

CONCOURS G2E

BIOLOGIE

Durée : 3 heures

Les calculatrices programmables et alphanumériques sont interdites. Les téléphones portables, "smartphones" et tout autre objet connecté doivent être éteints au cours de l'épreuve et ne doivent en aucun cas être utilisés même à titre de montre.

L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est strictement interdit.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il en fait mention dans sa copie et poursuit sa composition. Dans ce cas, il indique clairement la raison des initiatives qu'il est amené à prendre.

Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question posée.

La rédaction se fera uniquement à l'encre bleue ou noire et l'utilisation du blanc correcteur et effaceur est interdite. Les découpages et collages sur la copie sont interdits.

Une grande attention sera apportée à la clarté de la rédaction et à la présentation des différents schémas si nécessaire.

Il n'est pas nécessaire de rédiger une introduction et une conclusion.

Attention : le sujet de biologie est composé de deux parties indépendantes dont la numérotation est continue afin d'éviter toute confusion lors de vos réponses. Le jury vous conseille de les composer en 1h30 chacune afin de répondre à toutes les questions.

Remarque importante : les questions suivent une problématique progressive, le jury vous conseille donc de les aborder dans l'ordre du sujet.

Bibliographie/Sitographie

BIOLOGIE 1

- Mattioli T. et al. (2010) The Journal Of Biological Chemistry vol. 285, no. 31, pp. 24154–24163
Suzuki et al. (2009) Invert Neurosci 9:185–193
Allard, C.A.H et al. (2023) Nature 616, 373–377
Kang, G. et al. (2023). Nature 616, 378–383
O.A. Tarazona et al. (2019) eLife;8:e43828.
K J Rangan, S L Reck-Peterson Cell. (2023) Jun 8;186(12):2531-2543.e11.

BIOLOGIE 2

- <https://www.sfoaquitaine.com/orchidées-sauvages/>
https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Ophrys_apifera_%28flower%29.jpg
CRDP de Nice <http://crdp-nice.net/>
Jonhson et al., (2010) Phil. Trans. R. Soc. B 365, 499–516
Lahondère et al., (2020) 708–716 PNAS January 7, | vol. 117 | no. 1
Petter et al., (2016) *Functional Ecology*, 30, 188–198
V.S.F.T. Merckx (ed.), (2013) *Mycoheterotrophy: The Biology of Plants Living on Fungi*, 297
Roy et al, (2013) Ecological Monographs, 83(1), pp. 95–117
Huang et al., PLOS ONE May 13, (2015).

BIOLOGIE 1

(Durée conseillée 1h30)

Quelques aspects de la biologie des Céphalopodes

Les Céphalopodes sont un groupe de mollusques marins apparus à la fin du Cambrien (500 millions d'années) dont la tête est munie de tentacules préhensiles. Ce groupe inclut notamment les pieuvres (ou poulpes, ces deux noms sont synonymes), les calmars (ou calamars), les seiches et les nautilus.

On se propose ici d'étudier leurs tentacules sous plusieurs aspects : perception de la nourriture, développement, modalités du contrôle de leur expression génétique.

Partie 1.1 (3.5 points)

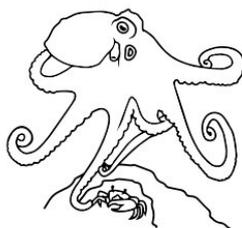
Perception gustative par les tentacules

Les pieuvres tout comme les calmars ont des tentacules. Les pieuvres ont 8 tentacules de même longueur, alors que les calmars ont, en plus, deux longs tentacules qui leur permettent d'attraper par surprise leurs proies. Les pieuvres, elles, se déplacent et explorent les cavités avec leurs tentacules. On se demande donc si les bras des pieuvres et tentacules longs des calmars possèdent des récepteurs sensoriels capables de détecter les proies.

a Pieuvre = poulpe



Explore

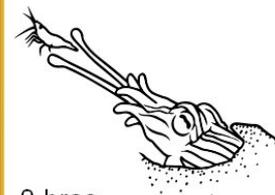


8 bras

b Calmar



Chasse à l'affût



8 bras

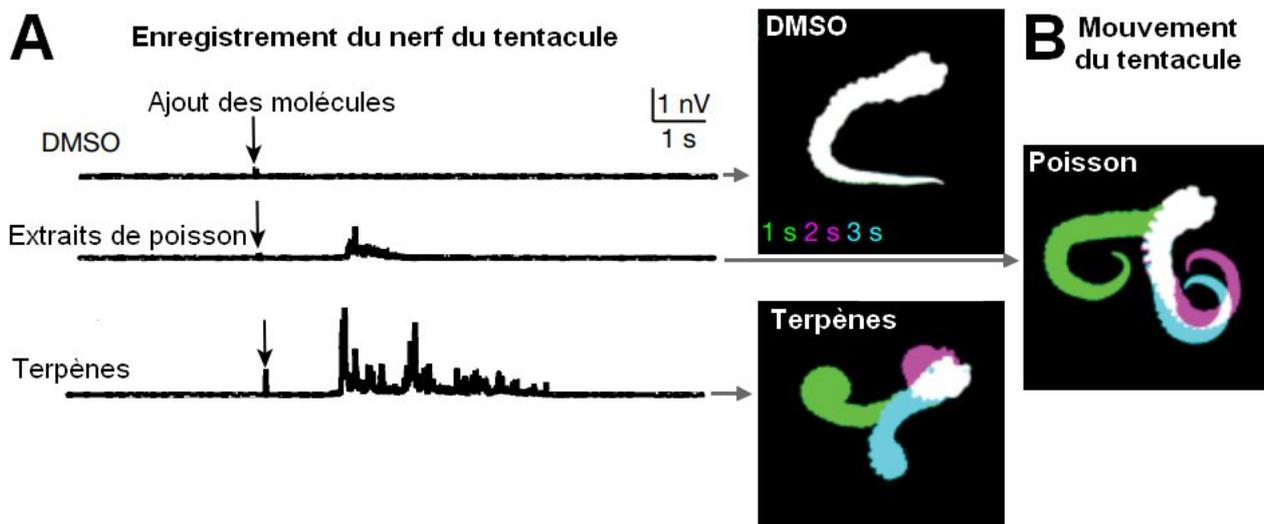
2 tentacules longs

Annexe 1. Deux photos de pieuvre et de calmar, et les dessins de leurs techniques de chasse respectives.

Des protéines apparentées au récepteur nicotinique à l'acétylcholine des Mammifères ont été identifiées chez les Céphalopodes. Il en existe trois types, les CRB, CRT et CRX (CR = *cholinergic Receptor*). On pense que ces récepteurs sont des récepteurs sensoriels à certaines molécules chimiques.

Question 1.a. Expliquer rapidement, par un schéma la relation structure-fonction du récepteur nicotinique à l'acétylcholine chez les Mammifères.

On applique trois solutions différentes sur des tentacules de pieuvre coupés : un solvant peu polaire (DMSO), des extraits de poisson ou des terpènes (molécules lipidiques au sens large). Les poissons et les crustacés dont se nourrissent les pieuvres produisent tous des terpènes, mais la formule chimique est légèrement différente d'un groupe à l'autre.



Document 1. (A) Enregistrement de l'activité électrique du nerf d'un tentacule de pieuvre, avant et après ajout dans l'eau d'un solvant DMSO, ou d'extraits de poisson solubilisés dans du DMSO, ou de terpènes dissous dans du DMSO. (B) Mouvement de ce tentacule sectionné à différents temps après l'ajout de ces molécules (1s en vert, 2s en rose, 3 s en bleu ; la superposition de 2 ou 3 couleurs en blanc).

Question 1.b. Expliquer l'intérêt de la première expérience du solvant DMSO ajouté dans l'eau

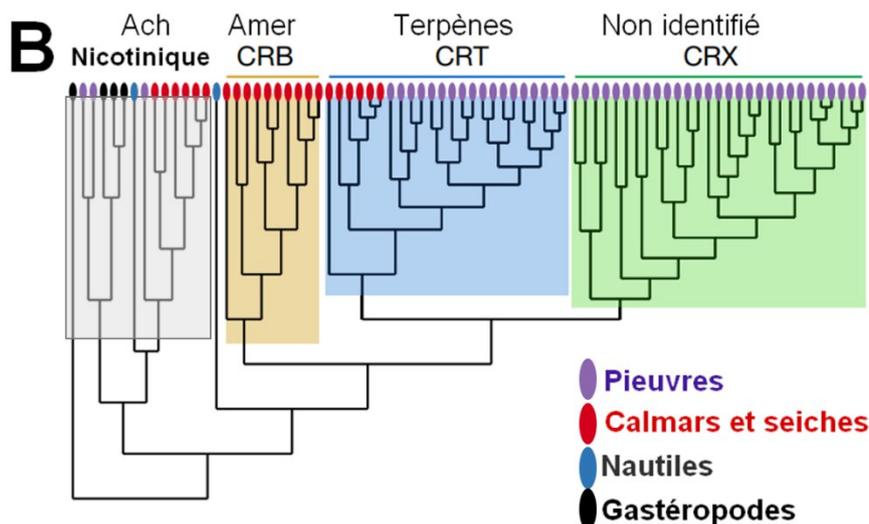
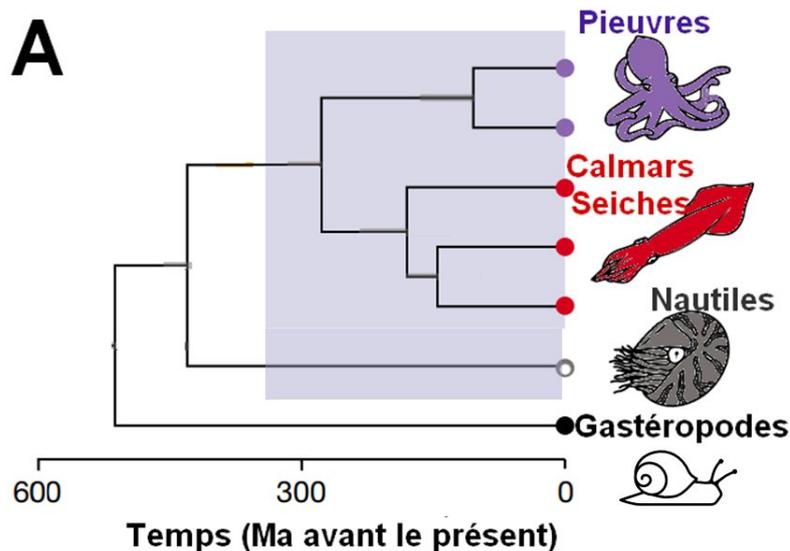
Question 1.c. Analyser le document 1-A (seule une analyse qualitative est attendue).

Question 1.d. Analyser le document 1-B, puis, en utilisant l'ensemble du document 1, proposer un rôle pour les mouvements observés.

Les résultats des expériences avec des tentacules longs des calmars sont tout à fait similaires à ceux du document 1, si ce n'est que les terpènes n'induisent aucune réponse. Ce sont au contraire des molécules hydrophiles, ayant pour les humains un goût amer, qui déclenchent l'activité électrique et le mouvement les tentacules longs. Ces molécules amères sont produites par les poissons et crustacés et libérées dans l'eau de mer.

Question 1.e. En utilisant l'annexe 1 (voir page 2) et vos conclusions précédentes, montrer que les récepteurs sensoriels présents sur les tentacules permettent aux pieuvres d'avoir une niche écologique différente de celle des calmars.

Comme les tentacules des calmars et des pieuvres ne répondent pas à l'ajout d'acétylcholine, mais à des substances amères ou des terpènes, on cherche à comprendre l'origine de cette différence.



Document 2. (A) Arbre phylogénétique des Céphalopodes établi avec les séquences mitochondriales. (B) Arbre de comparaison de séquences des récepteurs CR chez les Céphalopodes et des Gastéropodes. Chaque type de récepteur est encadré par un rectangle de couleur différente, et les organismes par des ovales colorés aux extrémités des branches : le récepteur nicotinique (rectangle gris), les récepteurs aux molécules amères («CRB» rectangle orangé), les récepteurs aux terpènes (CRT rectangle bleu) et des récepteurs de même structure dont le(s) ligand(s) n'ont pas encore été identifiés (CRX rectangle vert).

Question 2.a. À quoi servent les Gastéropodes dans le document 2-A ?

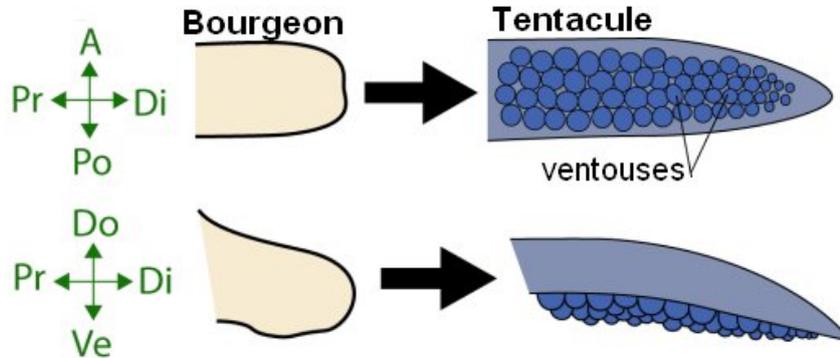
Question 2.b. Analyser le document 2 pour déterminer le moment d'apparition de récepteurs au goût sur les tentacules des Céphalopodes. Doit-on s'attendre à en retrouver chez les nautilus ?

Question 2.c. D'après le document 2, l'apparition des récepteurs gustatifs des Céphalopodes s'est-elle produite par accumulation de mutations dans le gène du récepteur nicotinique ou par un autre mécanisme ? Justifier votre réponse par une phrase.

Partie 1.2 (3.5 points)

Contrôle du développement des tentacules

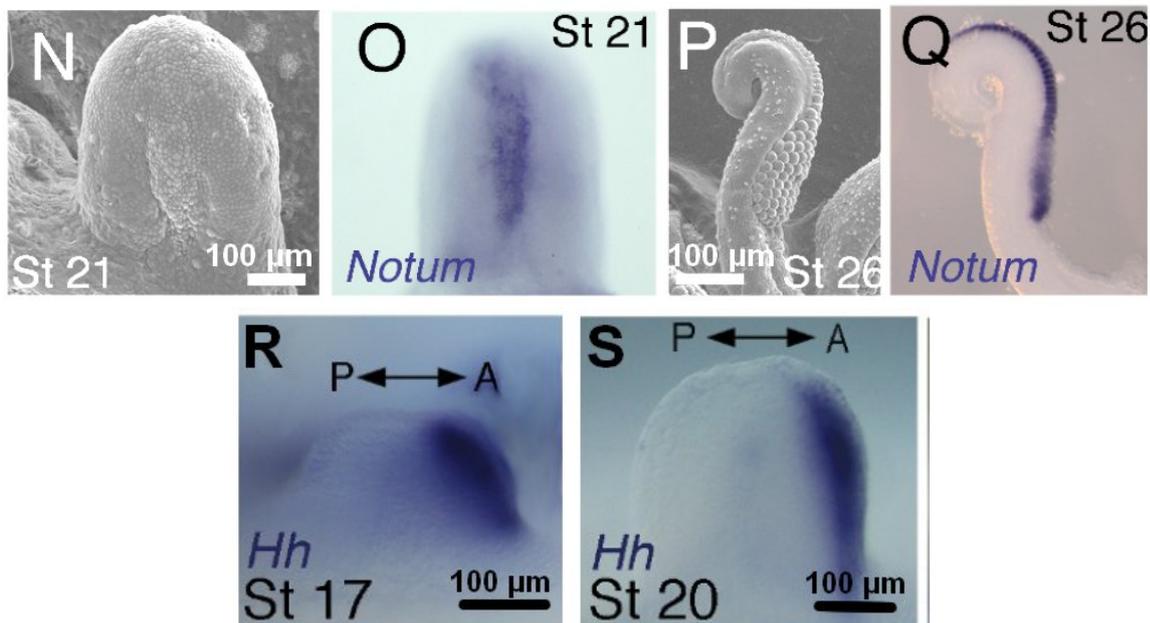
Les tentacules des Céphalopodes se développent chez l'embryon à partir d'un bourgeon. On souhaite étudier la mise en place des axes de polarité des tentacules au cours du développement.



Annexe 2. Axes de polarités antéro-postérieur, proximo-distal et dorso-ventral du bourgeon de tentacule puis du tentacule mature. A = antérieur, Po = postérieur ; Pr = proximal, Di = distal ; Do = dorsal, Ve = ventral. (Ce document n'est pas à analyser).

2.1. Localisation de l'expression de certains gènes

Par hybridation *in situ*, on étudie l'expression des gènes *Hedgehog* et *Notum*. Le gène *Hedgehog* est homologue du gène des Vertébrés *Sonic Hedgehog*.



Document 3. Hybridation *in situ* sur un bourgeon de tentacule de seiche révélant l'expression des gènes *Notum* (photos O et Q) et *Hedgehog* (*Hh*) (photos R et S) par une coloration violette, à divers stades du développement du bourgeon (les stades de développement sont indiqués par un numéro précédé de St. Le stade 17 est l'initiation du bourgeon et le stade 26 est un tentacule mature.) Les photos N et O d'une part, et P et Q d'autre part, montrent le même bourgeon de tentacule, avec deux techniques différentes. P = postérieur, A = antérieur.

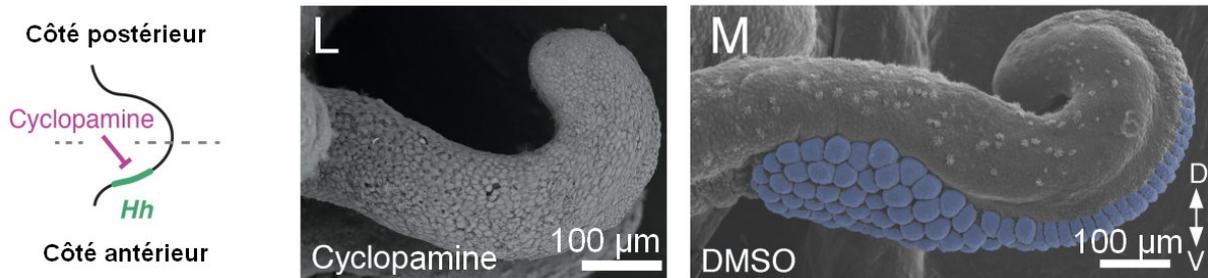
Question 3.a. Réaliser un schéma permettant d'expliquer le principe de l'hybridation *in situ*.

Question 3.b. D'après le document 3, quelle est la localisation de l'expression du gène *Notum* ? Quel pourrait être le rôle de ce gène ?

Question 3.c. D'après le document 3, quelle est la localisation de l'expression du gène *Hedgehog* (*Hh*) ? Quel pourrait être le rôle de ce gène ? Ce rôle a-t-il été prouvé par l'expérience du document 3 ? Justifier votre réponse.

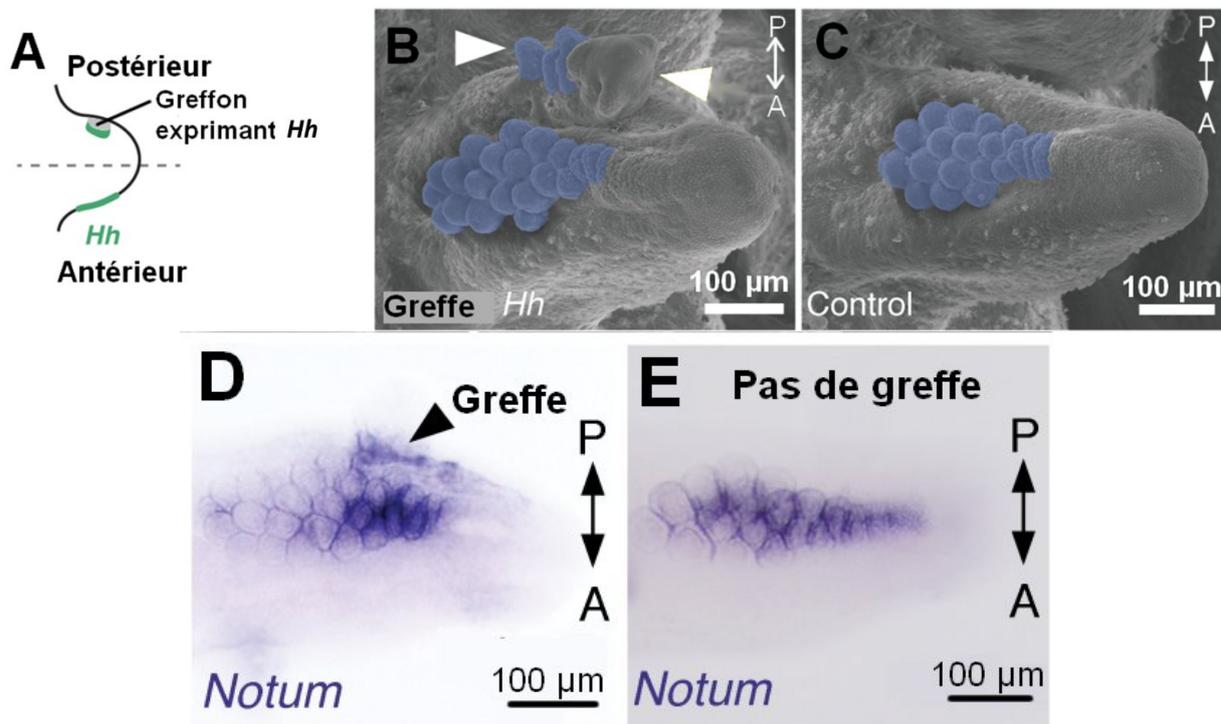
2.2. Effet de greffes et d'inhibition

L'expression du gène *Hedgehog* est étudiée par ajout d'un inhibiteur bloquant son expression, la cyclopamine, ou par une greffe ectopique.



Document 4. Effet de l'ajout d'un inhibiteur de l'expression du gène *Hedgehog* au stade de bourgeon de tentacule sur le développement ultérieur du tentacule (photo L) et de l'ajout de DMSO sans cyclopamine (photo M). Le DMSO est le solvant dans lequel on dissout la cyclopamine. Les ventouses sont colorisées en bleu pour faciliter leur identification.

Question 4. Analyser les photos du document 4.



Document 5. Effet d'une greffe de la zone antérieure du bourgeon de tentacule exprimant le gène *Hedgehog* (*Hh*) en position postérieure sur un embryon normal, au stade de bourgeon : sur le développement du tentacule (E) et l'expression de *Notum* (I). La position du greffon est indiquée par deux flèches blanches sur la photo B et par une flèche noire sur la photo D. Les photos C et E correspondent au contrôle non greffé. P = postérieur, A = antérieur.

Question 5.a. Analyser les photos du document 5.

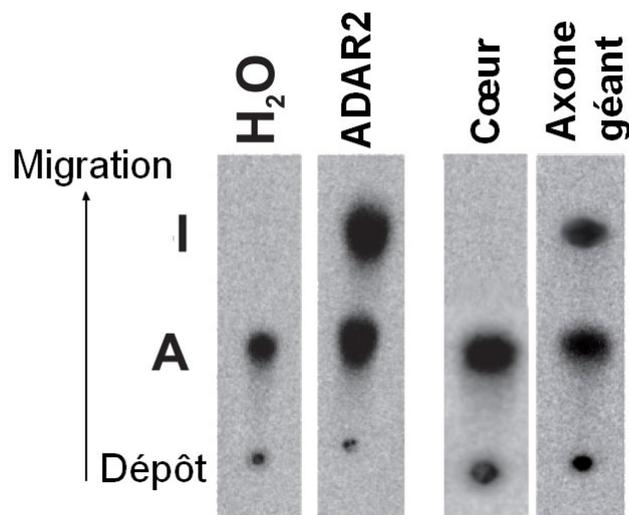
Question 5.b. En utilisant les documents 3, 4 et 5, proposer un mécanisme expliquant la localisation des ventouses sur le tentacule lors de son développement.

Partie 1.3 (3 points)

Édition génétique en réponse au froid

Un mécanisme peu connu de diversification du protéome est la modification des bases des ARNm, nommée édition. Ce processus est rare chez les Mammifères, où il concerne moins de 1% des ARNm, et ne semble pas avoir de rôle adaptatif. En revanche, 60% des ARNm des Céphalopodes sont modifiés par l'édition. Les chercheurs se demandent si cette édition massive des ARNm pourrait avoir un rôle adaptatif chez les Céphalopodes.

La désamination de l'adénosine (A) donne une autre base notée inosine (I). Cette conversion est catalysée par des enzymes nommées ADAR (*Adenosine Desaminase that Act on RNA*), et est typique de l'édition des ARN. Un ARNm est synthétisé avec des nucléotides A radioactifs et G,T,C non radioactifs. Il est placé dans des extraits cellulaires provenant de différents organes du calmar, puis les ARN sont récupérés, hydrolysés en nucléotides, et mis à migrer en chromatographie en couche mince, avant révélation de la radioactivité par un film photographique.



Document 6. Révélation de la chromatographie en couche mince d'eau, de protéine ADAR2 purifiée, d'extraits cellulaires de différents organes du calmar incubés préalablement avec des ARN contenant initialement des adénosines (A) radioactives.

Question 6.a. Dans le document 6, pourquoi le nucléotide inosine (I) est-il radioactif ?

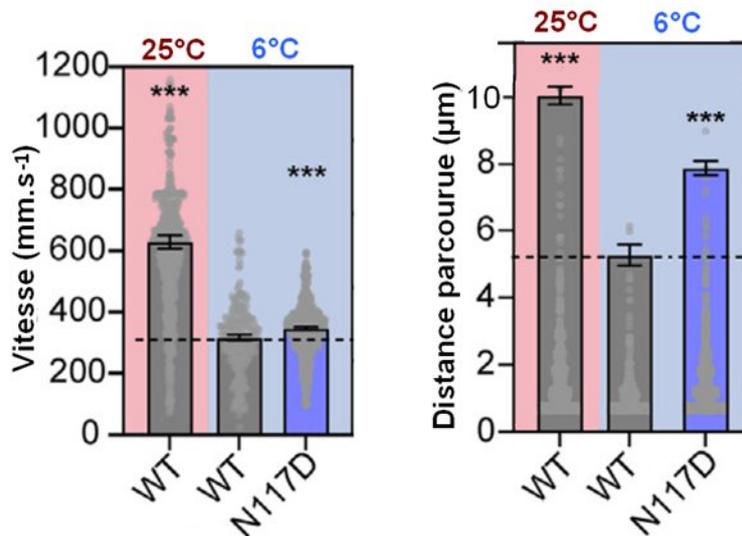
Question 6.b. À partir de la piste «H₂O» et «ADAR2» du document 6, expliquer ce qu'est un contrôle négatif et un contrôle positif dans une expérience scientifique.

Question 6.c. Le document 6 met-il en évidence des phénomènes d'édition dans certains organes du calmar ? Justifier votre réponse.

Les kinésines sont des protéines de transport de vésicules vers le pôle + des microtubules des axones. Le blocage des kinésines perturbe le fonctionnement des synapses reliées à l'axone inhibé. L'axone géant des neurones du ganglion étoilé permet le contrôle nerveux de la fuite du calmar par éjection rapide d'un jet d'eau.

Dans la kinésine éditée qui est la plus fréquente dans les axones géants, on observe des substitutions non synonymes sur trois sites très conservés. Des kinésines portant une seule de ces modifications sont étudiées afin d'évaluer l'effet de ces substitutions.

En laboratoire, par vidéo, on mesure la vitesse de déplacement des vésicules liées aux kinésines, ainsi que la distance totale parcourue lors du test.



Document 7. Fonctionnement de la kinésine à 25°C (sur fond rose à gauche) ou 6°C (sur fond bleu à droite) pour des kinésines non éditées (WT) ou comportant un acide aminé modifié par édition. N117D signifie que l'acide aminé N en position 117 est transformé en acide aminé D. *** signale des valeurs statistiquement différentes du témoin WT à 6°C.

Question 7.a. Comparer le fonctionnement de la kinésine normale à 25°C et 6°C.

Question 7.b. Sachant que les calmars sont des ectothermes, quel peut être l'effet du froid sur le fonctionnement des axones des calmars ?

Question 7.c. Comparer l'activité des kinésines porteuses d'une substitution typique de l'édition et la kinésine normale à 6°C.

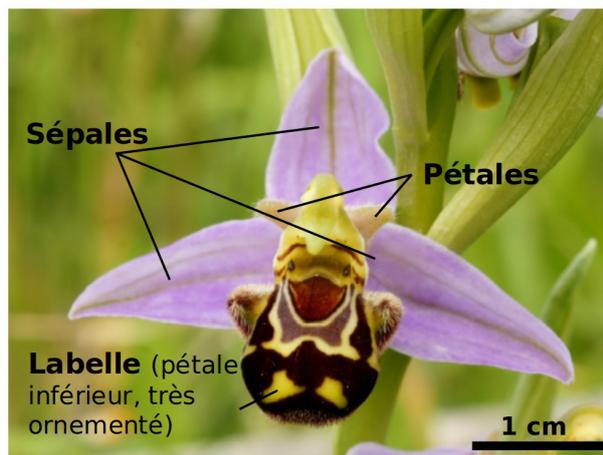
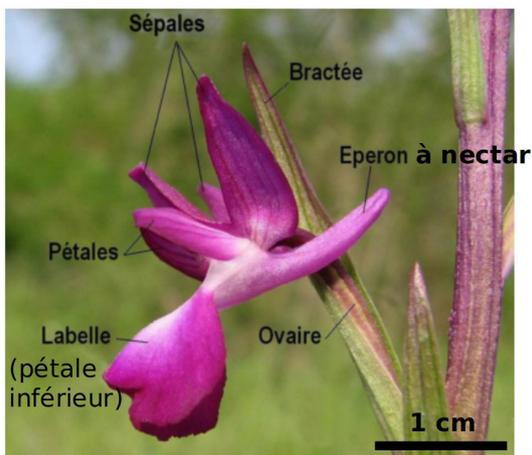
Question 7.d. Pourquoi peut-on parler d'adaptation au froid concernant le processus d'édition de la kinésine chez les calmars ?

BIOLOGIE 2 (Durée conseillée 1h30)

Quelques aspects de la biologie des orchidées

Les Orchidacées ou orchidées représentent la plus grande famille d'Angiospermes en termes de nombre d'espèces (plus de 30.000, soit 10% des espèces d'Angiospermes). Elles sont présentes sur tous les continents à part en Antarctique.

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

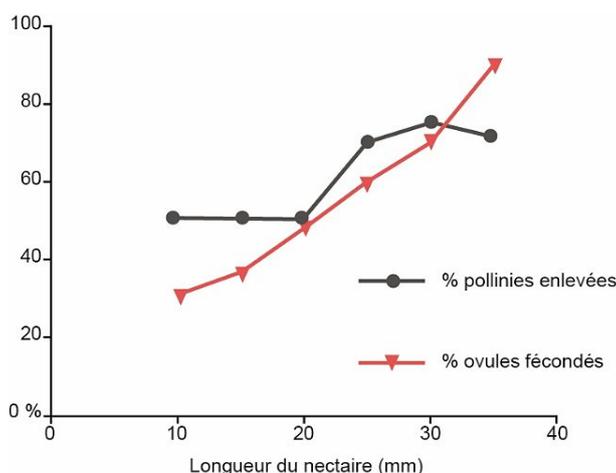


Anacamptis laxiflora (Orchis à fleurs lâches) *Ophrys apifera* (Ophrys abeille)

Document 8. Observation de deux fleurs d'orchidées

Question 8. À partir du document 8, indiquer au moins deux adaptations des orchidées à la pollinisation entomophile.

Le pollen des orchidées est présent sous forme de deux petites masses appelées pollinies. Sur la même fleur, on évalue le nombre de pollinies enlevées par le papillon et le nombre d'ovules fécondés en fonction de la longueur de l'éperon à nectar (nectaire) chez l'orchidée *Platanthera bifolia*, une orchidée pollinisée par des papillons de nuit à longue trompe.



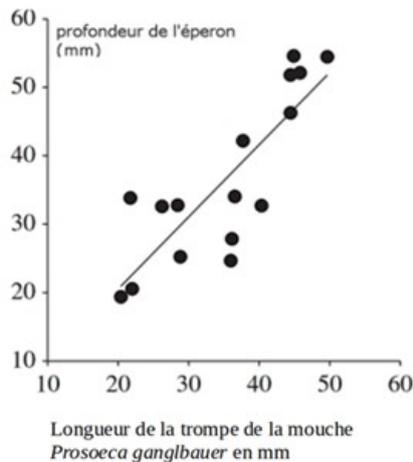
Document 9A. Nombre de pollinies enlevées et nombre d'ovules fécondés en fonction de la longueur de l'éperon à nectar (nectaire).

Dans une même région, on trouve des orchidées de l'espèce *Zaluzianskya microsiphon*, qui produisent du nectar, et des orchidées *Disa nivea*, d'apparence très similaire, qui n'en produisent

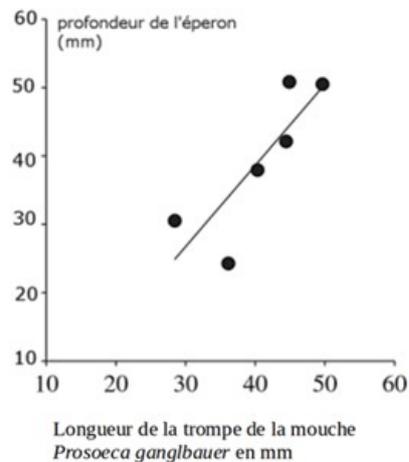
pas. Les deux orchidées sont pollinisées par la mouche *Prosoeca ganglbauer*. On évalue dans plusieurs régions la longueur de l'épéron nectarifère de l'une ou l'autre des orchidées, et en parallèle la longueur de la trompe des mouches. Chaque point représente la moyenne de ces mesures pour une région donnée.



Zaluzianskya microsiphon et la mouche *Prosoeca ganglbauer*



Disa nivea et la mouche *Prosoeca ganglbauer*



Document 9B. Lien entre la longueur de l'épéron nectarifère de deux orchidées et celle de la trompe de la mouche *Prosoeca*. La droite tracée sur chacun des nuages de points représente la régression linéaire, supposée statistiquement significative. Barre d'échelle 10 mm.

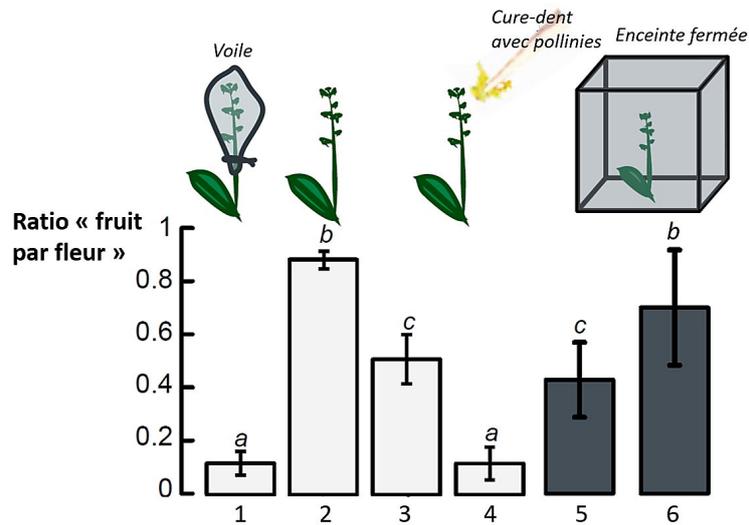
Question 9A. Analyser et interpréter le document 9A.

Question 9B. Quelle relation entretiennent entre elles l'orchidée *Zaluzianskya microsiphon* et la mouche *Prosoeca ganglbauer* ? Justifier votre réponse.

Question 9C. D'après le document 9B, quelle relation entretiennent entre elles les deux orchidées *Zaluzianskya microsiphon* et *Disa nivea* ? Justifier votre réponse.

Question 9D. Analyser et interpréter les résultats du document 9B. Conclure sur le processus évolutif à l'œuvre entre les orchidées et la mouche *Prosoeca ganglbauer* (une explication est attendue pour chacune des deux espèces d'orchidées).

D'autres orchidées sont pollinisées par des moustiques. Par exemple, *Platanthera obtusata* est pollinisée par les espèces de moustiques *Aedes communis* et *Aedes increpitus*. Pour étudier l'impact de la présence des moustiques sur la fructification d'une de ces orchidées, on réalise différentes conditions précisées dans le document 10.



Document 10. Différents protocoles de fécondation d'une orchidée. On observe combien de fleurs donnent effectivement des fruits. Des lettres différentes indiquent des résultats statistiquement différents.

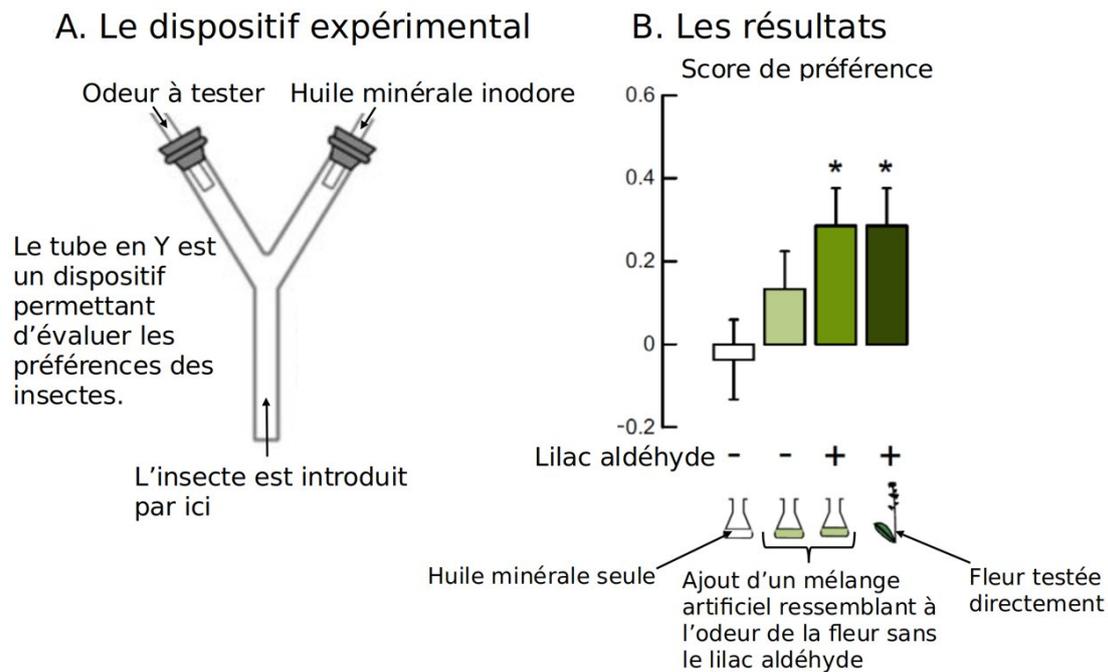
- 1 : Plant enveloppé d'un voile très fin empêchant les moustiques de s'approcher.
- 2 : Plant à l'air libre, sans voile.
- 3 : Pollinisation croisée artificielle : avec un cure-dent, on prélève les pollinies d'une fleur, puis on les dépose sur une fleur d'un autre plant.
- 4 : Autopollinisation artificielle : à l'aide d'un cure-dent, on prélève les pollinies d'une fleur, puis on les dépose sur une fleur de la même tige.
- 5 : Plant seul enfermé dans une enceinte avec quelques moustiques.
- 6 : Deux plants enfermés dans une enceinte avec quelques moustiques.

Question 10A. Quelles sont les conditions témoins de cette expérience? que permettent elles de vérifier?

Question 10B. Comparer les résultats entre les conditions 3 et 4. Que pouvez-vous en conclure ?

Question 10C. Analyser et interpréter les résultats des conditions 5 et 6 (notamment en les comparant aux autres conditions).

Des résultats de chromatographie montrent que l'odeur de *Platanthera obtusata* est un mélange complexe, contenant entre autres une molécule odorante appelée « lilac aldéhyde ». On teste la préférence des moustiques pour cette odeur grâce à un tube en Y.



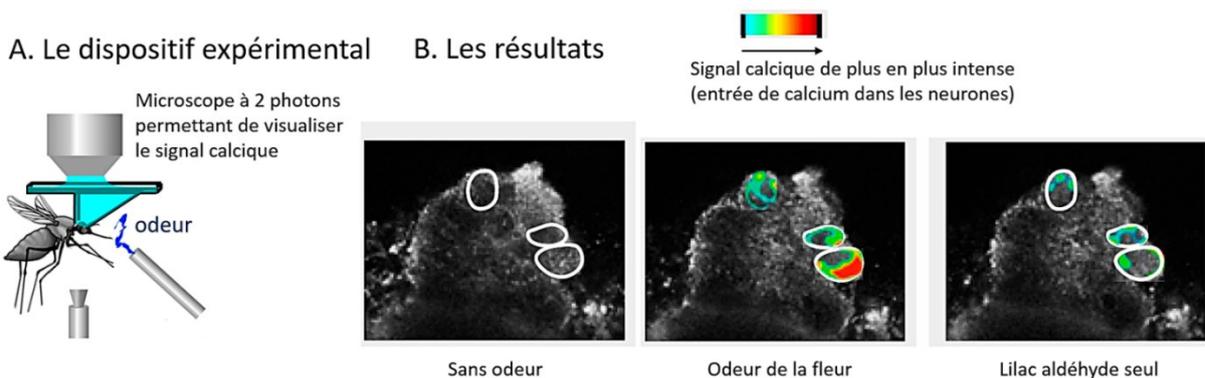
Document 11. Test de la préférence des moustiques pour certaines odeurs d'orchidées. Des étoiles indiquent des différences statistiquement significatives.

Question 11A. Expliquer comment on peut créer un « score de préférence » à l'aide des résultats d'expériences menées dans un tube en Y.

Question 11B. Analyser et interpréter les résultats du document 11B.

Question 11C. Proposer une condition supplémentaire à tester pour compléter les résultats du document 11B.

À l'aide d'un microscope à deux photons, on enregistre la réponse à différentes odeurs des lobes antennaires des moustiques (responsables de la perception olfactive).



Document 12. Test de la réaction des lobes antennaires des moustiques (entourés en blanc) à différentes odeurs.

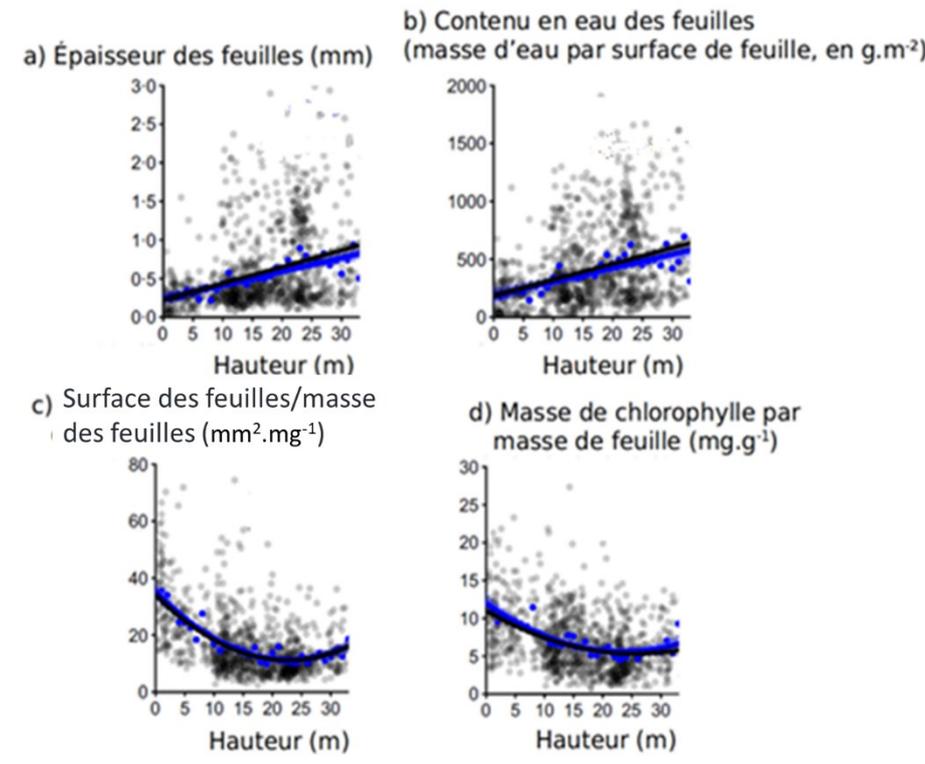
Question 12A. En 5 lignes maximum, présenter un mécanisme moléculaire entre la détection de l'odeur et le message calcique dans le neurone sensitif.

Question 12B. Analyser et interpréter les résultats du document 12B.

Partie 2.2. Les orchidées épiphytes (1 point)

Les organismes épiphytes se développent sur le tronc ou les branches d'autres végétaux, le plus souvent des arbres.

On étudie les variations de plusieurs traits relatifs à l'écophysiologie des épiphytes vasculaires en fonction de la hauteur de la canopée (feuillage) à laquelle ils sont trouvés, dans une forêt tropicale. Les orchidées représentent environ la moitié des 80 espèces étudiées. Le milieu dans lequel vivent les épiphytes est aride, car il y a bien moins d'eau dans les fentes d'un tronc ou d'une branche que dans un sol.



Document 13. Paramètres écophysiologiques de différents taxons d'épiphytes vasculaires en fonction de la hauteur de la canopée (en mètres) à laquelle ils sont trouvés.

Les points bleus représentent la valeur du paramètre pour l'ensemble des individus d'une même espèce et les points gris représentent les valeurs individuelles. Les lignes continues sont les régressions linéaires correspondantes.

Question 13. Analyser et interpréter les résultats des 4 conditions du document 13, avec un maximum de 5 lignes par condition.

Partie 2.3. Les orchidées mycohétérotrophes (3 points)

Chez les orchidées, on trouve fréquemment des mutants albinos d'espèces habituellement vertes. On trouve aussi des espèces entièrement non chlorophylliennes, comme la néottie nid d'oiseau (*Neottia nidus-avis*) : elles parasitent alors des champignons en se fixant sur leur mycélium. Cela permet à l'orchidée d'y prélever de la matière organique, c'est ce qu'on appelle la mycohétérotrophie. En fait, même chez les individus chlorophylliens, la mycohétérotrophie est très répandue chez les orchidées.

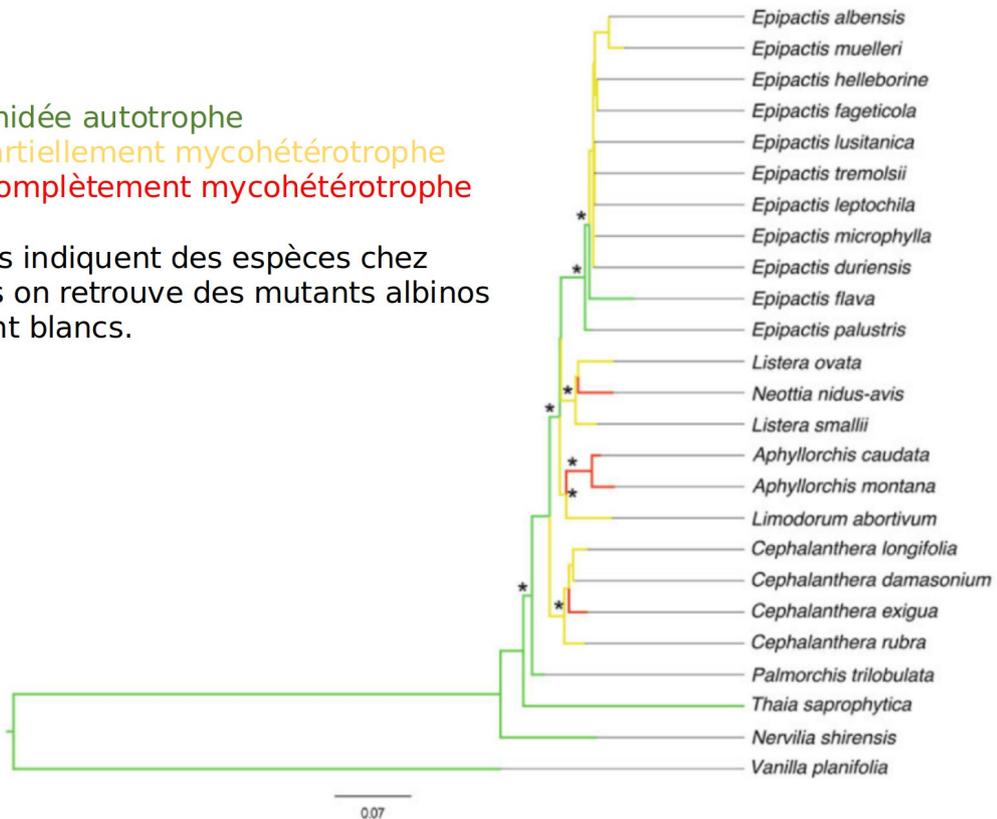
Le document 14 présente une phylogénie d'un groupe d'orchidées, les *Neottiae*. La vanille est choisie comme extragroupe.

Vert : orchidée autotrophe

Jaune : partiellement mycohétérotrophe

Rouge : complètement mycohétérotrophe

Les étoiles indiquent des espèces chez lesquelles on retrouve des mutants albinos totalement blancs.



Document 14. Phylogénie des *Neottia*.

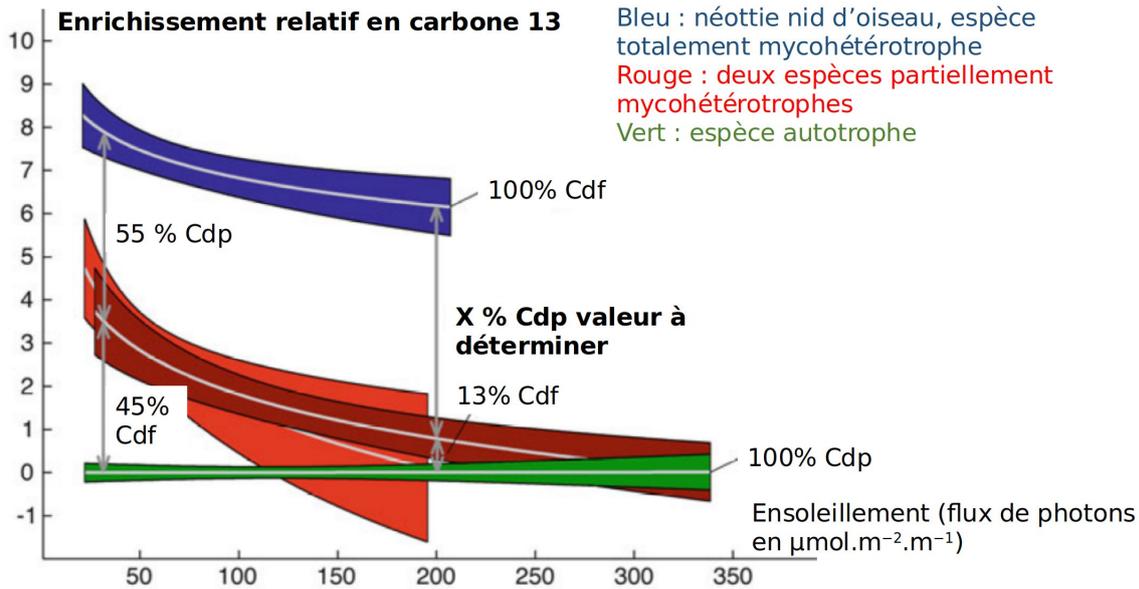
Question 14A. L'arbre présenté est-il raciné ? Justifier votre réponse.

Question 14B. Donner la définition d'une homologie et d'une homoplasie.

Question 14C. D'après le document 14, quelle est l'histoire évolutive du caractère « mycohétérotrophie » ? Justifier votre réponse.

Question 14D. L'article dont est issu ce document indique que l'arbre était le plus parcimonieux. Expliquer la signification de ce terme.

L'étude des teneurs en certains isotopes révèle l'origine de la matière organique de l'orchidée (autotrophie ou hétérotrophie). En effet, la mycohétérotrophie provoque un enrichissement relatif en carbone 13. On étudie ici l'enrichissement en carbone 13 en fonction de l'intensité lumineuse, chez différentes espèces.



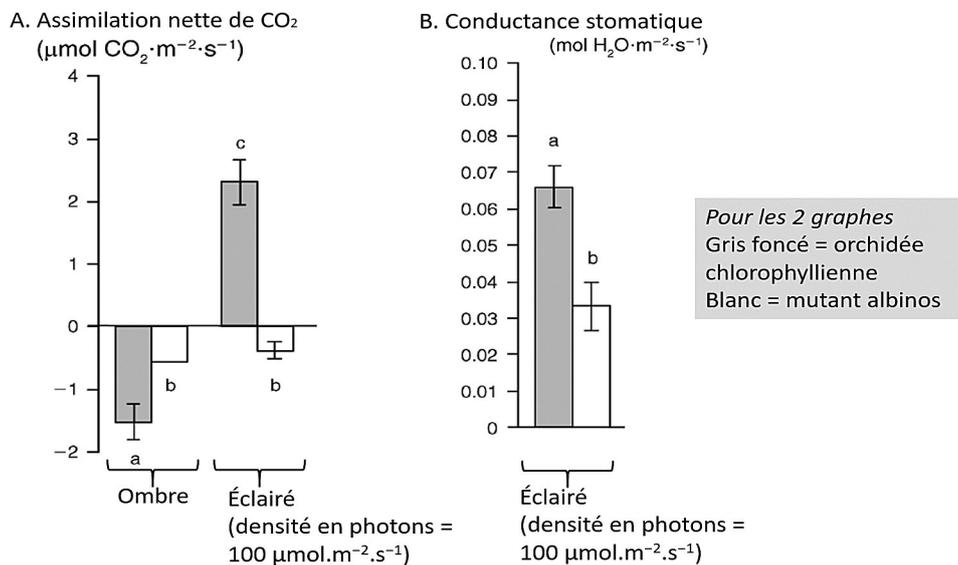
Cdp = carbone dérivé de la photosynthèse, Cdf = carbone dérivé du *fungus* (champignon)

Document 15. Enrichissement en ^{13}C par mycohétérotrophie chez différentes orchidées.

Question 15A. Expliquer comment sont obtenus les pourcentages Cdp et Cdf. Déterminez la valeur de X en expliquant votre raisonnement.

Question 15B. Analyser et interpréter le document 15.

On compare deux paramètres physiologiques chez l'orchidée *Cephalanthera damasonium*, entre un groupe d'individus autotrophes chlorophylliens et un groupe de mutants albinos.



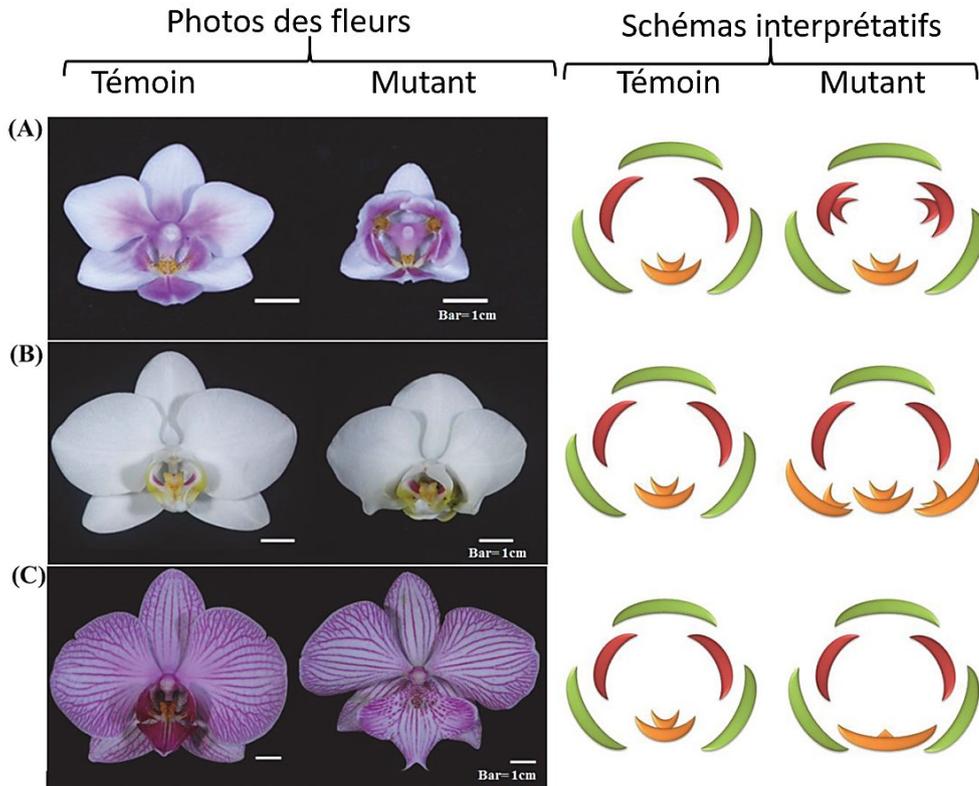
Document 16. Comparaison d'orchidées chlorophylliennes et albinos. Des lettres différentes indiquent des différences significatives.

Question 16A. À quel métabolisme est due une fixation nette de CO_2 négative ? Justifier votre réponse.

Question 16B. Comparer le métabolisme des orchidées chlorophylliennes et albinos et proposer des explications.

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

La floraison des orchidées est dirigée par des gènes qui codent des facteurs de transcription. Parmi eux, on trouve un gène maître du développement, dit « à MADS box », appelé PhAGL6. Dans la fleur sauvage, ce gène est surtout responsable de la mise en place du labelle. Lorsque ce gène est muté, la morphologie de la fleur est complètement modifiée.



Pour tous les schémas

Sépales en vert

Pétales normaux en rouge

Labelle (pétale du bas, souvent très ornementé) en orange

Document 17. Photographies d'orchidées sauvages et mutantes ainsi que leurs schémas interprétatifs.

Question 17A. D'après vos connaissances, présenter un autre type de gène maître du développement et expliquer comment il régle la mise en place du phénotype (5 lignes maximum).

Question 17B. Pour chacun des types de mutants, proposer une modification de l'expression du gène PhAGL6 ayant conduit à la mise en place de ce phénotype.

FIN DU SUJET