doivent être utilisés avec parcimonie, et toujours après avoir été introduits.

Conclusion

La conclusion, enfin, doit répondre de manière argumentée à la problématique et mettre le sujet en perspective avec une « ouverture ». Il est important que les candidat·es travaillent mieux leur conclusion pour structurer le résumé : parfois trop court ou trop long, il ne restitue pas toujours bien

les idées développées au cours de la synthèse. De plus, l'ouverture doit orienter le lecteur vers des problématiques plus larges qui se dégagent suite au développement.

Analyse de documents (parties B et C)

Le jury souhaite rappeler ici quelques conseils méthodologiques pour le traitement des questions sur documents :

Lire attentivement l'énoncé. Parcourir minutieusement les documents et leurs légendes et prêter une grande attention à la formulation des questions afin d'en saisir les attentes. Par exemple, en question 16b, des valeurs chiffrées précises de fixation étaient données et on demandait d'« évaluer et commenter » la contribution de la fixation biologique du carbone. Un simple commentaire qualitatif ne pouvait donc remplacer une évaluation quantitative.

Comprendre le but de l'expérience. Identifier la question biologique à laquelle on cherche à répondre par l'expérience. Il faut chercher à comprendre ce qui est comparé de façon à démontrer des effets biologiques précis. Par exemple dans l'expérience présentée en figure 5, lorsqu'on surexprime la voie de biosynthèse de l'acide abscissique, on ne cherche pas à redémontrer son effet (connu) sur l'ouverture des stomates, mais à comprendre l'effet de la fermeture des stomates sur la croissance foliaire.

Construire des réponses concises qui associent analyse des documents, interprétation et conclusion. En détails :

-**l'analyse doit commencer par la description complète des données concernant le témoin** (lorsqu'il existe). Le témoin cultivé dans des conditions « normales » sert alors de référence pour comprendre l'effet d'autres conditions sur la croissance des plants. Par exemple, les plants cultivés à 380 ppm de CO₂ dans la partie B servent de témoin pour les plants cultivés à 700 ppm. **Chaque condition expérimentale doit alors être comparée complètement avec le témoin (différences et points communs).** Lorsque l'expérimentation n'est pas possible, comme c'est fréquemment le cas en écologie, il n'existe alors pas de témoin. Les candidat-es doivent alors choisir une condition de référence judicieuse à laquelle comparer les autres conditions : par exemple dans la partie C, on comparait aisément la zone à peine libérée par le glacier aux autres zones pour déduire l'effet du temps sur l'état des écosystèmes.

-**l'analyse des données doit être exhaustive.** Parfois, plusieurs informations d'un document ou d'un corpus de documents semblent redondantes. Une analyse croisée, méthodique et complète reste néanmoins nécessaire et permet de faire ressortir des nuances dans les conclusions.

-**l'analyse doit dépasser la simple description.** Pour cela, elle doit s'appuyer sur une quantification des données et, lorsque c'est possible, sur les barres d'erreur pour déterminer si l'effet induit par une condition donnée est ou non significativement différent du témoin. Trop peu de candidat-es ont, cette année encore, fait ressortir les données de significativité, ou fait l'effort de chiffrer leurs réponses et d'analyser ces valeurs en termes d'ordre de grandeur.

-**les analyses doivent être systématiquement interprétées.** Cela implique de mettre en lien l'analyse qui vient d'être faite avec les réponses apportées auparavant, et/ou avec les connaissances dans le but d'apporter des réponses aux questions soulevées. Les résultats analysés permettent-ils de répondre à la problématique identifiée par l'expérimentateur ? Viennent-ils confirmer des résultats observés dans d'autres documents ou des connaissances du programme ? Si non, permettent-ils simplement d'apporter des nuances à un modèle, ou nécessitent-ils une remise en question plus profonde (mauvaise interprétation des résultats précédents, modèle général qui ne s'applique pas à un cas particulier) ?

-**une conclusion doit expliciter les fonctionnements biologiques à l'œuvre.** Parfois, un ensemble de documents permet de tirer plusieurs conclusions. **Les candidat-es doivent alors**

organiser les étapes d'analyse et d'interprétation de façon à tirer toutes les conclusions possibles. Ceci est vrai pour des documents compliqués, mais aussi pour des documents simples. Des documents situés au début des parties B et C ont souvent été traités de façon parcellaire (analyses incomplètes, conclusions isolées) alors même que la plupart des candidat·es ont su en tirer de bonnes conclusions générales.

-une conclusion peut être suivie d'hypothèses. Ces hypothèses ne doivent pas être reprises en tant que conclusions établies dans les questions suivantes, au risque d'aiguiller les candidat·es dans de mauvaises directions.

-les meilleures argumentations sont concises et utilisent un vocabulaire précis et scientifique. La concision améliore la qualité générale des réponses et permet de garder du temps pour traiter plus de questions de façon plus approfondie. **Le jury recommande vivement aux candidat·es d'organiser leurs idées au brouillon.** Cela permet de choisir un support adapté pour l'analyse (un tableau peut par exemple être judicieux dans certains cas), de structurer l'alternance analyse/interprétation/conclusion pour des documents présentant des données complexes, tout en répondant de façon concise et avec le vocabulaire adapté.

Maîtriser les techniques de base de biologie. Les candidat·es doivent être en mesure de comprendre l'origine des résultats présentés pour pouvoir interpréter les documents. Il était cette année important de comprendre le fonctionnement de la microscopie électronique à transmission, d'une puce à ADN ou du *Northern blot*. Les candidat·es qui ne connaissent pas ces techniques ne peuvent logiquement pas comprendre les bases expérimentales à partir desquelles ils peuvent rigoureusement tirer des conclusions.

Comprendre et intégrer les données apportées tout au long de l'exercice. Chacune des parties B et C était organisée de façon à terminer sur des questions de synthèse, ce qui permet de discriminer les candidat·es arrivant à produire une synthèse globale et cohérente sur le processus biologique étudié de ceux et celles qui survolent le sujet. Ainsi, les candidat·es qui ont analysé les documents de façon rigoureuse et exhaustive présentent un bon niveau de compréhension et de conceptualisation des processus biologiques et produisent donc de bonnes synthèses, qu'elles soient sous forme de texte ou de schéma.

Éléments de correction de la partie B : conséquences des perturbations anthropiques du cycle du carbone

La partie B traitait des différentes réponses des végétaux chlorophylliens à fixation du carbone en C3 lors d'un enrichissement de l'atmosphère en dioxyde de carbone (CO₂). Le problème était abordé à deux échelles de temps distinctes : court terme (sous-partie 1) et long terme (sous-partie 2). Une très grande majorité des candidat·es a traité de manière approfondie la première sous-partie et a donc pu identifier les principales modifications métaboliques, cellulaires, physiologiques et anatomiques faisant suite à un enrichissement de l'atmosphère en CO₂ sur le court terme. En revanche, peu de candidat·es ont su traiter avec précision et rigueur la deuxième sous-partie et ainsi mettre en évidence le phénomène d'acclimatation (*cf* question 8b).

1a. Le jury souhaitait en guise d'introduction établir un état des connaissances des candidat·es sur le fonctionnement d'une enzyme clé de la photosynthèse (la RubisCO) et les inviter à faire le point sur les réactions enzymatiques essentielles (carboxylation et oxygénation) à prendre en compte pour

traiter convenablement la partie B. Le jury regrette des erreurs et un manque de précision pour nommer les réactions catalysées par l'enzyme, ses réactifs et ses produits. Quelques candidat·es ont cependant su présenter l'ensemble des réactions et tenir compte de leur stœchiométrie.

1b. Le document 1A présentait les résultats d'une étude cinétique de la RubisCO extraite de plants à fixation du carbone en C3. Les candidat·es étaient invités à exploiter ce document afin de déterminer la constante de Michaelis-Menten de cette enzyme (K_M) et sa vitesse maximale de carboxylation (V_{max}). La plupart des candidat·es connaissent et appliquent la méthode permettant d'obtenir les valeurs de K_M et V_{max} par lecture graphique à partir d'une représentation linéarisée. Le jury regrette cependant l'absence de justifications et les nombreuses erreurs de calcul ou d'unités. Quelques rares candidat·es fournissent les valeurs correctes de K_M et V_{max} accompagnées de leurs unités et mettent en perspective leurs résultats : dans les conditions expérimentales du lot A et E l'enzyme ne fonctionne pas en condition saturante de substrat. Un enrichissement de l'atmosphère en CO_2 conduit donc à une augmentation de la vitesse de carboxylation par la RubisCO.

1c. Les documents 1B et 1C comparaient la production nette et le ratio de la concentration intercellulaire sur la concentration atmosphérique en CO_2 (figure 1B) ainsi que la photorespiration (figure 1C) chez les plants du lot E et ceux du lot A. L'analyse et l'interprétation de ces deux documents permettaient de conclure qu'un enrichissement de l'atmosphère en CO_2 entraîne une augmentation de la concentration intercellulaire en CO_2 , une augmentation de la production nette et une forte inhibition de la photorespiration. Trop de candidat·es se sont limité·es à une analyse descriptive des résultats sans conclure convenablement quant aux réponses des végétaux lors d'un enrichissement de l'atmosphère en CO_2 .

1d. Les candidat·es étaient invités à rédiger une conclusion partielle et structurée, ce qui a souvent été limité à répéter les informations issues de l'analyse des documents précédents sans remettre ces informations en perspective. Une telle démarche ne permet alors pas de proposer une réponse construite pas à pas au problème posé.

2a. Le document 2 présentait une compilation d'histogrammes, de photographies et de micrographies qui comparaient les phénotypes foliaires des plants des deux lots. Beaucoup de candidat·es ont mené une analyse qualitative et superficielle des documents et n'ont conclu qu'à une augmentation de la surface des feuilles ainsi qu'à leur épaissement global. Une analyse rigoureuse et quantifiée permettait de montrer un épaissement plus important du parenchyme palissadique (ou parenchyme chlorophyllien – 100 μm vs 300 μm environ) par rapport au parenchyme lacuneux (200 μm dans les deux plants selon la figure 2C). Le jury regrette que beaucoup de candidat·es aient manqué de rigueur en simplifiant à tort « indice de surface foliaire » en « surface foliaire ». Cela ne leur a pas permis de conclure à une augmentation de la surface d'interception des rayons lumineux.

2b. Les candidat·es étaient invités à discuter des conséquences phénotypiques présentées ci-dessus sur la production nette des plants cultivés sous atmosphère enrichie. Seul·es les quelques candidat·es qui ont clairement établi un lien entre l'augmentation de l'indice de surface foliaire et la quantité de photons qui peuvent être absorbés ont conclu à une possible augmentation du rendement de la phase photochimique et donc à une production nette plus importante sous atmosphère enrichie. Le jury tient à souligner la qualité et la précision du vocabulaire scientifique des quelques candidat·es qui ont employé le terme de « rétroaction positive » pour qualifier le phénomène décrit ci-dessus.

3a. Le jury souhaitait évaluer le niveau de maîtrise par les candidat·es des outils technologiques classiques (microscopie photonique et microscopie électronique à transmission) utilisés en sciences de la vie. Faire preuve d'esprit critique et de discernement, notamment en étant capable d'identifier les points forts et faibles des méthodes et outils employés, sont des compétences clés en sciences expérimentales. Le jury est satisfait du niveau de maîtrise de ces compétences.

3b. Il était demandé de légender les structures chloroplastiques identifiées sur les électronographies du document 3A. Le jury rappelle qu'il est nécessaire de faire preuve de rigueur dans l'utilisation du

vocabulaire scientifique et regrette de trop nombreuses confusions entre les termes « enveloppe » (ou double membranes : structure 5 de la figure 3A) et « membrane ».

3c. Le document 3 présentait des électrographies de chloroplastes issus de plants des deux lots (figure 3A) ainsi que des données biochimiques (figure 3B). Le document permettait d'établir une comparaison de l'ultrastructure et du fonctionnement des chloroplastes selon la concentration de l'atmosphère en CO₂.

Dans un premier temps, les données de la figure 3A permettaient de conclure à une augmentation de la quantité de grains d'amidon (structure 1 sur la figure 3A), une augmentation du nombre de thylakoïdes intergranaires (structure 3) et une diminution du nombre de thylakoïdes granaires (structure 2) lors d'un enrichissement de l'atmosphère en CO₂. Le jury souligne la vision d'ensemble des quelques candidat·es qui ont su maintenir le fil directeur en établissant un lien entre l'augmentation de la production nette identifiée plus tôt dans le sujet et l'augmentation des réserves sous forme d'amidon.

Dans un second temps, la mise en relation des données des figures 3A et 3B permettait de conclure à une diminution du rapport PSI/PSII lors d'un enrichissement de l'atmosphère en CO₂ et donc à une moindre production de dioxygène par photolyse de l'eau au niveau du photosystème II. Sous atmosphère enrichie, la photosynthèse acyclique est réduite et les productions d'ATP et de coenzymes oxydés sont donc en partie décorréliées de la production d'O₂. Peu de candidat·es ont su utiliser à bon escient leur connaissances sur le métabolisme du chloroplaste pour parvenir à cette conclusion.

3d. Il était demandé de mettre en perspective les résultats de l'étude du document 3. Pour ce faire, il était essentiel de mobiliser ses connaissances sur le fonctionnement de la RubisCO. La conclusion suivante pouvait alors être établie : sous atmosphère enrichie les modifications des chloroplastes contribuent à l'augmentation de la production nette en réduisant la compétition O₂/CO₂ et en rendant la RubisCO davantage disponible pour fixer du carbone.

4a. Le document 4 présentait des données sur l'évapotranspiration et la conductance stomatique chez les plants des deux lots. L'analyse menée est restée superficielle et le lien entre fermeture des stomates et diminution de l'évapotranspiration diurne n'a pas été systématiquement établi.

4b. Les candidat·es devaient formuler des hypothèses sur les conséquences possibles d'une fermeture des stomates lors d'un enrichissement de l'atmosphère en CO₂. D'une part, la fermeture des stomates, en limitant les pertes en eau conduit à une augmentation du potentiel hydrique des cellules de la feuille, ce qui les rend davantage turgescents et facilite alors la croissance foliaire par auxèse. D'autre part, la fermeture des stomates en limitant l'entrée de CO₂ réduit la quantité de carbone assimilée par la plante et utilisable pour la synthèse de composés cellulaires, ce qui peut potentiellement limiter les divisions cellulaires et donc la croissance des feuilles. Ces deux effets antagonistes ont globalement mal été identifiés.

5a. Le document 5 présentait des données sur la conductance stomatique, les stocks d'amidon et la croissance foliaire de plants sauvages et de deux plants mutants. Ce document permettait d'identifier les mécanismes à l'origine de l'augmentation de la surface des feuilles des plants cultivés sous atmosphère enrichie. Dans de nombreuses copies, l'intérêt du recours aux mutants afin de répondre au problème posé a mal été cerné et a conduit à l'établissement de conclusions sans grand intérêt dans le cadre du sujet telle que « l'acide abscissique joue un rôle dans la fermeture des stomates ». Une analyse méthodique permettait de conclure qu'en phase précoce la croissance des feuilles la nuit est principalement limitée par les stocks foliaires d'amidon alors qu'en phase tardive la croissance des feuilles le jour est principalement contrôlée par la conductance stomatique. Les effets des mutations sur la croissance foliaire ne pouvaient être compris qu'en comparant systématiquement le plant sauvage aux plants mutants pour la phase précoce puis pour la phase tardive. Comme toujours, une grande attention devait être accordée à la significativité des résultats (recoupement des barres d'erreurs). Le jury regrette un manque de rigueur et d'organisation dans l'étude de ce document : dans de nombreuses copies, des comparaisons dénuées de sens entre mutants sont établies,

l'interprétation se confond à l'analyse et la significativité des résultats n'est pas prise en compte.

5b. Cette question invitait à proposer un modèle expliquant l'origine de l'augmentation de la croissance foliaire sous atmosphère enrichie. Seul·es les rares candidat·es ayant mené une analyse complète et rigoureuse du document 5 ont pu établir un modèle pertinent. L'importante production nette permet, dès l'émergence de la feuille, la constitution de réserves nocturnes d'amidon ce qui rend alors possible une importante croissance nocturne en phase précoce. D'autre part, la fermeture des stomates autorise une croissance diurne en phase tardive.

6. La rédaction d'une courte synthèse organisée (ou d'un schéma) permettait aux candidat·es de mettre en valeur leur esprit de synthèse et de répondre au problème en s'appuyant sur l'ensemble des documents de la sous-partie 1. Le jury souligne la qualité de la rédaction des candidat·es qui ont su prendre le recul nécessaire et sélectionner les informations essentielles afin de présenter de manière construite les réponses des végétaux lors d'une augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ sur le court terme. Quelques rares copies ont su faire la différence entre résultats et hypothèses et ont été valorisées en conséquence.

7. Cette question invitait à réfléchir aux avantages et inconvénients des deux dispositifs expérimentaux présentés dans le sujet. De nombreuses copies ont réalisé une comparaison de qualité et parfois organisée sous forme de tableau. Le dispositif FACE en permettant un contrôle fin de la concentration en CO₂ de l'atmosphère sur une parcelle de surface importante autorise une étude à l'échelle de l'écosystème et sur une échelle de temps plus longue que le système en chambre présenté en sous-partie 1. En travaillant sur une plus grande échelle de temps, l'expérimentateur peut étudier l'effet d'autres facteurs écologiques qui peuvent devenir limitants comme l'azote. En revanche, un tel dispositif est particulièrement onéreux et ne permet pas une maîtrise parfaite de l'ensemble des conditions expérimentales (pluviométrie, ensoleillement, température, ...).

8a. Le document 6B présentait les courbes de variation de la production nette des plants de différentes parcelles FACE en fonction de la concentration intercellulaire en CO₂. Ce document a été mal compris par la plupart des candidat·es qui y ont vu une courbe de cinétique michaelienne de la RubisCO. Le jury rappelle l'importance d'une lecture attentive des documents notamment afin d'identifier les paramètres décrits ou mesurés (ici la production nette et la concentration intercellulaire en CO₂). Ce graphique permettait donc d'appréhender les variations de la photosynthèse dans son ensemble en fonction de la concentration intercellulaire en CO₂ et non seulement les variations de l'activité de la RubisCO.

À faible concentration de CO₂, la production nette varie proportionnellement à la concentration intercellulaire : le CO₂ est le facteur limitant ; la production nette est limitée au niveau de l'étape catalysée par la RubisCO.

À plus forte concentration de CO₂, la production nette ne varie plus proportionnellement à la concentration intercellulaire en CO₂ et sature : le CO₂ est en excès, un autre paramètre limite la production nette. À l'aide de leurs connaissances, les candidat·es pouvaient émettre l'hypothèse qu'à forte concentration en CO₂, la production nette est limitée par la production au niveau des chaînes photosynthétiques des produits de la phase photochimique nécessaires au cycle de Calvin.

8b. Le jury attendait ensuite une analyse et une interprétation des courbes de variation de la production nette en fonction de la concentration intercellulaire en CO₂. Beaucoup de candidat·es ont su décrire les différences entre parcelles et conclure à une diminution de la production nette lors d'un enrichissement sur le long terme de l'atmosphère en CO₂, phénomène dit d'acclimatation. Les conclusions tirées à partir des résultats sur le long terme étaient en contradiction avec celles obtenus sur le court terme dans la sous-partie 1. Certain·es candidat·es n'ont pas su gérer cette contradiction et leur manque de confiance les a menés à un raisonnement erroné. Les quelques candidat·es qui ont

insisté sur le fait que les réponses observées ici sur le long terme sont différentes de celles observées dans la sous-partie sur le court terme ont été valorisées.

D'une manière générale, les candidat·es n'ont accordé que peu d'importance dans cette seconde sous-partie aux différences entre parcelles abondamment fertilisées (parcelles N) et parcelles faiblement fertilisées (parcelles n). Une telle omission n'a souvent pas permis de conduire une étude précise concernant l'importance d'un facteur écologique supplémentaire : l'azote disponible dans les sols. Ici, une étude détaillée du document permettait de mettre en évidence qu'une fertilisation importante des sols en azote amoindrit le phénomène d'acclimatation.

9a. Le document 7A présentait les résultats de mesures de la teneur foliaire en oses des feuilles de plants des différentes parcelles. L'étude de ce document demandait une fois encore la plus grande rigueur étant donné que deux paramètres varient ici : la concentration atmosphérique en CO₂ et la fertilisation des sols en azote. Beaucoup de candidat·es ont manqué d'organisation (analyse simultanée des deux paramètres) et se sont limités à des descriptions partielles manquant souvent de valeurs chiffrées.

Il fallait ici procéder en deux temps et d'abord comparer les teneurs en oses pour les plants des parcelles A et E afin de conclure qu'un enrichissement de l'atmosphère en CO₂ a pour conséquence une accumulation de saccharose et d'amidon dans les feuilles. Dans un second temps, la comparaison des teneurs en oses pour les plants des parcelles n et N permettait de conclure à une moindre accumulation de saccharose et d'amidon dans les feuilles lorsque la fertilisation des sols est importante.

Le jury regrette que le document ait été souvent étudié de manière isolée, sans faire de lien avec le document précédent ce qui a conduit à interpréter -à tort- l'enrichissement en oses comme le fruit d'une augmentation de la production nette. Le jury rappelle qu'il est essentiel pour répondre au problème d'interpréter les données issues des documents en y intégrant celles extraites des documents précédents. Les candidat·es ayant suivi cette démarche ont alors soulevé un paradoxe central de la sous-partie 2 : saccharose et amidon s'accumulent dans les feuilles alors même que la production nette est plus faible.

9b. Le document 7B permettait de comparer l'activité de la RubisCO des plants des différentes parcelles. Une analyse détaillée du document permettait de conclure à une diminution de la vitesse maximale de carboxylation (V_{max}) par la RubisCO lors d'un enrichissement de l'atmosphère en CO₂ sur le long terme. Cet effet est moindre lorsque la fertilisation des sols est importante. Quelques rares candidat·es ont su relier cette diminution de la vitesse maximale de catalyse de la RubisCO à la diminution de la production nette observée dans le document précédent.

9c. Les candidat·es devaient proposer une réponse permettant d'expliquer le paradoxe soulevé en question 9a. Quelques candidat·es ont su utiliser leurs connaissances et proposer un mécanisme basé sur un déséquilibre puits/source à l'origine de l'accumulation de sucres dans les feuilles des plants cultivés pendant une longue période sous une atmosphère enrichie en CO₂.

10a. Les candidat·es étaient une fois de plus invité·es ici à exercer leur esprit critique en discutant de l'intérêt du traitement des données de transcriptomique par l'étude du score z. Le jury constate un manque de clarté dans la rédaction de la réponse à cette question et invite les candidat·es à faire preuve d'une communication plus soignée.

10b. Le document 8 permettait de comparer l'abondance des transcrits de différents gènes impliqués dans le métabolisme pour les plants des différentes parcelles. Sous atmosphère enrichie, les transcrits codant les protéines impliquées dans la fixation du carbone (sous-unités 2, 3 et 4 de la RubisCO) sont significativement moins abondants alors que les transcrits codants les protéines impliquées dans la synthèse de saccharose (SBS 4 et 5, SPP 2) sont significativement plus abondants comparé à la situation sous atmosphère actuelle. L'abondance des transcrits codant des protéines impliquées dans le catabolisme (glycolyse, cycle de Krebs) n'est pas influencée de manière significative par une

variation de la concentration en CO₂. Le jury regrette que la significativité des résultats ait souvent été négligée et que les conclusions aient été trop rarement remises en perspective.

Il fallait ici relier d'une part la diminution de l'abondance des transcrits codants les différentes sous-unités de la RubisCO à la diminution de la V_{max} identifiée question 9b et d'autre part l'augmentation de l'abondance de transcrits codant des protéines impliquées dans la synthèse de saccharose et l'accumulation de saccharose dans les feuilles identifiée question 9a. Le jury souligne l'importance d'une telle démarche dans la résolution de problèmes scientifiques.

11a. Il était demandé de proposer un protocole expérimental permettant d'obtenir des protoplastes. Dans un premier temps, les cellules sont libérées de leur paroi pecto-cellulosique grâce à un cocktail d'enzymes à activité cellulase et pectinase ou par trituration. Dans un second temps, les protoplastes sont purifiés.

11b. Le document 9 présentait deux *Northern blots*. Ce document a été peu traité et souvent avec maladresse. Le jury rappelle que l'emploi d'un vocabulaire précis et rigoureux est nécessaire et qu'il faut consacrer suffisamment de temps à l'analyse du document afin d'identifier la technique employée et les conclusions qui peuvent en être tirées. Dans ce document, la phrase « La protéine RubisCO est moins abondante en présence de glucose qu'en présence d'eau » est fautive et devait plutôt être formulée ainsi « Les transcrits codant la protéine RubisCO sont moins abondants en présence de glucose que par rapport au témoin (eau) ». Le jury rappelle également que des conclusions pertinentes ne peuvent être formulées qu'en s'appuyant sur des comparaisons entre témoins et tests. Une analyse rigoureuse du document permettait de conclure que l'abondance de transcrits codant la protéine RubisCO est réduite en présence de glucose par un effet dépendant de l'utilisation de cet ose par l'hexokinase.

12. Le document 10 permettait de comparer les réponses de différentes espèces à fixation du carbone en C3 lors d'un enrichissement de l'atmosphère en CO₂. De très rares candidat·es ont atteint ce stade de l'énoncé et ont mené une analyse rapide du document. Une analyse poussée permettait de mettre en évidence une corrélation entre la diminution de la quantité de RubisCO et l'augmentation de l'activité invertase ainsi qu'une corrélation entre la diminution de la quantité de RubisCO et l'augmentation du rapport hexoses/saccharose. Remis en perspective, ces résultats permettaient de proposer l'hypothèse selon laquelle la diminution de la quantité de RubisCO serait la conséquence d'une augmentation de l'activité invertase et donc d'une augmentation de la quantité de glucose et de glucose métabolisé par l'hexokinase à l'origine d'une inhibition de la transcription du gène codant la protéine RubisCO.

13. Cette question invitait à répondre de manière construite au problème et à proposer un modèle résumant les réponses des végétaux chlorophylliens à fixation du carbone en C3 lors d'un enrichissement prolongé de l'atmosphère en CO₂. Peu de candidat·es ont su dégager suffisamment de temps pour traiter convenablement cette question. Le jury souligne toutefois la qualité rédactionnelle et l'esprit de synthèse de quelques rares candidat·es qui ont su résumer de manière concise et organisée l'ensemble des informations extraites des documents de la sous-partie 2.

Éléments de correction de la partie C : flux de matière dans un écosystème après le retrait d'un glacier

La partie C traitait d'une succession écologique suite au retrait d'un glacier dans les Alpes suisses. Les documents permettaient de comprendre les changements de la biocénose et du biotope au cours du temps. De manière générale, les réponses dans cette partie ont été parcellaires, même si elles montraient souvent des raisonnements intéressants. Voici une synthèse des éléments attendus aux différentes questions.

14a. Le document 12 présentait la situation géographique et topographique, ainsi que la dynamique du glacier Damma entre 1865 et 2004. Il était demandé de réfléchir à l'impact de la dynamique du glacier sur la végétation. Un tiers des candidat·es a fait le lien évident entre d'une part l'avancée du glacier et la destruction de la végétation (qui ne peut pousser tant que le glacier est présent) et d'autre part le recul du glacier et la place rendue disponible pour la végétation. Les autres ont proposé des explications compliquées sur la présence de lacs, de loess (qui sont des sédiments connus pour leur fertilité liés aux glaciers, mais qui ne sont pas déposés par les glaciers eux-mêmes et qui n'entraient donc pas dans le présent sujet), etc... Quelques candidat·es ont fait l'hypothèse, juste, concernant les dynamiques de colonisation et de compétition qui font suite au retrait du glacier. Presque personne n'a cependant nommé le processus de succession. Enfin, les candidat·es n'ont pas fait le lien entre les moraines (avec sols non constitués et peu fertiles, sans banque de graines) et une dynamique lente de colonisation.

14b. Il fallait déterminer le moment où les glaces libèrent l'amont et l'aval des trois zones. Cela pouvait se faire grâce à des éléments donnés dans le texte introductif (positions en 1865 et 2004), ainsi que par lecture graphique : les moraines marquent le début d'un recul, et donc l'aval d'une zone donnée. Le report du maximum d'avancement sur la partie gauche de la courbe permet de connaître l'âge de l'amont de la zone précédente. On déduit graphiquement que la zone 3 a été découverte entre 1865 et 1895, la zone 2 entre 1925 et 1955 et la zone 1 entre 1990 et 2004 (les dates ont été acceptées à plus ou moins 5 ans près).

15a. Le document 13 présentait une compilation de photographies, de courbes et de données sur les espèces répertoriées dans les différentes zones. L'analyse de ces documents permettait de faire ressortir une succession végétale : un changement de la composition, de la hauteur et de la biomasse de la végétation associé à un changement du biotope (profondeur et fertilité des sols). Quelques candidat·es ont produit une bonne analyse exhaustive des documents. La plupart des candidat·es s'est cependant contentée de faire une analyse superficielle ne se concentrant que sur quelques points saillants et sans faire de lien entre les différents supports.

15b. Les candidat·es devaient ensuite commenter le lien entre la biomasse et la composition de la végétation présente, compte tenu de leurs connaissances sur la fertilisation azotée. Une minorité des candidat·es a remarqué à juste titre que les Fabacées permettent, grâce aux symbioses à *Rhizobium*, de fixer l'azote. Elles favorisent ainsi la croissance de la végétation. Très peu ont vu le paradoxe présent ici : une abondance très faible de Fabacées mais une croissance exponentielle de la végétation. La majorité des candidat·es a trouvé normal que la biomasse augmente, en argumentant que la décomposition de la végétation suffit à constituer les sols. Un élément limitant ne peut s'accumuler dans la matière organique s'il n'est déjà sous une forme organique assimilable par les végétaux. À titre d'exemple, le diazote (forme minérale non assimilable) est le gaz le plus abondant de

l'atmosphère alors que l'azote est un élément qui limite très fréquemment la fertilité des sols. Cette erreur montre le manque de recul de certain·es candidat·es sur le fonctionnement du cycle de l'azote.

16a. Le document 14 présentait la quantité en azote et en phosphore du sol suite au retrait du glacier Damma. La quantité d'azote croît exponentiellement, comme la végétation. La quantité de phosphore ne présente elle pas de tendance significative (contrairement à ce qu'ont affirmé quelques candidat·es qui ont ignoré la présence de barres d'erreur). L'azote semble donc être le principal élément limitant ici.

16b. Le jury attendait ici la production d'un calcul simple et sa comparaison à une donnée mesurée. Pour cela, il fallait utiliser les données de l'énoncé pour choisir des niveaux de fertilisation pour les zones 1, 2 et 3, et faire des hypothèses plausibles quant aux intervalles de temps à fertilisation inconnue. L'hypothèse du niveau maximum de fertilisation pour toute la durée présentée permettait également d'avoir un ordre de grandeur adapté. Les candidat·es devaient enfin être capables de convertir des g/m^2 en kg/ha . Le jury s'étonne que malgré leur formation poussée en mathématiques, physique et chimie, la majorité des candidat·es ne soit pas capable de conduire à bien de tels raisonnements. Seule une minorité de candidat·es a entrepris ce calcul. Les hypothèses n'ont été que rarement justifiées. Enfin, il est préjudiciable que les candidat·es fassent une erreur d'un facteur 10 en utilisant $1 \text{ ha} = 1000 \text{ m}^2$ plutôt que de poser simplement $1 \text{ ha} = 100 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 10\,000 \text{ m}^2$. Trop peu de candidat·es ont donc réussi à obtenir un résultat cohérent (environ 10 g/m^2 à la fin de la période d'étude) et à conclure que la fixation biologique ne suffit pas à expliquer la fertilisation azotée (maximum 80 g/m^2 enregistrés) dans le cas du retrait du glacier Damma.

NB : certain·es candidat·es ont su, très astucieusement, utiliser la pente de la courbe de la quantité d'azote, ce qui leur a permis de trouver le résultat précédent et de conclure.

17a. Le document 15 présentait un dispositif expérimental qui permet de comprendre l'origine de la fertilisation azotée et phosphorée dans une zone où aucune fixation biologique n'est présente. La plupart des candidat·es ont su interpréter partiellement la figure et ont conclu au rôle de l'eau de pluie pour la fertilisation en azote et au rôle de l'eau circulant dans le substrat pour la fertilisation en phosphore. Cependant, une grande partie a fait une analyse superficielle et non systématique des différents panels. Beaucoup ont ainsi conclu que l'azote provenait de l'altération chimique du rocher en s'appuyant sur le document 15B. Le document 15D montrait pourtant que la fertilisation au niveau de l'entonnoir (non altérable) est plus importante que celle au niveau du rocher. L'azote provient donc ici directement de l'eau de pluie, et il est concentré au bord des rochers par un effet entonnoir. L'eau de pluie contient aussi du phosphore, concentré par l'entonnoir (document 15E). Cependant, pour des raisons inconnues il n'est pas concentré lors de l'écoulement sur le rocher.

17b. Un calcul simple était également attendu dans cette question. Pour cela, il fallait soustraire la quantité fixée biologiquement (question 16b) à la quantité observée. Cependant, les candidat·es n'ont jamais pris en compte les autres origines possibles de l'azote et ont donc calculé la quantité totale déposée *et* fixée biologiquement. Cela ne répondait pas à la question.

18a. Le document 16 s'intéressait à la présence d'azote et de phosphore sous leurs formes disponibles. Les documents 16A et 16B ont le plus souvent été décrits correctement : la quantité d'azote disponible dans le sol diminue entre les zones 1 et 2 et augmente ensuite jusqu'en zone 3, tandis que la quantité de phosphore disponible ne varie pas significativement. Ce document montrait donc que la quantité d'azote disponible n'est pas corrélée à la quantité d'azote totale.

Le document 16C confirmait les résultats généraux de la figure 16A, et peu de candidat·es ont cherché à comparer ces figures. Cette comparaison permettait pourtant de voir que la quantité d'azote

disponible varie peu au cours de la saison de végétation en zone 1. En revanche, pour les zones 2 et 3, elle diminue entre juin et juillet, et réaugmente entre juillet et août pour la zone 3 uniquement.

18b. Beaucoup de candidat·es ont, malgré des problèmes pour analyser les documents, réussi à faire l'hypothèse judicieuse du prélèvement de l'azote par la végétation, plus abondante en zones 2 et 3 qu'en zone 1. Cela permet d'expliquer la diminution de l'azote disponible entre les zones 1 et 2, ainsi que pendant la période de végétation des zones 2 et 3. Peu de candidat·es ont proposé des hypothèses sur l'augmentation de l'azote disponible entre les zones 2 et 3, comme par exemple une remobilisation de l'azote grâce aux décomposeurs.

19. La réalisation du schéma de synthèse a permis de valoriser les candidat·es ayant bien intégré et mis en lien l'ensemble des documents. Les candidat·es qui ont pris le temps de traiter correctement cette synthèse ont été très valorisé·es. Le jury salue la qualité générale des schémas : dessinés avec soin, comportant des titres et des légendes (mais très rarement des échelles) et des informations pertinentes (bien que souvent parcellaires). Le jury a valorisé les candidat·es qui ont illustré la notion centrale de succession (représentation des changements de la composition de la végétation et du biotope associé dans un endroit donné et dans l'espace), et qui ont cherché à avoir une vision d'ensemble plutôt que de détailler finement certains processus sans en représenter d'autres.

20. Le document 17 représentait un 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 étaient également représentés. Quelques candidat·es ont su dire que des groupes avaient été éclatés par la classification, mais n'ont pas pensé à décrire également que certains groupes étaient homogènes. La question a par ailleurs été ignorée par la plupart des candidat·es. Elle constituait pourtant une occasion de montrer les difficultés liées à la construction d'arbres phylogénétiques. Ici, la séparation de certains groupes bactériens par cette reconstruction phylogénétique pouvait avoir deux origines évidentes : transferts horizontaux du gène entre phylums non apparentés ou manque de robustesse de la classification basée sur un seul gène.

21a. Le document 18 présentait les activités enzymatiques de quatre enzymes impliquées dans le cycle de l'azote pour les quatre zones d'étude. Les candidat·es qui sont arrivé·es à cette question ont souvent su en tirer les conclusions principales : absence d'un cycle de l'azote en zones 1 et 2, cycle de l'azote actif en zone 3 et 4. Cependant, le jury déplore que les candidat·es n'aient pas fait l'effort d'appuyer leurs conclusions sur une description systématique des différentes parties du document pour reconstruire, à partir d'activités enzymatiques indépendantes, les différentes étapes qui mènent effectivement à un cycle de l'azote complet. Quelques rares candidat·es ont été valorisé·es pour avoir mis ces résultats en lien avec l'augmentation de la disponibilité en azote en zone 3.

21b. Il était demandé de discuter des activités enzymatiques mesurées (document 18) en lien avec le recensement des microorganismes (document 17). Cette question a été très peu traitée, mais les candidat·es ont souvent relevé un paradoxe entre la présence de communautés qui possèdent les gènes codants les enzymes pour toutes les réactions du cycle de l'azote en zones 1 et 2 et une activité enzymatique de type minéralisation uniquement. Des hypothèses pertinentes ont été proposées, comme par exemple que les gènes présents ne sont pas toujours exprimés. Les expériences proposées pour tester ces hypothèses étaient en revanche souvent assez vagues et peu réalistes.

22. Les candidat·es devaient pour cette dernière question compléter le schéma bilan établi en question 19. Il fallait représenter les communautés bactériennes et les activités enzymatiques. Les communautés bactériennes sont diversifiées dans toutes les zones. Les activités enzymatiques sont dominées par la minéralisation en zones 1 et 2 et forment un cycle de l'azote complet en zones 3 et 4, rendant à nouveau l'azote disponible pour les végétaux.