

ÉPREUVE ÉCRITE DE BIOLOGIE

L'objectif de l'épreuve écrite de Biologie est d'évaluer les capacités d'analyse des candidats à partir de documents issus de la littérature scientifique, ainsi que leur aptitude à les relier aux connaissances acquises durant les deux années de CPGE BCPST.

Les questions de cours restent donc importantes et ne doivent pas être négligées. Le jury a été surpris de constater que de nombreux candidats maîtrisent mal certaines définitions fondamentales. De même, des techniques pourtant classiquement utilisées dans de nombreux sujets ne sont pas connues ou comprises (des confusions sur les techniques de biologie moléculaire). Les graphiques à analyser doivent être quantifiés (sauf quand cela n'est pas explicitement demandé) et non décrits avec des formules imprécises comme « il y a plus ». Ainsi les points attribués à cet aspect de la réponse (faciles à gagner) ne sont pas systématiquement attribués, le candidat donnant sa conclusion directement.

Quand un schéma est demandé explicitement dans l'énoncé, un schéma est attendu. Les schémas doivent comporter un titre, être réalisés proprement et utiliser les couleurs de manière pertinente. Cette année, le jury déplore une recrudescence des fautes d'orthographe. Dans certains cas, il a été nécessaire de lire les copies à voix haute pour en comprendre le sens, tout trouble dys- étant exclu. La lisibilité de l'écriture pose également un problème dans certaines copies. Le jury demande donc aux candidats de veiller à rédiger leurs réponses de manière claire, propre et lisible.

Les meilleures copies sont celles qui abordent l'ensemble du sujet, avec des réponses précises et concises, justifiées, permettant d'obtenir un maximum de points en un minimum de temps.

Les deux parties de l'épreuve sont indépendantes, tout comme les sous-parties. Ainsi, un candidat peut traiter l'ensemble du sujet même s'il est bloqué sur une question. Près de la moitié des candidats a effectivement traité l'ensemble du sujet : 2/3 des candidats ont traité les questions 6b à 7d de la partie 1 et la moitié des candidats a traité les questions 13 à 17a, 20% des candidats a correctement traité la question 17b (pourcentages basés sur les notes différentes de zéro attribuées à ces questions).

BIOLOGIE 1

Quelques aspects de la biologie des Céphalopodes

Partie 1.1 (3.5 points) Perception gustative par les tentacules

Question 1.a.

Le sujet commence par une question de cours demandant la réalisation d'un schéma. Le récepteur nicotinique est un récepteur ionotrope, permettant le passage d'ions sodium (et potassium, car il n'est pas spécifique). La fixation de l'acétylcholine sur son site de liaison induit un changement de conformation, notamment une rotation des résidus leucine des chaînes alpha. L'entrée de sodium dans la cellule modifie le potentiel de membrane, ce qui déclenche un potentiel d'action au niveau de la membrane de la cellule musculaire, entraînant ensuite la contraction.

Le schéma attendu pouvait être de ce genre :

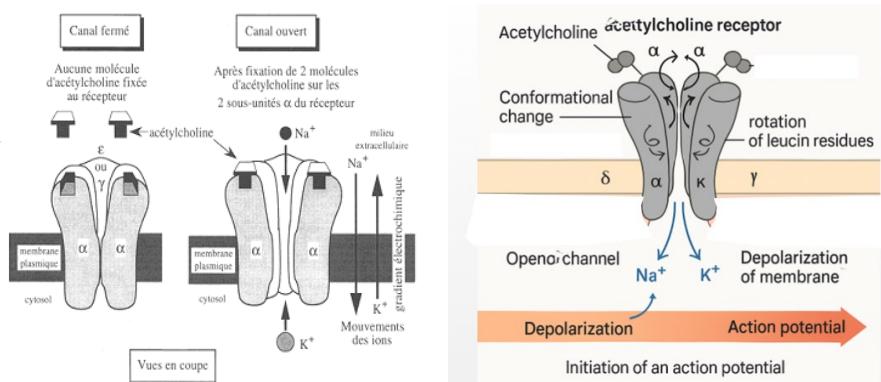


Schéma fonctionnel du récepteur nicotinique à l'acétylcholine

Le jury a tenu à rappeler la définition du récepteur nicotinique, en raison du nombre important de copies confondant ce récepteur avec le récepteur muscarinique, voire représentant un hybride associant le récepteur nicotinique à des protéines G.

Environ 25% des candidats n'ont pas su répondre à cette question.

Dans les expériences suivantes, il était demandé d'analyser les réactions d'un tentacule de pieuvre soumis à différentes molécules.

Question 1.b. Le DMSO est utilisé comme témoin dans l'expérience, afin de vérifier que le solvant seul n'induit pas de réponse motrice. On observe uniquement un artefact sur l'enregistrement, lié à l'ajout du DMSO, sans effet physiologique sur la réponse motrice.

Question 1.c. Le document 1A présente l'enregistrement de la différence de potentiel de membrane (ddp), exprimée en nanovolts, en fonction du temps (en secondes), ainsi que l'influence du milieu dans lequel baigne le nerf du tentacule.

Comme mentionné précédemment en 1B, l'ajout du solvant (DMSO) n'induit pas d'activité électrique, seul un artefact lié à son application est observé. L'extrait de poisson provoque une réponse faible et unique (les valeurs précises n'étaient pas exigées), tandis que les terpènes induisent une réponse plus intense (environ trois fois supérieure) et plus durable (environ quatre fois plus longue, avec deux à trois réponses successives).

On en déduit que le tentacule est capable de percevoir les extraits de poisson, mais qu'il réagit de manière plus marquée aux terpènes — possiblement présents dans ces extraits. Cette question a été parmi les mieux réussies (99% des candidats ont répondu).

Question 1.d. Le tentacule est photographié après l'ajout de la substance testée, à 1 s, 2 s et 3 s. Dans l'expérience témoin, où seul le solvant DMSO est utilisé, aucun mouvement n'est observé : le tentacule apparaît blanc, ce qui correspond à la superposition des trois images (aucun déplacement entre les prises).

Les extraits de poissons provoquent de grands mouvements du tentacule, tandis que les terpènes entraînent des mouvements plus limités, avec un repliement des tentacules. Ces mouvements sont probablement déclenchés par une perception sensorielle, comme le montre le document A.

Ainsi, les grands mouvements pourraient correspondre à un comportement exploratoire (recherche de proie) déclenché par un stimulus faible, tandis que les mouvements plus restreints avec repliement des tentacules pourraient correspondre à un comportement de capture, déclenché par un stimulus plus intense.

Question 1.e. Les pieuvres chassent en explorant les cavités, donc à courte distance, par tâtonnement. Leurs tentacules sont très proches des proies et peuvent entrer en contact direct avec les terpènes, qui sont hydrophobes (et donc ne diffusent pas dans l'eau).

À l'inverse, les calmars chassent à distance, à l'affût. Ils ne peuvent détecter leurs proies qu'à travers des molécules solubles qui se diffusent dans l'eau.

Peu de candidats ont su exploiter les indices présents dans le sujet, tels que « terpènes (molécules lipidiques au sens large) » et « molécules amères libérées dans l'eau de mer », pour comprendre les mécanismes de perception sensorielle par les récepteurs.

Question 2.a. C'est le groupe externe qui sert à polariser les caractères pour déterminer l'état ancestral ou dérivé de chaque caractère. La notion d'extra groupe est mal maîtrisée par les candidats : environ 20% des candidats n'ont pas su répondre à cette question.

Question 2.b. Le document 2A montre que les calmars, les seiches et les pieuvres partagent un ancêtre commun datant d'environ 280 millions d'années. Leur ancêtre commun avec le nautilus remonte à environ 450 millions d'années.

Dans le document 2B, on analyse un arbre basé sur la comparaison de séquences (phylogénie moléculaire) afin de reconstituer les relations de parenté. Les gastéropodes, tout comme les nautiluses, possèdent des récepteurs nicotiniques, également présents chez les pieuvres, les calmars et les seiches. Seuls les calmars et les seiches possèdent des récepteurs à l'amer CRB. Les

calmars, les seiches et les pieuvres possèdent des récepteurs aux terpènes CRT, tandis que seules les pieuvres possèdent les récepteurs CRX. Certains candidats n'ont pas fait le lien entre ces récepteurs et les récepteurs du goût.

Ainsi, les récepteurs du goût et les récepteurs nicotiniques proviendraient d'un même gène ancestral (celui codant le récepteur nicotinique ancestral). Ce caractère étant hérité de l'ancêtre commun, l'apparition du premier gène codant les récepteurs du goût serait donc antérieure à 300 millions d'années. La lecture de l'arbre phylogénétique a parfois posé des difficultés aux candidats.

Question 2.c. Des mutations peuvent modifier le site de reconnaissance du ligand, permettant ainsi la fixation de nouvelles molécules. Comme les céphalopodes possèdent toujours des récepteurs nicotiniques, il est probable qu'il y ait eu une duplication du gène ancestral, suivie d'une évolution par mutation des copies dupliquées vers les gènes codant les récepteurs CRB, CRT et CRX.

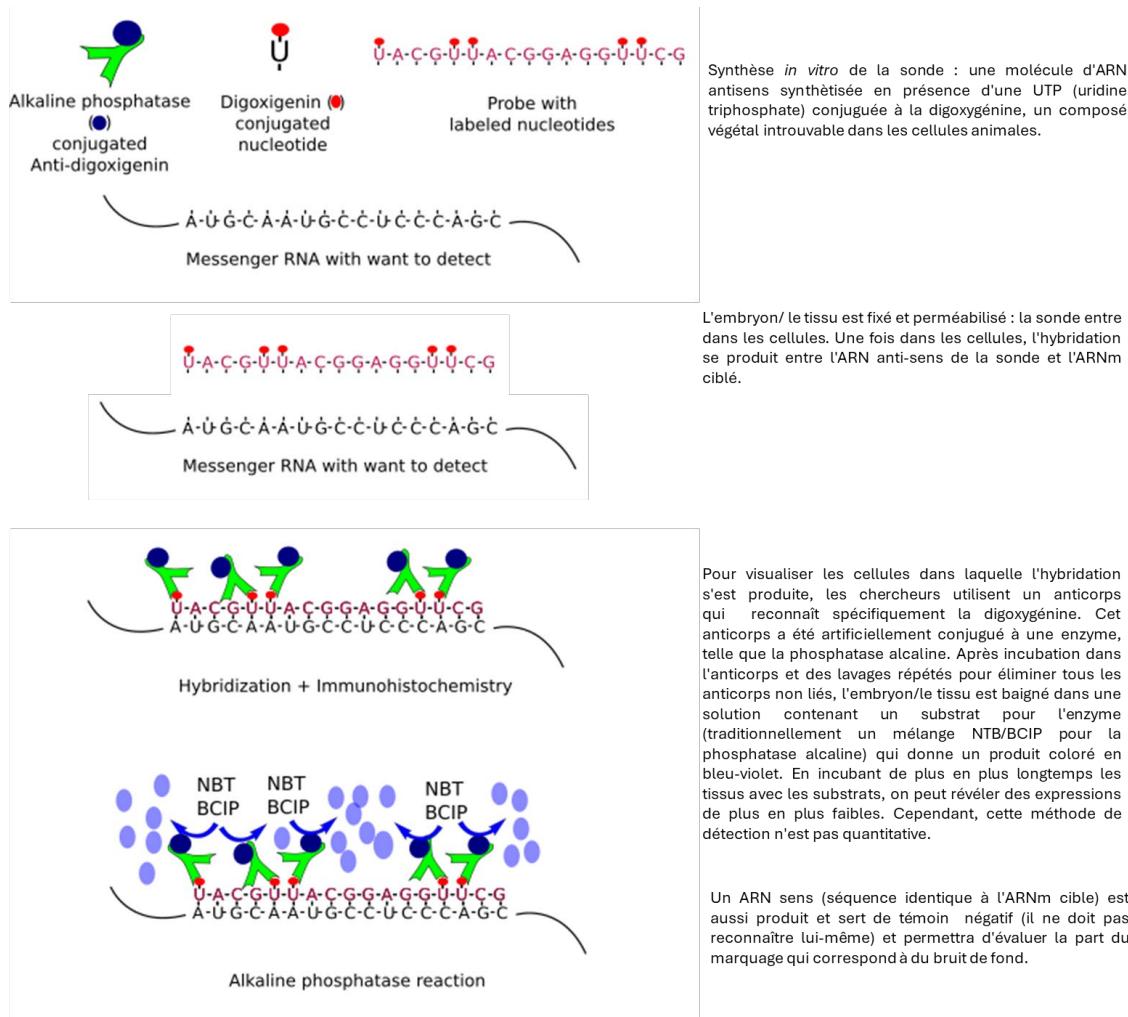
De nombreux candidats ont rencontré des difficultés avec cette question, certains affirmant à tort que les pieuvres ne possèdent pas de récepteur nicotinique, beaucoup n'ont pas envisagé la possibilité d'une duplication génique. Près de la moitié des candidats n'a pas réussi cette question.

Partie 1.2 (3.5 points) Contrôle du développement des tentacules

2.1. Localisation de l'expression de certains gènes

Question 3.a. Un schéma était demandé, un schéma était attendu, les copies dans lesquelles la réponse était constituée d'un texte uniquement n'ont pas obtenu de points à cette question.

Le principe de l'hybridation *in situ* pouvait être schématisé comme ceci :



Caractérisation de l'expression de gènes par hybridation *in situ*

(Illustration modifiée à partir de celle extraite de la vidéo de <https://www.youtube.com/@bcgdevelop>, une version plus simple pouvait récupérer le maximum de points attribués)

Le jury attendait simplement un schéma mentionnant qu'un ARNm produit par une cellule (« par hybridation *in situ*, on étudie l'expression des gènes ») peut s'hybrider à une sonde ARN marquée, par complémentarité de séquence. Cette hybridation permet de visualiser l'expression des gènes sur une culture cellulaire, une coupe tissulaire ou un embryon entier. On tire ainsi parti de la nature simple brin de l'ARNm en introduisant une séquence complémentaire modifiée (la sonde), permettant sa détection visuelle.

Le jury a été très surpris par le faible nombre de réponses correctes à cette question. Voici un florilège des erreurs relevées dans les copies : hybridation sur l'ADN pour rechercher la présence d'un gène, confusion entre hybridation *in situ* et séquençage, construction de gènes rapporteurs, marquage lors de la transcription par des nucléotides marqués, édition du génome par CRISPR-Cas9, invalidation (*knock out*) du gène étudié, reconnaissance directe de l'ARNm par des anticorps, etc.

Il est essentiel que les candidats lisent attentivement les questions posées afin d'éviter de répondre à côté et de perdre un temps précieux. Plus de la moitié (52%) des candidats n'ont pas obtenu de points à cette question.

Question 3.b. Dès le stade 21, le gène *Notum* n'est exprimé qu'à l'emplacement des futures ventouses, visibles en microscopie électronique à balayage (MEB). Son rôle pourrait être d'induire l'apparition des ventouses (gène de différenciation) ou de contrôler leur localisation.

Question 3.c. Le gène *Hedgehog (Hh)* n'est exprimé qu'au pôle antérieur de l'ébauche de tentacule. Il pourrait jouer un rôle dans la polarisation antéro-postérieure, à l'image de ce qui est observé chez les Tétrapodes. Toutefois, ce rôle n'est pas démontré : la localisation de son expression pourrait simplement résulter de l'activité d'un autre gène, qui serait en réalité le véritable acteur de la polarisation.

2.2. Effet de greffes et d'inhibition

Question 4.

La réponse attendue à ce type de question consiste d'abord à décrire les images du document, puis à formuler des hypothèses. Le DMSO, utilisé ici comme solvant, n'a aucun effet sur le développement des ventouses (photo M en microscopie électronique à balayage). En revanche, lorsque l'expression de *Hedgehog (Hh)* est inhibée par la cyclopamine (photo L), les ventouses ne se forment pas. Cela suggère que *Hh* pourrait induire directement la formation des ventouses, ou bien agir en amont d'un autre gène inducteur, tel que *Notum*.

Question 5.a. La photographie C sert de contrôle. Un greffon exprimant *Hh* placé en position postérieure (photographie B) se développe en un fragment de tentacule contenant des ventouses (flèches blanches). Le gène *Notum* s'exprime partout où des ventouses sont présentes (photographie D), ce qui suggère que son expression pourrait être induite par l'expression ectopique de *Hh*.

Question 5.b. Le gène *Hh* détermine l'axe antéro-postérieur, ce qui permet de positionner les ventouses au centre de cet axe, probablement par induction de l'expression de *Notum*. Toutefois, un autre signal de position semble nécessaire pour restreindre leur formation exclusivement au côté ventral.

Partie 1.3 (3 points) Édition génétique en réponse au froid

Question 6.a. I provient de A radioactif. Environ 25% des candidats n'ont pas répondu à la question.

Question 6.b. La piste H₂O ne contient que de l'adénosine : aucune conversion de l'adénosine (A) en inosine (I) n'est donc attendue. Il s'agit d'un contrôle négatif. ADAR2 est l'enzyme responsable de cette conversion. Si l'expérience fonctionne correctement avec l'enzyme purifiée, cette modification doit être observée : c'est le contrôle positif. Près d'un tiers des candidats n'ont pas répondu à la question.

Question 6.c. Dans l'extrait de cœur, seules des bases A radioactives sont détectées. En revanche, dans l'extrait d'axone géant, on observe à la fois des bases A et des bases I radioactives. Or, les bases I résultent de la conversion des bases A par l'enzyme ADAR2. Cela indique que l'édition des ARNm (conversion A → I) a lieu dans les axones, mais pas dans le cœur, ce qui montre que ce processus est dépendant du tissu. Il est surprenant de constater que de nombreux candidats ont négligé la piste « cœur », pourtant essentielle pour interpréter correctement les résultats.

Question 7.a. Les kinésines WT présentent une forte réduction de :

- leur vitesse passant de 600 mm.s⁻¹ à 25°C, 300 mm.s⁻¹ à 6°C)
- la distance parcourue (10 µm à 25°C à 5 µm environ à 6°C).

Question 7.b. Les ectothermes ont une température qui varie avec celle du milieu extérieur. En milieu froid, leurs neurones seront froids, et on s'attend à un fort ralentissement des kinésines pouvant ralentir leur fuite par perturbation du fonctionnement des synapses.

Question 7.c. La conversion de l'adénosine (A) en inosine (I) dans l'ARNm modifie l'information génétique. Lors de la traduction, cette modification entraîne le remplacement d'une asparagine par un acide aspartique. Pour évaluer l'impact fonctionnel de cette édition, on compare la kinésine sauvage (WT) à la kinésine mutée N117D. L'énoncé précise que les valeurs marquées par *** sont statistiquement différentes de celles du témoin WT à 6 °C. La kinésine issue d'un ARNm édité est moins ralenties par le froid (valeurs quasi identiques) et parcourt une distance plus grande (8 µm contre 5 µm) que la forme non éditée.

Question 7.d. L'édition limite les effets du froid sur la kinésine, ce qui devrait améliorer le réflexe de fuite.

BIOLOGIE 2 Quelques aspects de la biologie des orchidées

Partie 2.1. La pollinisation chez les orchidées (4.5 points)

Question 8. Les Orchidées sont vivement colorées et possèdent un éperon à nectar. De plus, l'Ophrys imite un insecte et peut attirer un bourdon mâle qui cherche à s'accoupler. Lors de la pseudo-copulation avec la fleur, il se chargera de pollinies qu'il pourra transporter jusqu'à une autre fleur. Les candidats ont bien réussi cette question. Notons que 99% des candidats ont correctement traité cette question.

Question 9A. Les réponses ont souvent (et malheureusement) été finalistes. La question était bien d'analyser (ce que les candidats ont fait en décrivant la figure) mais également d'interpréter (ce qui a été omis par certains d'entre eux). L'hypothèse de L. A. Nilsson est que la taille du nectaire influence la pollinisation car l'observation d'hybrides, aux nectaires de tailles différentes, sont moins fertiles, notamment parce que leur nectaire intermédiaire ne correspond à aucun pollinisateur spécialisé. Des expériences montrent que plus le nectaire est long (comme chez l'espèce d'origine), plus il y a de pollinies enlevées donc plus la pollinisation est efficace (il y a davantage d'ovules fécondés). On peut supposer que cela est dû au fait que si l'éperon est long, l'insecte doit s'enfouir plus profondément dans la fleur pour parvenir au nectar, augmentant ainsi la probabilité de se coller les pollinies sur le corps, et/ou de les déposer sur le stigmate. Cela confirme une coadaptation entre la fleur et l'insecte.

Des candidats ont critiqué l'absence de barres d'erreur dans la figure, la rendant selon eux impossible à analyser. Malheureusement, l'illustration est issue d'une publication scientifique : *Orchid pollination biology* L. Anders Nilsson Volume 7, Issue 8, August 1992, Pages 255-259 et la figure originale n'avait pas de barres d'erreur.

Question 9B. *Zaluzianskya microsiphon* est en réalité une Scrophulariacée. Les concepteurs du sujet n'ont en aucun cas cherché à induire une distorsion de la réalité en écrivant Orchidée. Les candidats se sont uniquement focalisés sur les adaptations à la pollinisation entomophile, ce qui correspondait bien à l'objectif du sujet. La scrophulariacée *Zaluzianskya microsiphon* offre du nectar à la mouche *Prosoeca ganglbaueri*, et la mouche transporte le pollen de la fleur. On a donc affaire à une relation à bénéfices réciproques, qui dure seulement une partie du cycle de vie des partenaires et non pas

permanente, c'est-à-dire un mutualisme. Il n'est nullement question de parasitisme ou de prédatation comme nous avons pu le lire. Près de 90% des candidats ont correctement abordé la question.

Question 9C. *Disa nivea* bénéficie de la présence de *Zaluzianskya microsiphon*, qui attire et récompense les polliniseurs *Prosoeca ganglbaueri*. *Disa*, qui lui ressemble beaucoup, bénéficie de cet effet d'annonce. Pour *Zaluzianskya microsiphon*, deux possibilités : soit la présence de *Disa* ne change rien, auquel cas on a affaire à du commensalisme, soit la présence de *Disa* la concurrence (par exemple en détournant une partie des polliniseurs) et dans ce cas, on a affaire à une relation d'exploitation.

De nombreux candidats ont parlé de coévolution, certains même de symbiose, sans justifier leur choix.

Question 9D. On observe une corrélation entre la longueur de l'éperon nectarifère de la Scrofulariacée *Zaluzianskya* et celle de la trompe de son pollinisateur, la mouche *Prosoeca* : les deux longueurs sont généralement similaires. Cette corrélation suggère une coévolution entre les deux espèces.

Les orchidées aux éperons plus longs sont mieux fécondées (document 9A). Si cette caractéristique est héréditaire, les orchidées de la génération suivante auront tendance à présenter des éperons plus longs. En parallèle, les mouches ayant une trompe plus longue seront avantagées, car elles pourront accéder à davantage de fleurs. Si ce trait est également héréditaire, la génération suivante de mouches aura des trompes plus longues. Ce mécanisme de sélection réciproque illustre une coévolution, bénéfique pour les deux partenaires : la plante est efficacement pollinisée et l'insecte trouve une source de nourriture.

Cependant, cette spécialisation rend les deux espèces dépendantes l'une de l'autre : si l'une disparaît, l'autre risque de disparaître aussi.

L'orchidée *Disa nivea* possède un éperon, mais sans nectar. Sa ressemblance avec *Zaluzianskya* laisse penser qu'il s'agit d'une espèce tricheuse. On observe une corrélation entre la longueur de l'éperon de *Disa* et celle de la trompe de *Prosoeca*, mais comme l'éperon ne contient pas de nectar, les mouches à longue trompe ne sont pas avantagées. Cette corrélation ne reflète donc pas une coévolution directe entre *Disa* et *Prosoeca*.

En revanche, on peut supposer une coévolution entre *Disa* et *Zaluzianskya* : à chaque génération, les *Disa* qui ressemblent le plus à *Zaluzianskya* sont davantage pollinisées, et ont donc un meilleur succès reproductif.

Question 10A. Un seul témoin était attendu mais il y a deux témoins à cette expérience : la condition 2 représente le témoin positif, elle permet de vérifier qu'en conditions naturelles, la fécondation est suffisamment efficace pour que 90% des fleurs donnent des fruits. La condition 1 dans laquelle la fécondation est empêchée est le contrôle négatif (le ratio n'est pas nul : est-ce à cause d'une autofécondation ? d'une fécondation à la suite de la mise en place du voile après dépôt de pollen non contrôlé ?)

Question 10B. L'autofécondation est bien moins efficace que la fécondation croisée (ratio de 0.5), pour le même protocole mis en place (les valeurs de la condition 4 -ratio de 0.1- sont équivalentes aux valeurs de la condition 1). On peut supposer qu'il existe des barrières génétiques limitant l'autofécondation chez les Orchidées, même si elles ne l'empêchent pas complètement. Notons que la fécondation dans la condition 3 est moins efficace que celle dans la condition 2 (ratio de 0.9).

Question 10C. En comparant les conditions 4 (ratio de 0.4) et 5 (ratio de 0.7), on observe que les moustiques sont significativement plus efficaces que la pollinisation manuelle pour réaliser l'autofécondation d'une fleur. Cela est confirmé par la comparaison des conditions 2 et 3. On observe aussi qu'avec quelques moustiques dans l'enceinte, la fécondation est aussi efficace qu'en milieu ouvert (condition 2 et 6 = même résultat).

Question 11A. Un **score de préférence** est un indicateur numérique qui reflète le choix ou l'attrait d'un individu pour une option donnée parmi plusieurs. Il est souvent calculé à partir de comportements observables (temps passé, fréquence de choix, consommation, etc.) ou de réponses subjectives (questionnaires, évaluations, etc.). Ici, on regarde combien de fois le moustique se dirige vers l'odeur test, et combien de fois il se dirige vers la condition témoin.

Si par exemple, le moustique se dirige vers l'odeur dans 50% des cas et vers le témoin dans 50% des cas, on peut proposer un score de préférence de 0. Si le moustique se dirige vers l'odeur dans 100% des cas, on propose un score de 1. Si le moustique se dirige vers l'odeur dans 75% des cas, on propose un score de 0.5.

Autre possibilité : si on teste un moustique avec A (odeur) et B (huile minérale), et qu'il passe 70 % du temps près de A et 30 % près de B, on peut définir un **score de préférence pour A** comme :

Score de préférence pour A = Temps passé près de A/Temps total = $70/(70+30) = 0.7$

Un score de 0.5 indiquerait aucune préférence, un score supérieur à 0,5 indique une préférence pour A, et inférieur à 0.5 une préférence pour B.

Toute proposition logique était acceptée. Cependant de nombreux candidats ont juste décrit ce qu'était un score de préférence. Environ 80% des candidats ont obtenu des points à cette question, mais la moyenne de cette question est de 0.12/0.25.

Question 11B. On observe que le moustique n'est pas attiré par l'huile seule (témoin négatif) et qu'il est fortement attiré par la fleur (témoin positif). Il est un peu attiré par le mélange (score de 0.1), mais 2 fois plus lorsque le mélange contient le lilac aldéhyde. On peut supposer que le lilac aldéhyde favorise l'attraction du moustique.

Question 11C. Il manque la condition où on teste le lilac aldéhyde seul (donc sans le mélange artificiel ressemblant à l'odeur mais avec une huile minérale). La moitié des candidats a obtenu des points à cette question.

Question 12A. Les 5 lignes sont indicatives et il est tenu compte de la grosseur de l'écriture. Toutefois, une demi-page est pénalisée. L'activation du récepteur à l'odeur provoque la naissance d'un train de potentiels d'action. L'arrivée à la synapse de ce train de potentiels d'action entraîne l'ouverture de canaux calciques voltage-dépendants. Le calcium est à l'origine de l'exocytose des vésicules à neurotransmetteurs. 40% des candidats n'ont pas obtenu de points à cette question.

Question 12B. Les lobes antennaires du moustique réagissent à l'odeur de la fleur en produisant un signal calcique, ce qui indique une activation neuronale. Ce signal est également observé en réponse au lilac aldéhyde seul, mais il est plus faible que celui déclenché par l'odeur complète de la fleur. Cela suggère que d'autres composés présents dans l'odeur florale contribuent aussi à l'activation des neurones. En l'absence d'odeur (témoin négatif), aucun signal n'est détecté, ce qui confirme la spécificité de la réponse.

Partie 2.2. Les orchidées épiphytes (1 point)

Question 13. Les feuilles sont plus épaisses en altitude et elles contiennent davantage d'eau. On peut penser que ces plantes font des réserves en eau et que cela constitue une adaptation au milieu épiphyte aride (car il y a bien moins d'eau dans les fentes d'un tronc ou d'une branche que dans un sol). Globalement, le rapport surface/volume (c) diminue avec l'altitude. Cela est à mettre en relation avec le fait que les feuilles sont plus épaisses (a) et gorgées d'eau (b). Cela permet de stocker de l'eau et aussi de limiter les pertes d'eau par diffusion. Globalement, la masse de chlorophylle (d) diminue avec la hauteur. On peut mettre cela en relation avec le fait que l'intensité lumineuse est plus faible au niveau du sol : une efficacité identique de la photosynthèse nécessite de plus grandes quantités de chlorophylle.

Cette question a été peu traitée par les candidats (45%), ou de façon maladroite (moyenne de 0.3/1). Le terme d'adaptation est peu donné.

Partie 2.3. Les orchidées mycohétérotrophes (3 points)

Question 14A. Un arbre phylogénétique est dit "raciné" lorsqu'il possède un point d'origine identifié, appelé racine, qui représente l'ancêtre commun le plus récent de tous les taxons (espèces, gènes etc.) représentés dans l'arbre. Pour raciner un arbre, on utilise souvent un groupe externe (une espèce ou un groupe connu pour être plus éloigné des autres). Cela permet de positionner la racine et d'orienter l'arbre. L'arbre a un point de départ unique à partir duquel toutes les branches évolutives se déplient. Cela permet de donner un sens directionnel au temps évolutif : on peut dire qu'un taxon

est plus "ancien" ou plus "dérivé" par rapport à un autre. Un arbre raciné permet de reconstruire l'ordre des divergences évolutives et de formuler des hypothèses sur l'évolution des caractères.

L'arbre présenté ici est raciné car il possède un extra groupe (*Vanilla planifolia*). Cette question de cours (semblable à la question 2a) a été très peu réussie : si le terme d'ancêtre commun est donné, sa signification est vague. 40% des candidats n'ont pas obtenu de points et la moyenne de la question a été 0.1/0.25.

Question 14B. Cette question de cours a été très mal traitée. Les candidats confondent les deux définitions ou n'en connaissent qu'une seule. 50% des candidats n'ont pas obtenu de points.

Une homologie est un caractère dérivé hérité d'un ancêtre commun (synapomorphie). Au contraire, une homoplasie désigne le partage d'un caractère dû à une convergence ou réversion.

Question 14C. La mycohétérotrophie est apparue à plusieurs reprises dans l'arbre : il s'agit d'une homoplasie (homoplasie par réversion pour la perte de l'autotrophie). D'abord, les groupes peuvent devenir mycohétérotropes partiels. Puis, au sein de groupes partiellement mycohétérotropes partiels, des individus totalement mycohétérotropes peuvent apparaître.

Question 14D. En phylogénie, l'arbre le plus parcimonieux est celui qui explique les relations évolutives entre les espèces avec le minimum de changements évolutifs (mutations, pertes ou gains de caractères etc.).

Autrement dit, c'est l'arbre qui nécessite le plus petit nombre d'événements évolutifs pour rendre compte des caractères observés chez les espèces actuelles. Cette question de cours est comprise dans l'ensemble.

Question 15A. L'orchidée autotrophe est le témoin pour 100% de carbone issu de photosynthèse (Cdp). La néottie est le témoin pour 100% de carbone issu du *fungus* (champignon) (Cdf). Les mycohétérotropes partiels sont entre les deux et on regarde la distance entre leur droite et celles des témoins pour obtenir les proportions Cdp et Cdf. Par exemple, pour un faible ensoleillement, 55% Cdp + 45%Cdf = 100%. Ainsi, à fort ensoleillement, X = 100-13 = 87% Cdp.

Question 15B. On observe que pour un flux de photons faible ($30 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$), 55 % du carbone de *Cephalanthera rubra* provient de la photosynthèse, alors que pour un flux de photons élevé ($200 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$), 87 % du carbone provient de la photosynthèse. Les résultats sont proches pour *Cephalanthera damasonium*. On en déduit que l'orchidée prélève du carbone organique *via* le champignon lorsque l'intensité lumineuse est faible et que la réalisation de la photosynthèse est difficile. La relation orchidée-champignon est donc dynamique dans le temps et est influencée par des facteurs extérieurs comme l'ensoleillement.

Question 16A. Une fixation nette de CO_2 indique que le catabolisme oxydatif (= respiration) l'emporte sur la photosynthèse. Lorsque la plante est à l'ombre, elle ne photosynthétise pas et ne fait que respirer. Il y a souvent confusion entre photorespiration et hétérotrophie.

Question 16B. On observe que les orchidées albinos respirent moins que les orchidées témoins. Comme elles ne photosynthétisent pas, leur fixation nette de CO_2 est négative et constante au soleil et à l'ombre (pas de différence significative : les lettres sont identiques). De plus, leur conductance stomatique est plus faible. Or, la conductance stomatique reflète l'ouverture des stomates, nécessaire à l'évaporation foliaire. C'est cette évaporation qui tracte la colonne d'eau nécessaire à l'équilibre hydrique du végétal. On peut supposer que :

- soit l'albinos a besoin d'un flux plus faible parce qu'il ne fait pas de photosynthèse ;
- soit l'ensemble du métabolisme est moins efficace, ou la plante est plus petite (rien ne précise si la taille des plants a été prise en compte)...

Partie 2.4. Les gènes de la floraison des orchidées (1.5 point)

Question 17A. Les gènes homéotiques codent des facteurs de transcription à homéodomaine responsables de la mise en place de grands segments de l'organisme, organisés chez les animaux le long de l'axe antéro-postérieur. Il y a colinéarité spatiale et temporelle entre l'expression de ces gènes dans l'embryon et leur position sur le chromosome. Les protéines à homéodomaine se lient aux promoteurs des gènes et activent ou répriment en cascade des centaines d'autres gènes. Les

candidats pouvaient donc décrire un gène du développement animal mais aussi un gène de développement végétal comme dans la morphogenèse florale : les gènes ABC et éventuellement E.

Des confusions sur le nom des gènes ont été notées.

Question 17B. Mutant A : les pétales ressemblent au labelle. On propose un gain de fonction de PhAGL6 dans les pétales. Mutant B : deux des sépales ressemblent au labelle. On propose un gain de fonction de PhAGL6 dans ces pétales. Mutant C : la forme du labelle est modifiée. On propose un changement d'expression de PhAGL6 dans le labelle (par exemple, une moindre expression). Les candidats ayant abordé cette question, même partiellement, l'ont bien réussie (du moins pour ceux qui décrivent les pièces florales du sujet).