BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE

Biochimie, Biologie et Biotechnologies

Mercredi 10 septembre 2025

Durée de l'épreuve : **3 heures**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Dès que ce document vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce document comporte 9 pages numérotées de 1/9 à 9/9.

COMPÉTENCES ÉVALUÉES					
C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**	**C6**
Analyser un document	Effectuer les calculs	Interpréter des données	Argumenter un choix technique	Élaborer une synthèse	Communiquer à l'écrit
3 points	2 points	5 points	4 points	5 points	1 point

L'AQUAPONIE : UNE SOLUTION D'AGRICULTURE DURABLE

Dans le contexte actuel de promotion d'une agriculture durable, l'aquaponie offre des perspectives intéressantes. Il s'agit d'une technique qui permet, dans un circuit fermé, de cultiver des fruits et des légumes tout en élevant des poissons.

Des entreprises exploitent cette technique pour développer des systèmes autosuffisants qui optimisent les rendements de production, diminuent le temps d'entretien du jardin et produisent peu de déchets. Ces systèmes de culture en aquaponie sont économes en ressources grâce à une utilisation circulaire de l'eau et de l'azote. Ils peuvent permettre d'envisager l'autonomie alimentaire pour la production de certains fruits et légumes pour une famille, voire pour une petite entreprise de restauration.

Partie I – Questionnement scientifique et technologique (durée indicative 2 h 30)

Une entreprise souhaite mettre en vente, sous forme d'un kit prêt à l'emploi, un système d'aquaponie à destination du grand public.
Le sujet présente trois démarches de mises au point que doit réaliser cette entreprise pour que le kit soit fonctionnel :

- la standardisation de la mise en place d'un système d'aquaponie ;
- le choix des souches bactériennes à intégrer au système ;
- le contrôle de la qualité de l'eau du système d'aquaponie.

1. PRÉSENTATION DU SYSTÈME D'AQUAPONIE

1.1 Installation du système d'aquaponie

Le **document 1** présente le cycle de l'azote dans le système d'aquaponie ainsi que les interactions entre les principaux acteurs impliqués : plantes, bactéries et poissons.

Q1. (C1) Expliquer pourquoi les acteurs du système d'aquaponie doivent être introduits dans l'ordre suivant : d'abord les bactéries, puis les plantes, puis les poissons.

Q2. (C1) Expliquer pourquoi l'ajout de sulfate d'ammonium n'est nécessaire que dans la phase de mise en route du système d'aquaponie.

Q3. (C3) Donner les arguments qui permettent de qualifier ce système de « symbiotique ».

1.2 Effet de l'ajout de bactéries dans le système d'aquaponie

Le **document 2** présente l'ensemble des réactions chimiques mises en jeu au cours des deux étapes de la nitrification : la nitritation et la nitratation.

Q4. (C3) Établir, à partir des couples redox, les demi-équations électroniques d'oxydo-réduction puis l'équation bilan de l'étape de nitratation.

Q5. (C3) Expliquer le sens d'évolution du pH dans le dispositif suite à l'ajout des souches bactériennes. Argumenter la réponse.

2. CHOIX DES SOUCHES BACTÉRIENNES D'INTÉRÊT

Lors de la mise au point du système d'aquaponie, l'entreprise qui le commercialise a préalablement choisi les souches bactériennes à utiliser. Elle étudie alors l'influence d'un paramètre sur les autres organismes vivants du kit, plantes et poissons adaptés au système de culture en aquaponie.

Le **document 3** présente la capacité de croissance de ces plantes et de ces poissons en fonction du pH.

Q6. (C1) Déterminer les deux intervalles de pH permettant une croissance supérieure à 25 % de l'optimum pour les plantes, d'une part, et pour les poissons, d'autre part.

Q7. (C3) En déduire l'intervalle de pH optimal pour le système d'aquaponie étudié ici.

Différentes souches bactériennes peuvent être intégrées dans le dispositif. Le **document 4** renseigne sur leurs paramètres physico-chimiques de culture.

Q8. (C4) Argumenter le choix de deux souches bactériennes dont l'action combinée permettrait de faire fonctionner le cycle de l'azote dans le système d'aquaponie.

3. CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DE L'EAU DU SYSTÈME D'AQUAPONIE

Un excès de lumière, de phosphates ou d'acidité dans l'eau peut aboutir au développement de cyanobactéries dont certaines produisent une toxine appelée microcystine. Ces contaminations contraignent les clients à l'arrêt de la consommation des aliments issus du système d'aquaponie et à la mise en place d'actions correctrices.
Afin de garantir la sécurité microbiologique du système d'aquaponie, l'entreprise fournit des tests de détection directe de la microcystine, par méthode immunochromatographique.
Le département R&D de l'entreprise propose d'utiliser à la place une technique de PCR amplifiant le gène responsable de la production de microcystine par les cyanobactéries.
La démarche d'étude consiste, d'une part, à optimiser le protocole de PCR et, d'autre part, à valider l'utilisation de cette méthode par rapport à la méthode immunochromatographique.

3.1. Mise au point du protocole de PCR

Le **document 5** présente les séquences d'amorces proposées ainsi que quatre protocoles différents envisagés pour la PCR.

Q9. (C2) Calculer le T_m de chaque amorce antisens proposée.

Q10. (C4) Argumenter le choix de l'amorce antisens à utiliser lors de la réaction de PCR.

Q11. (C2) Déterminer par le calcul le temps théorique d'élongation pour l'amplicon visé.

Q12. (C4) Argumenter le choix du protocole le plus adapté parmi ceux envisagés dans un souci d'efficacité industrielle.

3.2. Comparaison des cinétiques de détection de la toxine par immunochromatographie et de détection de son gène par PCR

Dans le cadre de la mise au point d'une stratégie de détection précoce de la toxine proposée à ses clients, l'entreprise réalise un test sur un système d'aquaponie volontairement contaminé par des cyanobactéries productrices de toxine.

Dans les jours qui suivent cette contamination, des tests sont réalisés à la fois par immunochromatographie, afin de détecter directement la toxine, et par PCR, afin de détecter la présence du gène codant la toxine.

Le **document 6** présente le principe de la détection par immunochromatographie, ainsi que les résultats obtenus par les deux méthodes.

Q13. (C3) Analyser les résultats obtenus pour les produits de PCR déposés dans les puits 1 et 2 du gel, afin de valider la méthode utilisée.

Q14. (C3) Analyser les résultats de détection de la toxine, d'une part, et du gène associé, d'autre part, pour le système d'aquaponie en test.

Q15. (C4) Argumenter alors l'intérêt d'utiliser la technique de PCR en complément de la technique d'immunochromatographie pour la détection de cyanobactéries productrices de toxine.

4. BILAN

Q16. (C5) À l'aide de l'ensemble du sujet, élaborer un organigramme des étapes de mise en place et de suivi du fonctionnement du kit d'aquaponie.

Partie II – Question de synthèse (durée indicative 30 min)

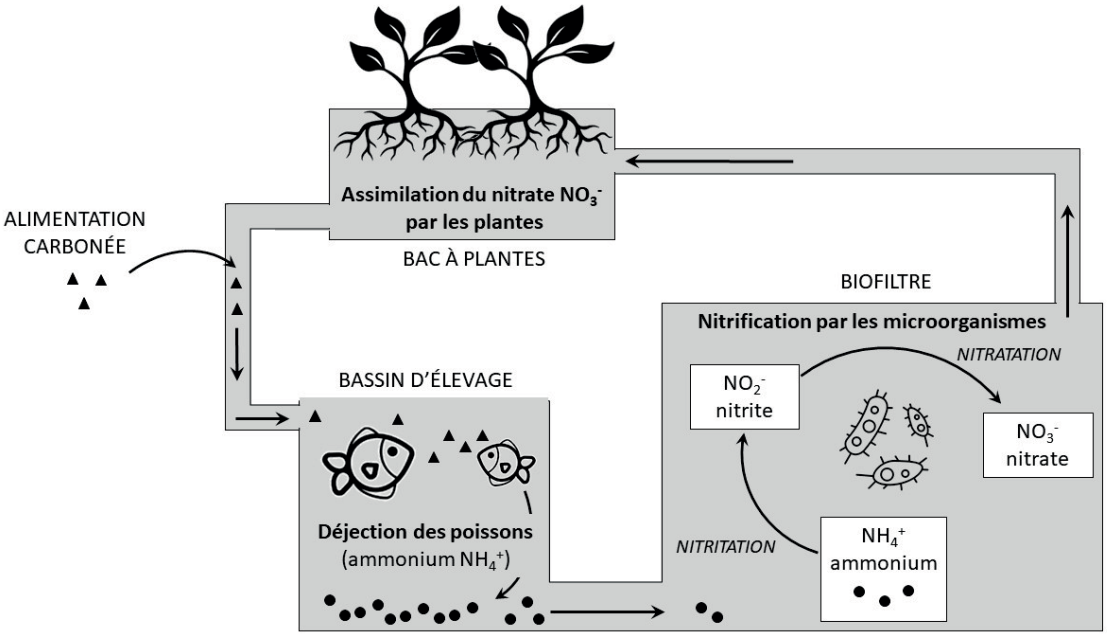
L'agenda 2030 des Nations Unies comporte 17 objectifs de développement durable (ODD). Ils couvrent l'intégralité des enjeux de développement dans tous les pays tels que le climat, la biodiversité, l'énergie, l'eau, la pauvreté, l'égalité des genres, la prospérité économique ou encore la paix, l'agriculture, l'éducation, …
Ces enjeux sont regroupés autour de 5 piliers dont :

- la planète : préserver la diversité des espèces, les ressources naturelles et énergétiques ;
- la population : satisfaire les besoins d'alimentation, de santé, d'égalité et d'éducation ;
- la prospérité : créer des richesses et des emplois, réduire les inégalités, consommer et produire de façon durable.

Atteindre ces objectifs devrait permettre un fonctionnement du monde équitable, vivable et viable, qualifié alors de « durable ».

Q17. (C5) Discuter, à l'aide du **document 7**, l'utilisation des biotechnologies dans l'objectif de développer une agriculture répondant à différents enjeux du développement durable.

DOCUMENT 1 : Cycle de l'azote dans un système d'aquaponie



Données :

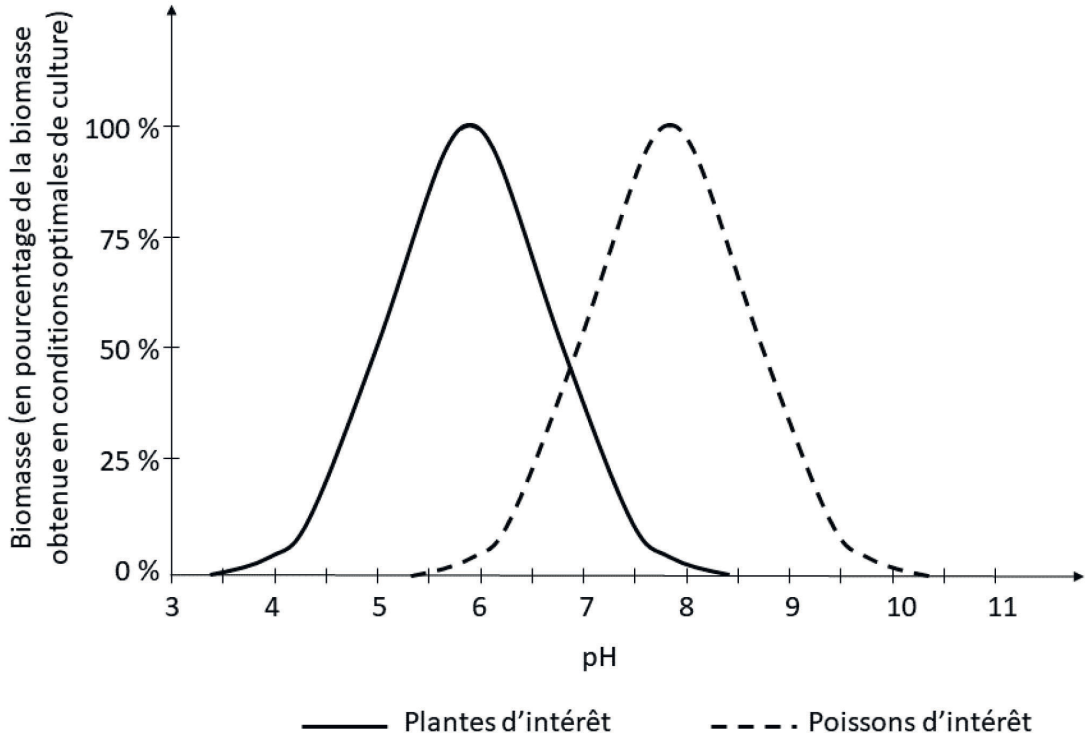
- Lors de la mise en route du système d'aquaponie, la première étape consiste à remplir les trois compartiments avec un mélange d'eau de pluie et d'eau du robinet et à y ajouter du sulfate d'ammonium.
- Une quantité importante de bactéries est nécessaire pour avoir suffisamment de nitrates et faire fonctionner le dispositif.
- Les ions ammonium et les nitrites en concentrations importantes sont toxiques pour les poissons.

DOCUMENT 2 : Réactions chimiques mises en jeu dans le cycle de l'azote

Nitritation : oxydation de l'ammonium en nitrites
Équation bilan : $NH_4^+ + {}^3/_2O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$

Nitratation : oxydation des nitrites en nitrates
Couples redox : NO_3^- / NO_2^-
O_2 / H_2O

DOCUMENT 3 : Évolution de la biomasse de plantes et de poissons dans un système d'aquaponie en fonction du pH



DOCUMENT 4 : Paramètres physico-chimiques de culture de souches bactériennes d'intérêt

Adapté de ATCC.org

Espèce	pH optimum de croissance	Température optimale de croissance	Substrat préférentiel	Produit d'oxydation
Nitrosomonas europaea	7,4 → 8	26 °C	NH_4^+ (ammonium)	NO_2^- (nitrite)
Nitrosomonas supralitora-lis	8,3	30 °C	NH_4^+ (ammonium)	NO_2^- (nitrite)
Nitrosomonas stercoris	6,9	24 °C	NH_4^+ (ammonium)	NO_2^- (nitrite)
Nitrosomonas cryotolerans	7,8	20 à 30 °C	NH_4^+ (ammonium)	NO_2^- (nitrite)
Nitrobacter winogradskyi	7,6	20 °C	NO_2^- (nitrite)	NO_3^- (nitrate)
Nitrobacter agilis	8	26 °C	NO_2^- (nitrite)	NO_3^- (nitrate)
Nitrobacter hamburgensis	7,2	25 °C	NO_2^- (nitrite)	NO_3^- (nitrate)
Nitrobacter sp. Nb-311A	6,6 → 10	20 °C	NO_2^- (nitrite)	NO_3^- (nitrate)

DOCUMENT 5 : Choix d'un protocole de PCR pour l'amplification d'une séquence du gène *mcyB*

Le gène *mcyB* codant la toxine sécrétée par les cyanobactéries contient 8363 paires de bases. Après amplification par PCR avec les amorces utilisées, la taille attendue pour l'amplicon est de 297pb.

Séquence des amorces proposées pour la PCR :

Amorce sens	
5' GAA ATT TGT GTA GAA GGT GC 3'	
Tm amorce sens = 56 °C	
Amorce antisens A	**Amorce antisens B**
5' CAA TGG GAG CAT AAC GAG 3'	5' GCA CAA TGG GAG CAT AAC GAG 3'

Formule de Wallace : (calcul de la température de fusion T_m d'une amorce)

$$T_m = 2 \times (n_A + n_T) + 4 \times (n_G + n_C)$$

avec n_X : nombre de nucléotides X dans la séquence de l'amorce

Conditions optimales pour le choix de couples d'amorces :
- l'écart entre les T_m des deux amorces d'un même couple ne doit pas être supérieur à 2 °C
- la température d'hybridation doit être inférieure au T_m des amorces
- l'écart entre ces deux températures ne doit pas être supérieur à 4 °C

Donnée : La vitesse d'élongation d'une Taq polymérase est estimée à 1000 pb par minute.

Protocoles envisagés :

	Protocole			
Condition	**A**	**B**	**C**	**D**
Nombre de cycles	30	30	30	30
Température d'hybridation	52 °C	52 °C	55 °C	55 °C
Temps d'élongation	60 secondes	30 secondes	60 secondes	30 secondes

DOCUMENT 6 : mise au point d'une procédure de détection précoce de la microcystine

Adapté de Zupanaic et al. Toxins 2021, et de Hamandishe et al., Scientific African, 2021. Et de novakits.com, test microcystines eau potable, [en ligne, consulté le 4 12 2024]

Détection par immunochromatographie sur bandelette :

Le test immunochromatographique permet la détection rapide et directe des microcystines peptidiques dans l'eau. Il se présente sous forme de bandelettes à tremper dans l'eau à tester après ajout de réactifs. Il comporte une bande contrôle permettant de vérifier la validité du test : le test est exploitable uniquement si la bande contrôle est colorée. La bande test révèle la présence de la toxine dans l'eau analysée (seuil de détection : 1 $\mu g \cdot L^{-1}$)



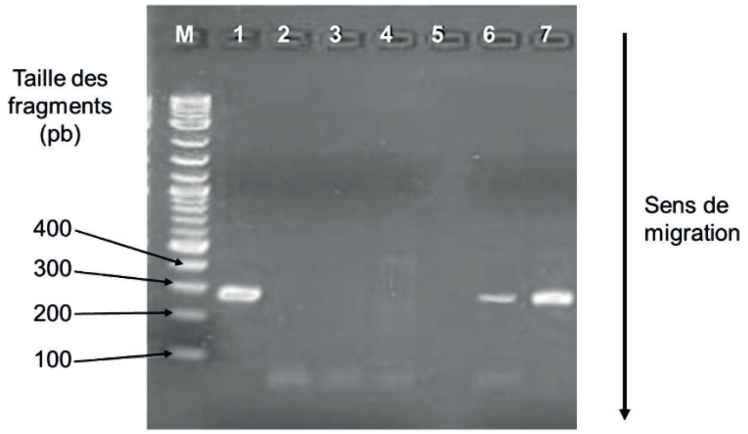
Le test est pratiqué sur des échantillons d'eau du système d'aquaponie, après contamination volontaire par des cyanobactéries productrices de toxine.

Jour après contamination	Avant contamination	J+0	J+7	J+14	J+21
Bande contrôle	+	+	+	+	+
Bande test	-	-	-	-	+

\+ : coloration visible
\- : coloration non visible

Détection par PCR :

Photographie, sous éclairage UV, du gel après migration des produits de PCR issus des échantillons



Plan des dépôts :
M : marqueur de taille
1 : produits d'amplification à partir de l'ADN extrait de cyanobactéries productrices de toxine
2 : produits d'amplification à partir de l'ADN extrait de cyanobactéries non productrices de toxine
3 : échantillon d'eau du système d'aquaponie avant contamination
4 à 7 : produits d'amplification effectués à partir d'échantillons d'eau du système d'aquaponie après contamination volontaire par des cyanobactéries productrices de toxine :

- 4 : échantillon d'eau prélevé à J+0
- 5 : échantillon d'eau prélevé à J+7
- 6 : échantillon d'eau prélevé à J+14
- 7 : échantillon d'eau prélevé à J+21

DOCUMENT 7 : Biotechnologies et agriculture durable

Biotechnologies et avenir de l'agriculture

Adapté de www.fao.org, horizon 2015-2030, le rôle de la technologie (en ligne, consulté le 8/11/2024)

Depuis des milliers d'années, les êtres humains travaillent à l'amélioration des cultures qu'ils produisent et des animaux qu'ils élèvent. Toutefois, la sélection et l'amélioration traditionnelles des espèces d'intérêt agricole demandent beaucoup de temps et rencontrent des contraintes techniques. Les biotechnologies modernes ont le potentiel d'accélérer le développement et l'exploitation de cultures et d'animaux.

Les biotechnologies permettent aujourd'hui d'atteindre des revenus plus élevés pour les producteurs et des prix plus bas pour les consommateurs. Elles contribuent également à produire des aliments de valeur nutritive plus élevée (par exemple, à plus forte teneur en protéines, en vitamines et en micronutriments). Par ailleurs, elles permettent de réduire l'utilisation de substances nocives pour l'environnement, en particulier d'insecticides, grâce à la mise au point de variétés de plantes résistantes aux insectes. En outre, elles sont à l'origine de l'élaboration de nouvelles variétés végétales résistantes à la sécheresse, à l'engorgement des sols par l'eau ou à des températures extrêmes. Ainsi, les biotechnologies contribuent à une plus grande sécurité alimentaire en stabilisant les rendements agricoles d'une année sur l'autre.

Toutefois, l'utilisation des biotechnologies soulève des inquiétudes. Les biotechnologies agricoles sont davantage adaptées aux besoins des grandes exploitations des pays développés ; les petits exploitants dénués de ressources dans les pays en développement risquent de ne pas en tirer avantage. Certaines de ces technologies obligent à acheter de nouvelles semences à chaque saison, ce qui freine leur utilisation par les agriculteurs. La fabrication de nouvelles variétés de plantes par génie génétique, en favorisant l'apparition d'allergies, peut présenter des risques pour la santé des consommateurs. L'introduction de ces variétés de plantes génétiquement modifiées dans les écosystèmes peut conduire à des déséquilibres entre espèces.

Bio Tech : une entreprise de biotechnologies au service de l'agriculture durable

Adapté de : magazine de l'organisation mondiale de la propriété intellectuelle, « Les solutions durables de lutte biologique de BioTech… » (en ligne, consulté le 8/11/2024)

Fondée en 2007 au Costa Rica, l'entreprise BioTech se consacre à la lutte contre les maladies des végétaux et à la garantie d'une production alimentaire durable. « Au lieu d'éradiquer les microorganismes nuisibles du sol, explique Lizzy Retana Villalobos, cofondatrice de l'entreprise, nous nous nous efforçons de donner aux végétaux la capacité de combattre ces agents pathogènes, ce qui permet de préserver la santé du sol ».

« Nous développons des produits à partir de microorganismes, car les végétaux métabolisent mieux les nutriments avec l'aide de champignons ou de bactéries qu'avec les seuls engrais chimiques. Les produits de BioTech peuvent contribuer à réduire la charge chimique dans le sol. (…) Nous nous employons actuellement à trouver des solutions qui pourraient permettre de réduire l'utilisation d'engrais jusqu'à 50 %. »

Il a été très difficile de sensibiliser le secteur agricole aux avantages de l'intégration de nouvelles technologies dans la lutte intégrée contre les organismes nuisibles, car il fallait pour cela que les agriculteurs changent d'état d'esprit. « Auparavant, les gens utilisaient des pesticides chimiques sans hésitation, tuant les insectes et les micro-organismes sur le coup, ce qui peut entraîner une stérilisation des sols, explique Retana Villalobos. Changer cet état d'esprit pour que les agriculteurs adoptent des pratiques plus durables et plus respectueuses de l'environnement prend du temps et reste l'un de nos plus grands défis », ajoute-t-elle.