



**MINISTÈRES
ÉDUCATION
JEUNESSE
SPORTS
ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
RECHERCHE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction générale des ressources humaines

RAPPORT DU JURY

SESSION 2025

Concours : Agrégation interne et CAER-PA

Section : Biochimie - génie biologique

Rapport de jury présenté par : Jean-Marc RICORT, Professeur des Universités, Président du jury

SOMMAIRE

Renseignements statistiques.....	Page 3
Avant-propos du Président.....	Page 5
Epreuves d'admissibilité	Page 8
Première épreuve.....	Page 8
Seconde épreuve	Page 16
Epreuves d'admission.....	Page 23
Première épreuve.....	Page 23
Seconde épreuve	Page 29
Conclusion générale.....	Page 53

RENSEIGNEMENTS STATISTIQUES

Agrégation interne

Nombre de postes	8
Candidats inscrits	109
Candidats présents aux deux épreuves d'admissibilité	69
Candidats admissibles	20
Candidats présents aux épreuves d'admission	20
Candidats proposés pour l'admission	8
<u>Epreuves d'admissibilité</u>	
Moyenne des candidats présents	8,62
Moyenne des candidats admissibles	12,18
Moyenne du dernier candidat admissible	10,69
<u>1^{ère} épreuve</u>	
Moyenne des candidats présents	8,22
Moyenne des candidats admissibles	10,15
Note maximale	16,80
<u>2^{nde} épreuve</u>	
Moyenne des candidats présents	9,03
Moyenne des candidats admissibles	14,22
Note maximale	18,26
<u>Epreuves d'admission</u>	
Moyenne des candidats présents	9,05
Moyenne des candidats admis	10,72
Moyenne la plus élevée	11,63
Moyenne du dernier candidat admis	10,36
<u>1^{ère} épreuve</u>	
Moyenne des candidats présents	10,33
Moyenne des candidats admis	12,31
Note maximale	15,00
<u>2^{nde} épreuve</u>	
Moyenne des candidats présents	7,77
Moyenne des candidats admis	9,13
Note maximale	12,28
<u>Ensemble du concours</u>	
Moyenne des candidats présents	10,61
Moyenne la plus élevée	13,52
Moyenne des candidats admis	11,89
Moyenne du dernier candidat admis	11,20

RENSEIGNEMENTS STATISTIQUES

Concours d'accès à l'échelle de rémunération des professeurs agrégés (CAERPA)

Nombre de postes	1
Candidats inscrits	16
Candidats présents aux deux épreuves d'admissibilité	9
Candidats admissibles	2
Candidats présents aux épreuves d'admission	2
Candidats proposés pour l'admission	0
<u>Epreuves d'admissibilité</u>	
Moyenne des candidats présents	6,38
Moyenne des candidats admissibles	9,68
Moyenne du dernier candidat admissible	9,33
<u>1^{ère} épreuve</u>	
Moyenne des candidats présents	7,52
Moyenne des candidats admissibles	11,65
Note maximale	13,95
<u>2^{nde} épreuve</u>	
Moyenne des candidats présents	5,25
Moyenne des candidats admissibles	7,71
Note maximale	9,33
<u>Epreuves d'admission</u>	
Moyenne des candidats présents	7,26
Moyenne des candidats admis	xx
<u>1^{ère} épreuve</u>	
Moyenne des candidats présents	7,50
Moyenne des candidats admis	xx
Note maximale	9,00
<u>2^{nde} épreuve</u>	
Moyenne des candidats présents	7,03
Moyenne des candidats admis	xx
Note maximale	7,47
<u>Ensemble du concours</u>	
Moyenne des candidats présents	8,47
Moyenne la plus élevée	8,56
Moyenne des candidats admis	xx
Moyenne du dernier candidat admis	xx

Avant-propos

En introduction de ce rapport, le jury souhaite adresser ses plus sincères félicitations aux huit lauréats de la session 2025 qui ont su faire la démonstration de leur investissement dans la préparation des différentes épreuves de ce concours. Le jury félicite également l'ensemble des candidats admissibles non retenus et les encourage vivement, ainsi que l'ensemble des candidats qui se sont présentés à ce concours, à renouveler leur candidature lors de la prochaine session. Le jury invite également fortement tous les candidats qui ambitionneraient de se présenter à ne pas faire preuve d'autocensure et à s'inscrire à ce concours afin de passer les épreuves.

Les concours de l'agrégation interne et du CAERPA interne de biochimie génie biologique ont pour vocation de permettre à des enseignants de biochimie génie biologique en activité d'accéder au grade de professeur agrégé. Lors de cette session 2025, 125 candidats se sont inscrits et 77 d'entre eux se sont présentés aux deux épreuves d'admissibilité, soit un taux de présence de 62 %, stable par rapport aux deux sessions précédentes (64 et 65 % lors des sessions de 2023 et 2024). Si le jury se félicite de ce constat, il encourage très fortement les candidats des prochaines sessions à maintenir, voire améliorer, cette dynamique de s'inscrire et passer les deux épreuves d'admissibilité. En effet, la confrontation aux épreuves écrites du concours représente un excellent exercice d'enrichissement et d'approfondissement des connaissances et compétences dans les multiples champs disciplinaires qui caractérisent notre spécialité. Cette invitation forte à passer ce concours concerne, bien évidemment, chaque enseignant(e), quel que soit le secteur de spécialité de la discipline « biotechnologies option biochimie génie biologique » dans lequel il (ou elle) dispense son enseignement.

Les concours de l'agrégation interne et du CAERPA interne de biochimie génie biologique sont des concours exigeants qui nécessitent de la part des candidats un travail de préparation approfondi, aussi bien dans l'acquisition des contenus scientifiques attendus, que dans la prise en compte des attentes du jury pour chacune des épreuves. Ces concours couvrent des champs disciplinaires à la fois vastes et variés tels que la biochimie, la microbiologie, l'immunologie, la biologie cellulaire, l'hématologie, la biologie moléculaire et la physiologie humaine. Cette diversité de domaines, dans lesquels une expertise est demandée pour espérer une chance de réussite, impose aux candidats une préparation en amont rigoureuse. Cette dernière doit permettre aux candidats de développer, affirmer et consolider leurs multiples compétences professionnelles ainsi que d'approfondir et enrichir leurs connaissances scientifiques et technologiques telles qu'exigées de la part d'un professeur agrégé de biochimie génie biologique. Ce rapport de jury a pour vocation d'aider à cette préparation en précisant, notamment, les objectifs des différentes épreuves.

Le jury rappelle que les définitions des épreuves d'admissibilité et d'admission de l'agrégation interne et du CAERPA interne de biochimie génie biologique sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/les-epreuves-de-l-agregation-interne-et-du-caerpa-section-biochimie-genie-biologique-958>, et que les programmes des épreuves de la session 2026 sont disponibles à celle-ci : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/les-programmes-des-concours-d-enseignants-du-second-degre-de-la-session-2026-1496>.

Epreuves d'admissibilité

Les épreuves d'admissibilité conjuguent l'évaluation de connaissances scientifiques et technologiques à celle des qualités pédagogiques requises pour un enseignant aguerri. Le candidat doit faire la démonstration de sa capacité à construire un développement structuré, rigoureux, concis et scientifiquement actualisé, tout en faisant preuve de qualités didactiques et pédagogiques.

La première épreuve s'articule autour d'un ou plusieurs thèmes abordés dans leurs dimensions scientifiques, technologiques (ST) et pédagogiques (P). Afin de permettre au candidat l'identification du registre évalué par le jury et lever ainsi toute ambiguïté sur les attendus de chaque question, celles-ci sont respectivement identifiées par les lettres « ST » et « P ». Au cours de cette épreuve, le candidat doit faire la démonstration de ses capacités d'analyse et de réflexion, ainsi que de son aptitude à construire des enseignements de qualité et originaux répondant à une problématique donnée.

La seconde épreuve évalue les connaissances et compétences scientifiques du candidat. Ce dernier doit effectuer des choix en lien avec la question posée mobilisant ainsi son esprit de synthèse et ses connaissances. L'exercice est, de ce fait, très exigeant et impose une préparation sérieuse de la part du candidat qui doit faire la démonstration du niveau et de l'actualisation de ses connaissances, ainsi que de sa capacité à les organiser de manière didactique. Il nécessite de cerner avec précision et justesse l'énoncé proposé et de construire un devoir faisant appel, non seulement à des connaissances et compétences dans le domaine proposé, mais également à des connaissances et compétences transversales. Les candidats faisant preuve d'une maîtrise et d'une vision intégrée de nos champs disciplinaires sont valorisés.

Une présentation plus détaillée des attendus des épreuves d'admissibilité de la session 2025 est précisée plus loin dans ce rapport.

Épreuves d'admission

La première épreuve d'admission s'inscrit dans une démarche de projet qui vise à construire une application pédagogique élaborée à partir d'une étude scientifique et technologique.

L'étude scientifique et technologique reproduit la situation d'un enseignant qui construit un enseignement contextualisé et actualisé en prenant appui sur divers procédés de biotechnologies (production de biens, recherche, R&D, analyse, contrôle qualité, ...) tout en tenant compte de l'évolution des activités dans les laboratoires. L'étude doit faire la démonstration que le candidat est devenu « expert » dans le domaine qu'il a lui-même librement choisi. Afin de garantir une adéquation de l'étude avec le contexte professionnel actuel des différents secteurs d'application des biotechnologies, le candidat peut avantageusement effectuer un stage en entreprise ou en laboratoire. Bien que ce stage ne soit pas obligatoire, le jury constate que les dossiers construits à partir de telles expériences professionnelles et de rencontres fort enrichissantes pour les candidats, portent une dimension factuelle, réaliste et actualisée, donc facilement valorisable.

Le candidat doit porter une attention toute particulière sur le fait que cette démarche de projet doit, en tout premier lieu, prendre en compte les besoins de formation des élèves en lien avec la réalité du contexte du monde professionnel utilisant les biotechnologies. Ainsi, le candidat doit veiller à ne pas se tromper en construisant une étude portant sur un procédé technologique, certes novateur, attractif ou moderne, mais déconnecté de la réalité des domaines professionnels dans lesquels s'insèrent nos élèves et nos étudiants.

Le candidat doit formuler une problématique dans laquelle les deux parties du rapport sont placées en cohérence. Ainsi, une problématique visant uniquement le développement de compétences psychosociales (CPS) dans la partie pédagogique ne permet pas au candidat de valoriser ses compétences biotechnologiques, les CPS ne pouvant constituer une fin en soi dans les intentions pédagogiques.

Le dossier présenté, d'environ 60 pages, peut légitimement être structuré en deux parties :

- une étude scientifique et technologique que le candidat doit replacer dans son contexte, notamment en lien avec l'objectif pédagogique visé à l'origine du projet. Le candidat s'emploie à approfondir ses savoirs scientifiques, technologiques et techniques en s'appuyant sur les activités réalisées au sein d'un laboratoire ou d'une entreprise de biotechnologie. Cette partie ne doit, en aucun cas, se présenter sous la forme d'un catalogue mais nécessite la réalisation de choix pertinents afin de faire la démonstration de son expertise pointue, à la fois théorique et technologique. Le candidat peut également, si cela lui paraît pertinent et nécessaire, enrichir et compléter son étude par des données économiques et/ou des problématiques sociétales ou éthiques associées à des procédés biotechnologiques.

- une application pédagogique adaptée à un niveau de classe donné, correspondant à un référentiel pré-baccalauréat ou professionnel de STS, ou un programme de biotechnologies en CPGE voire en BUT génie biologique, et développant une progression choisie et justifiée. La transposition des activités technologiques et techniques doit prendre en compte les contraintes propres à un environnement de formation (matériels disponibles, horaires, groupe classe, coût, prévention des risques, ...). Elle présente les modalités de mise en œuvre (opérationnalisation) en lien avec les objectifs de formations ambitionnés, les activités effectuées par les élèves ou étudiants, les documents supports de ces activités, les modalités d'évaluation ainsi que les productions des élèves ou étudiants. A travers ces ressources, le candidat explicite la réflexion menée pour construire les séances et les documents proposés aux apprenants et pour définir sa place dans l'animation de la séance. Des modalités d'enseignements interdisciplinaires peuvent être évoquées, à condition qu'elles apportent une réelle plus-value. Les intentions pédagogiques formulées ciblent particulièrement les besoins de formation des élèves ou étudiants en lien avec la réalité du contexte du monde professionnel utilisant les biotechnologies.

La seconde épreuve d'admission place les candidats dans la réalisation pratique d'activités technologiques. Elle ne se limite pas à la seule mise en œuvre de protocoles opératoires mais positionne également le candidat dans une dimension métier au travers de mises en situation. Cette épreuve est très exigeante pour plusieurs raisons. Tout d'abord, par sa durée de 8 heures qui impose aux candidats une très bonne gestion du temps en termes d'endurance et de maintien de la concentration tout au long de l'épreuve. D'autre part, par le fait qu'elle couvre des domaines imposés et divers des biotechnologies, requérant du candidat de mettre en œuvre des activités technologiques relevant de différents champs de nos spécialités. Les manipulations proposées permettent d'évaluer des compétences technologiques et techniques de base telles que celles enseignées à nos élèves et étudiants mais, de par leur diversité, obligent à une polyvalence, une adaptabilité et une aptitude à intégrer rapidement des protocoles opératoires parfois totalement nouveaux pour certains candidats. Il est donc fortement conseillé aux futurs candidats de s'appropriier, ou se réapproprier, certains gestes techniques en amont de l'épreuve en se plaçant, par exemple, en situation d'« élève/étudiant ». En effet, le jury rappelle que l'acquisition pérenne d'une gestuelle technique précise et adéquate ne peut se faire sans sa mise en œuvre concrète et itérative. De même, il est conseillé aux candidats de s'informer sur les méthodologies et techniques récentes afin de pouvoir s'adapter rapidement dans le contexte très particulier d'une épreuve de concours. Afin de prendre un repas, s'hydrater et se ressourcer, chaque candidat dispose d'une heure de pause à prendre de façon bi-fractionnée. L'ensemble de l'épreuve dure donc 9 heures dont 8 heures d'activités technologiques. Il est très fortement recommandé aux candidats de ne pas faire le mauvais choix d'une activité à « marche forcée », durant plusieurs heures consécutives, sans aucune respiration intellectuelle. En effet, un phénomène d'épuisement intellectuel s'installant souvent brutalement affecte alors profondément la lucidité indispensable pour mener à bien l'ensemble de l'épreuve.

Pour conclure, le jury espère sincèrement que ce rapport sera utile aux futurs candidats à l'agrégation interne et au CAERPA interne de biochimie génie biologique et qu'il sera un moteur de motivation pour s'inscrire et passer les épreuves de la prochaine session.

Jean-Marc RICORT
Président du jury

EPREUVES D'ADMISSIBILITE

Les sujets des épreuves d'admissibilité sont en ligne sur le site du Ministère : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/sujets-et-rapports-des-jurys-agregation-2025-1435>

Première épreuve

Durée : 6 heures
Coefficient : 1

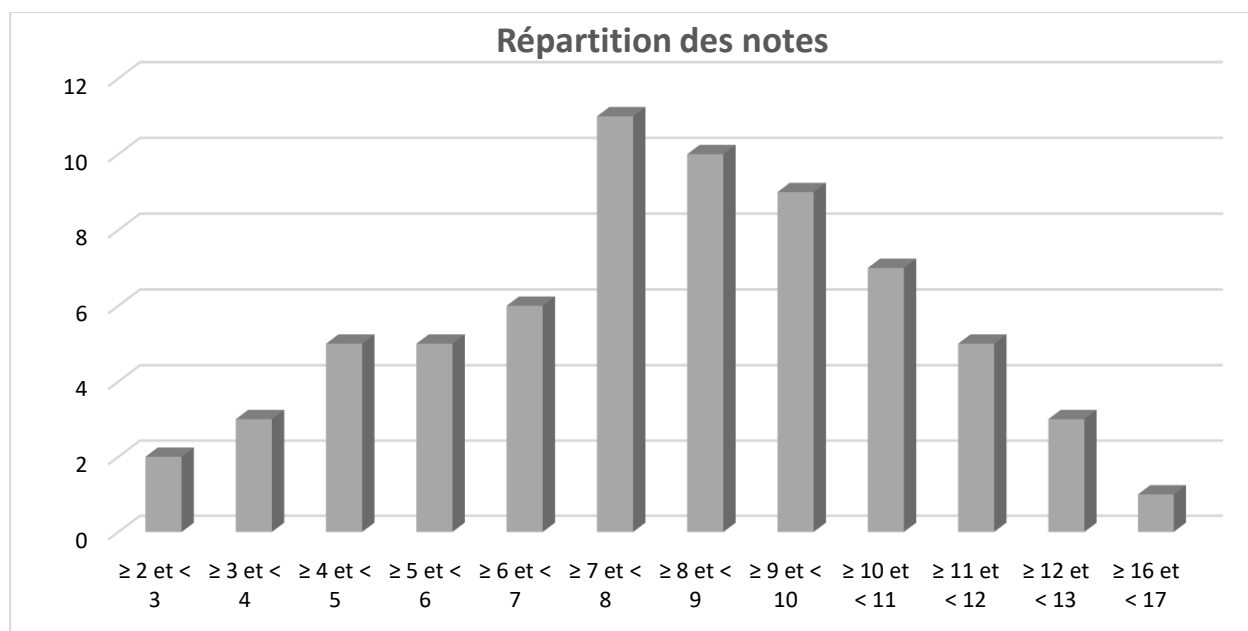
Résultats de l'épreuve

Agrégation
interne

69 candidats ont composé.

Note / 20	Nombre de candidats	Note / 20	Nombre de candidats
≥ 2 et < 3	2	≥ 9 et < 10	9
≥ 3 et < 4	3	≥ 10 et < 11	7
≥ 4 et < 5	5	≥ 11 et < 12	5
≥ 5 et < 6	5	≥ 12 et < 13	3
≥ 6 et < 7	6	≥ 13 et < 14	2
≥ 7 et < 8	11	≥ 16 et < 17	1
≥ 8 et < 9	10		

La moyenne générale de l'épreuve est de 8,22. La meilleure note est de 16,80/20.

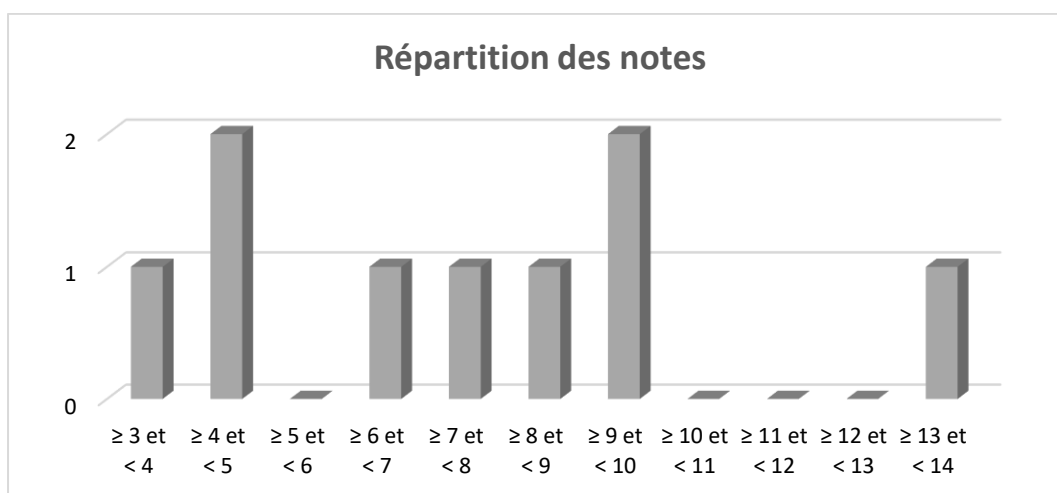


CAERPA
interne

9 candidats ont composé.

Note / 20	Nombre de candidats	Note / 20	Nombre de candidats
≥ 3 et < 4	1	≥ 8 et < 9	1
≥ 4 et < 5	2	≥ 9 et < 10	2
≥ 6 et < 7	1	≥ 13 et < 14	1
≥ 7 et < 8	1		

La moyenne générale de l'épreuve est de 7,52. La meilleure note est de 13,95/20.



Rapport du jury

Structure et objectifs de l'épreuve

L'épreuve prend appui sur des documents relatifs à une ou des problématique(s) biotechnologique(s) et comporte deux types de questions qui permettent d'évaluer :

- d'une part, les capacités du candidat à utiliser ses connaissances scientifiques et technologiques pour, soit expliciter ou valider des solutions retenues, soit expliquer ou analyser des résultats expérimentaux obtenus (ces questions sont identifiées par les lettres **ST**) ;
- d'autre part, les capacités du candidat à utiliser le(s) support(s) proposé(s) pour élaborer, à un niveau de formation déterminé, soit un exercice permettant l'évaluation des connaissances et compétences acquises par les élèves/étudiants, soit une séance ou une séquence d'enseignement (ces questions sont identifiées par la lettre **P**). Pour cela, le candidat doit veiller à situer correctement l'exercice dans un processus d'apprentissage et, si besoin, par rapport aux autres enseignements scientifiques ou technologiques associés.

Le sujet de la session 2025 était organisé en deux parties indépendantes. Il comportait 16 questions mobilisant des connaissances scientifiques et technologiques (questions **ST**) et 3 questions mobilisant des compétences pédagogiques (questions **P**).

Commentaire général

Comme indiqué dans la définition de l'épreuve, le sujet évalue la capacité du candidat à conduire l'analyse de plusieurs documents par l'intermédiaire de questions scientifiques et technologiques (indiquées par les lettres **ST**). Il est attendu du candidat qu'il conduise une présentation des résultats de manière rigoureuse, en construisant un exposé factuel et ciblé, fondé sur les résultats obtenus et utiles à la formulation d'une réponse à la question posée. Au cours de cet exposé, le candidat doit considérer de manière très attentive les contrôles réalisés (témoins réactif, témoin échantillon, témoin de charge, ...), la significativité d'écart entre les résultats, les grandeurs analysées et ne faire mention d'aucun élément de remise en cause des résultats obtenus. Ceci doit permettre la construction d'un raisonnement clair, rigoureux, judicieusement illustré, qui aboutisse à la formulation d'une conclusion ou d'une hypothèse pertinente en lien avec la question posée.

Le jury regrette que l'analyse de résultats expérimentaux demeure un exercice non maîtrisé par la plupart des candidats. Beaucoup d'entre eux ne hiérarchisent pas les informations proposées, se dispersent dans des descriptions inutiles ou s'engagent dans de longs développements oubliant l'importance de faire la démonstration, à travers la réponse apportée, de leur compréhension de la question posée ainsi que de leur esprit de synthèse et de concision.

Le jury rappelle son niveau d'exigence élevé quant à la rigueur du vocabulaire employé qui s'avère un élément indispensable dans la mesure où des mots pertinents et correctement choisis permettent, bien souvent, d'éviter de longs développements évasifs et d'apprécier plus justement les compétences du candidat. Le jury a valorisé les candidats qui ont pris le temps de bien structurer la rédaction d'une réponse en plusieurs parties, séparées par idée ou concepts mobilisés, ou qui ont proposé des tableaux synthétiques pertinents afin de regrouper des données, les rendant ainsi plus lisibles et exploitables. Si une analyse synthétique est attendue, il n'est pas acceptable de donner des formules de calculs, des illustrations ou des tableaux de résultats sans aucune explication, annotation ou commentaire, le jury ne pouvant interpréter à la place du candidat. De plus, la construction de tableaux dans lesquels sont rédigées de longues phrases est totalement contre-productive et orthogonale à l'objectif de synthèse visé.

Le jury rappelle que l'utilisation de codes couleur est aussi un moyen pour faciliter le repérage des données clés utilisées à la base des raisonnements. De façon plus large, le jury conseille aux futurs candidats de faire preuve, comme au quotidien avec leurs élèves/étudiants, d'initiatives dans leurs outils de présentation afin de faciliter la compréhension de leurs réponses.

Quel que soit le type de question traité (**ST** ou **P**), l'esprit de synthèse demeure une compétence clé qui démontre la capacité d'un enseignant à aller à l'essentiel afin de transmettre un savoir ou un savoir-faire. Ainsi, dans un souci d'optimisation du temps et afin de pouvoir répondre à l'ensemble du sujet, le jury invite les candidats à entrer directement dans la rédaction des réponses aux questions sans nul besoin de paraphraser inutilement l'intégralité du contexte ou de se perdre en de longues introductions.

Le jury rappelle que les questions pédagogiques (notées **P**) représentent environ 30 % de la note finale et ont donc, de nouveau, souvent fait la différence quant aux notes obtenues par les candidats. Du fait de leur importance quantitative dans le barème de l'épreuve, et afin de pouvoir avoir une réelle réflexion pédagogique, les candidats doivent donc leur consacrer un temps non négligeable. Le jury se félicite de constater que la plupart des candidats ont souvent traité au moins deux de ces questions. Néanmoins, il regrette que les réponses soient souvent réalisées de manière bien trop succincte, sans justification des choix et de la démarche ou se contentent de paraphraser des éléments des référentiels ou documents proposés. Le jury a valorisé les réponses bien construites et hiérarchisées (même si celles-ci pouvaient, parfois, être très synthétiques) et dans lesquelles les choix de l'enseignant dans la mise en activité des élèves/étudiants sont clairement explicités. Le jury encourage les candidats, au cours de leur préparation au concours, à s'interroger sur leurs pratiques afin de mieux appréhender ces questions.

Le jury rappelle que les digressions superflues pénalisent les candidats dans la mesure où la gestion du temps représente un paramètre crucial dans la bonne réussite de l'épreuve. De plus, elles sont souvent la démonstration d'une mauvaise compréhension des questions ou bien d'un manque de connaissances dans un domaine donné. Ainsi, chaque candidat doit être en mesure d'estimer le temps de réponse nécessaire à chaque question afin de pouvoir traiter le sujet dans son intégralité.

Le jury tient à souligner qu'il a globalement apprécié la qualité et le soin avec lesquels la plupart des candidats ont rédigé leur copie. Le jury rappelle que la qualité de la rédaction, ainsi que celle des illustrations (schémas, tableaux), est prise en compte dans l'évaluation de la copie. Il regrette toutefois de constater de nouveau, et de manière assez généralisée, une utilisation très approximative de l'orthographe et invite tous les candidats à remédier, en amont des épreuves, à toute difficulté dans ce domaine, indispensable à la transmission correcte des savoir et savoir-faire auprès des élèves/étudiants.

Partie 1 : Dispositif de cicatrisation de plaies à l'aide de la peau de poissons

ST1

Cette question a été traitée par la majorité des candidats mais peu d'entre eux ont correctement réussi l'exercice de construction d'une argumentation rigoureuse. En effet, la rédaction d'un paragraphe argumenté nécessitait que les candidats fassent preuve d'esprit de synthèse et sachent extraire les éléments pertinents des documents proposés. L'exercice d'argumentation sur la rigueur de l'utilisation des termes « greffe » et « substitut » nécessitait que ces derniers soient, au préalable, correctement définis par les candidats.

Une greffe pouvait être définie comme une procédure consistant à transférer un tissu ou un organe d'un individu (donneur) à un autre (receveur), ou d'un site à un autre chez le même individu (autogreffe), dans le but de restaurer une fonction biologique. Elle peut être classée en fonction de la compatibilité génétique entre donneur et receveur. A partir de cette définition, la peau de poisson pouvait être considérée comme une greffe dans la mesure où le dispositif de cicatrisation met en jeu un transfert entre un donneur et un receveur et permet une suppléance partielle de fonction (notion de barrière). Toutefois, l'usage du terme « greffe » pouvait être considéré comme abusif et non rigoureux dans la mesure où, d'une part, la peau de poisson est positionnée sur la plaie, pour créer un milieu favorable à la reconstitution de la peau en apportant des facteurs anti-inflammatoires et des facteurs limitant l'infection et, d'autre part, la peau de poisson ne remplace pas la peau du patient à long terme puisqu'elle finit par être éliminée.

Concernant la rigueur de l'utilisation du terme « substitut », il était attendu que le candidat définisse qu'une peau de poisson était un substitut de peau si elle remplaçait la peau au niveau de la zone lésée. Ainsi, il pouvait être admis de considérer la peau de poisson comme un substitut dans la mesure où elle joue un rôle de barrière physique contre l'entrée d'éléments étrangers. Néanmoins, il ne s'agit que d'un substitut partiel dans la mesure où il faut la recouvrir d'un pansement. Ainsi, la peau de poisson semble davantage jouer le rôle de milieu de culture, facilitant la reproduction du tissu cutané, que le rôle de peau. De plus, la peau de poisson est vouée, à terme, à une dissolution lors du retour au tissu sain d'origine. La présence d'écaillies, qui favorisent le processus d'épithélialisation, n'est pas non plus caractéristique de la peau humaine, limitant la rigueur de l'utilisation du terme de « substitut ».

Le paragraphe argumenté devait permettre au candidat de démontrer ses capacités à se questionner sur la rigueur scientifique d'expressions employées dans un article de vulgarisation.

ST2

Cette question nécessitait d'effectuer une analyse synthétique des résultats présentés dans les documents 2A et 2B afin de conclure quant au choix de la peau pour le traitement initial des brûlures. Si cette question a été traitée par la plupart des candidats, le jury s'étonne que la majorité d'entre eux n'effectue pas une analyse synthétique mais propose une description détaillée, souvent très longue et peu pertinente, des résultats présentés en faisant, en outre, le plus souvent, totalement abstraction de la significativité des différences entre les résultats présentés. Ceci a conduit à des erreurs d'interprétation et le jury s'inquiète de voir que la notion de « différence significative » n'est acquise que pour une très petite partie des candidats. Cette clé de lecture et d'interprétation des résultats expérimentaux est pourtant au fondement d'une analyse rigoureuse et ne peut absolument pas être ignorée. Ainsi, les documents 2A et 2B ne présentaient des résultats significativement différents qu'à J14. Il était donc attendu que les candidats formulent leur synthèse en analysant les données uniquement à ce temps-là (temps court), tout en indiquant clairement que les résultats ne présentaient pas de différences significatives aux autres temps. Il advenait de cette observation que la peau de poisson devait être choisie pour un traitement initial des brûlures puisque, à J14, par rapport à la peau bovine, elle stimulait davantage la réépithélialisation, réduisait la taille de la plaie et induisait une forte irrigation du tissu. De plus, il était demandé d'analyser la pertinence d'utiliser la peau d'origine animale puis plus particulièrement celle de poisson. Beaucoup de candidats ont traité seulement le second aspect.

Une conclusion pouvait alors être formulée indiquant que la peau de poisson semblait plus efficace que la peau de veau fœtal pour induire l'installation d'une irrigation tissulaire et favoriser la prolifération des cellules. L'hypothèse selon laquelle la réépithélialisation était la conséquence de la mise en place d'une irrigation était favorablement accueillie lorsqu'elle était émise.

ST3

Cette question a été traitée par la majorité de candidats mais avec des résultats très variables. Le jury a tout particulièrement apprécié les candidats qui ont fait preuve d'un esprit de synthèse et ont construit leur propos de manière hiérarchisée et ordonnée, sans se perdre dans de longues périphrases et digressions sans intérêt. De plus, à l'image de la question précédente, le jury regrette que peu de candidats maîtrisent la notion de significativité des différences, conduisant alors à des conclusions totalement erronées. Le jury s'étonne également de constater qu'un nombre non négligeable de candidats n'a pas intégré le fait que les oméga 3 et oméga 6 sont des acides gras polyinsaturés et que la présentation de données concernant ces deux sous-familles d'AG polyinsaturés permettait de préciser les données obtenues sur cette famille de lipides. La présentation des informations extraites de façon ciblées et classées sous forme de tableau, quand ce dernier était judicieusement élaboré, a été appréciée. Il s'agissait, par une analyse rigoureuse des résultats présentés, de discuter de la variabilité entre espèces et entre individus. Dans un premier temps, il était donc attendu que les candidats exposent des arguments qui rendent compte de la variabilité entre espèces. Ainsi, pouvaient être observés que les rendements d'extraction n'étaient pas les mêmes en fonction des espèces. Il était judicieux de remarquer que la présence de barres d'erreur sur les histogrammes indiquait que les essais avaient été faits plusieurs fois sur la même peau et que les résultats présentés ne souffraient donc pas du risque d'illustrer un simple aléa expérimental qui aurait été obtenu sur un seul essai. Il était alors attendu que le candidat conclue que cette variabilité entre espèces s'illustrait par une quantité en lipides différente entre espèces étudiées. D'autre part, cette variabilité entre espèces se reflétait également dans la composition en acides gras (AG). Ainsi, une grande différence était observée pour les AG polyinsaturés, presque absents chez les bovins, de même que pour les oméga 6 et oméga 3 aussi absents, pour ces derniers, chez les humains. Il pouvait être également remarqué que si la proportion en AG polyinsaturés était semblable entre la peau humaine et celle de poisson, il n'en était pas de même quant à la nature de ceux-ci (oméga 3 / oméga 6). Dans un second temps, devait être discutée la variabilité entre individus, ce qui imposait de limiter l'analyse aux deux échantillons bovins. Il était attendu que les candidats mentionnent que, les rendements d'extraction étant significativement différents, la richesse relative en lipides différait selon les individus. D'autre part, l'analyse des AG saturés (et seulement ceux-ci) permettait d'illustrer la variabilité interindividuelle.

ST4

Cette question a donné lieu à des productions de qualité fort variable, la majorité des candidats n'ayant pas compris l'intérêt du couplage de l'HPLC avec l'analyseur MS-MS. Afin de pouvoir expliquer et discuter de l'intérêt de ce couplage, il était attendu que les candidats rappellent le principe de fonctionnement d'une HPLC en phase inverse, celle-ci mettant en jeu une phase mobile polaire et une phase stationnaire apolaire (hydrophobe). Cette technique permet de séparer les produits en fonction de leur hydrophobicité et s'avère donc adaptée pour séparer des acides gras, les plus hydrophobes étant davantage retenus sur la colonne. La première analyse, MS1, permet alors de séparer, selon le rapport m/z , les acides gras qui ont le même temps de rétention en HPLC. La seconde analyse, MS2, apporte une précision sur la structure de ces acides gras suite à leur fragmentation.

ST5

Cette question a été traitée par la majorité des candidats. Le jury a apprécié les candidats qui ont su trouver un moyen simple et pertinent de faire une analyse synthétique de la *heatmap*, faisant alors la démonstration de leur capacité à synthétiser des données multiples et relativement complexes. Il regrette toutefois que, malgré les indications de l'énoncé de la question, une grande partie des candidats a effectué une description non hiérarchisée, longue et fastidieuse des données. Parmi les caractéristiques communes, il pouvait être observé que les triglycérides (TG) et diglycérides (DG) étaient présents dans tous les échantillons de peau. En ce qui concerne les caractéristiques spécifiques, il fallait montrer que ce n'étaient pas les mêmes TG et DG qui étaient retrouvés selon les espèces (un exemple, au choix, était attendu), que les phosphatidylcholines (PC) et céramides étaient uniquement présents dans la peau de poisson, et que les acides gras (FA) et stérols étaient absents de la peau de poisson.

ST6

Cette question a été traitée par la majorité des candidats mais avec des résultats fort variables. En effet, si l'analyse de la figure A du document 5 n'a pas posé de problèmes particuliers et a été correctement réalisée, la majorité des candidats a effectué une analyse imprécise, voire erronée, de la figure B qui présentait la vitesse de réépithélialisation au cours du temps. Le jury regrette que les candidats n'aient pas davantage prêté attention aux grandeurs représentées et en soient venus, par voie de conséquence, à tirer de fausses conclusions des résultats présentés.

L'analyse de la figure A permettait d'observer que le traitement avec un extrait lipidique de peau de poisson conduisait, *in vitro*, à une fermeture plus précoce de la blessure effectuée sur un tapis de cellules HaCat : presque

refermée à 40 heures, elle l'est totalement à 48 heures, contrairement à la condition contrôle (non traitée). Il pouvait s'avérer pertinent d'indiquer que, la blessure étant réalisée de manière standardisée, l'évolution des deux conditions présentées (i.e. traitée et contrôle) était alors comparable. La figure B apportait à l'analyse des résultats un élément essentiel en montrant que les vitesses de réépithélialisation étaient semblables dans les conditions traitée et contrôle. Ainsi, un traitement avec un extrait lipidique issu de peau de poisson induisait une réépithélialisation plus précoce, mais pas plus rapide.

ST7

La plupart des candidats ont proposé des hypothèses sur les mécanismes moléculaires et cellulaires favorisant le processus de cicatrisation. Le jury a apprécié les réponses argumentées, utilisant un vocabulaire rigoureux. Parmi les hypothèses possibles, il pouvait être proposé que l'ajout d'une peau de poisson crée une couche protectrice contre les agressions extérieures (effet "mécanique"). Pouvait être également souligné le rôle des lipides en général comme des molécules pouvant aider à la cicatrisation en stimulant les processus de vascularisation de la peau (l'angiogenèse intervenant plus tôt), le recrutement de cellules impliquées dans la réparation tissulaire, et la prolifération des cellules épithéliales. De manière plus spécifique, il pouvait être supposé que les céramides et phosphatidylcholines (lipides spécifiques de la peau de poisson) aient certainement un rôle facilitateur par rapport aux autres lipides retrouvés également dans d'autres peaux.

P1

Cette question a été traitée par la majorité des candidats mais, là encore, avec des résultats très variables. L'exercice attendu ne pouvait se limiter à une simple synthèse des documents 6 et 7 et un recopiage, sans justification, de certains éléments de l'extrait de référentiel donné. Comme pour toute question pédagogique (**P**), le jury attendait que le candidat fasse la démonstration de sa compréhension des enjeux éthiques et de déontologie du technicien de recherche. L'exercice demandait que le candidat cible correctement ses intentions d'apprentissage. Pour cela, il était nécessaire que, à l'aide du référentiel donné, les essentiels à faire acquérir par les étudiants soient clairement identifiés. Le candidat devait alors proposer des mises en activité durant les séances porteuses d'apprentissage en argumentant ses choix, identifiant les points de vigilance, et pouvant proposer des leviers d'évaluation formative. Le rôle du co-enseignement devait être clairement explicité ainsi que les documents ou autres ressources utilisées pour venir en appui de cette séquence pédagogique. Le jury regrette que la dimension de co-enseignement avec un enseignant de philosophie ait été très largement négligée. En effet, quand il était évoqué, le rôle de ce dernier était souvent limité à une simple analyse de textes ou documents, sans réelle finalité pédagogique. De plus, de nombreuses réponses se limitent à une liste de concepts et activités, sans explicitation de la réflexion de l'enseignant *a priori* et *a posteriori* pour viser que l'objectif d'apprentissage « engager les étudiants dans une analyse approfondie des enjeux éthiques de l'expérimentation animale » est atteint.

Partie 2 : Aspects technologiques de la croissance de cellules animales en bioréacteur

ST8

Cette question a été traitée par la plupart des candidats qui ont, en grande majorité, correctement expliqué que l'identification des acides aminés indispensables dans la composition d'un milieu de culture pour la croissance des précurseurs myoblastiques consistait à repérer les acides aminés pour lesquels la concentration diminuait au cours du temps. En revanche, l'analyse des résultats a été trop souvent effectuée de manière partielle, ne permettant pas de mettre en évidence que certains acides aminés apparaissaient indispensables pour les trois lignées cellulaires cultivées (i.e. glutamine, arginine, sérine, méthionine, asparagine), alors que d'autres (i.e. leucine et isoleucine) ne semblaient indispensables que pour deux lignées cellulaires, cMPC et C2C12, voire même que pour une seule lignée cellulaire (acide glutamique et acide aspartique pour la lignée C2C12).

ST9

La réponse à cette question nécessitait d'avoir correctement identifié, dans la question ST8, les acides aminés indispensables dans le cadre de l'étude envisagée. Néanmoins, le raisonnement pouvait tout à fait ne prendre en compte que les acides aminés indispensables aux trois lignées cellulaires cultivées. Il apparaissait alors que les chercheurs devaient utiliser les deux méthodes d'extraction qui s'avéraient complémentaires. En effet, les résultats de la méthode par hydrolyse acide mettaient en évidence une faible production d'asparagine et ne présentaient pas de données sur l'extraction de la glutamine, laissant planer un doute sur l'extraction de cette dernière, pourtant absolument essentielle. D'autre part, la méthode de fractionnement ultrasonique ne fournissait aucune donnée sur l'extraction d'arginine et présentaient des valeurs d'extraction faibles pour la méthionine.

ST10

Dans cette question, les candidats devaient argumenter les avantages à utiliser le milieu de culture conditionné CVNM-CM en extrayant des informations présentées dans les documents 11A et 11B. L'analyse du document 11A a souvent été négligée par les candidats, ne leur permettant pas d'aborder les intérêts de la composition du milieu. Si le document 11B a donc souvent été le seul document utilisé pour extraire des arguments, peu de candidats ont rarement porté leur attention sur les données de significativité indiquées, donnant lieu à une analyse erronée des résultats expérimentaux présentés.

Il était donc attendu que, parmi les avantages, les candidats repèrent, à l'aide du document 11A, que le milieu CVNM-CM contenait des extraits de chlorelles (donc était riche en acides aminés), des sels inorganiques, ainsi que des facteurs de croissance sécrétés par les cellules épithéliales de rat (RL34), et que ce milieu n'était pas épuisé puisqu'y étaient ajoutés les éléments consommés par les cellules RL34. D'autre part, parmi tous les milieux analysés (document 11B), il assurait, en présence d'extraits de chlorelles (10 %), une croissance maximale des cellules myoblastiques, et ce, même sans ajout de sérum de veau fœtal.

ST11

Cette question a été traitée par une grande majorité de candidats mais de façon variable. Il s'agissait, dans un premier temps, de présenter les avantages du procédé de culture cellulaire circulaire. Il était attendu de noter, dans un contexte de réduction de produits issus de l'élevage, l'absence d'utilisation de produits d'origine animale (SVF). En effet, bien qu'un apport de facteurs de croissance par des cellules RL34 de rat soit nécessaire, il fallait préciser que celui-ci avait lieu uniquement en début de premier cycle mais plus par la suite. Parmi les avantages, il était important de visualiser que les sources de carbone et d'azote provenaient des extraits d'algues et que la culture circulaire réduisait la quantité de milieu utilisé, que ce soit pour les cellules myoblastiques mais aussi pour la culture d'algues elle-même.

Dans un objectif de discussion, il était attendu que les candidats soulignent également les limites de ce procédé comme, par exemple, les risques fréquents de contamination au fur et à mesure des cycles, la gestion compliquée de la croissance de différents types cellulaires ou l'appauvrissement en facteurs de croissance.

P2

Il s'agissait, dans cette question pédagogique, pour les candidats de produire un exemple de réponse attendue, accompagnée de conseils méthodologiques à destination d'élèves de terminales. Le jury a fortement déploré que certaines synthèses ne respectaient pas les consignes données, notamment en termes de longueur ou de format. Ainsi, certains candidats ont construit des tableaux ou des cartes mentales alors que la consigne mentionnait très clairement qu'était attendu un paragraphe rédigé. Le jury rappelle que l'initiative de proposer un document qui ne réponde pas aux consignes n'apporte jamais une plus-value à la copie et que, quelle que soit la pertinence des éléments proposés, celle-ci est sanctionnée. En outre, le jury s'étonne vraiment du fait que les candidats ne respectent pas, eux-mêmes, les conseils qu'ils donnent aux élèves comme citer des données chiffrées dans la synthèse pour illustrer les arguments, construire des phrases courtes, exploiter tous les documents proposés et se relire afin, par exemple, de limiter les fautes d'orthographe. Le jury rappelle que l'enseignant se doit d'avoir valeur de modèle et qu'il ne peut attendre des élèves qu'ils produisent un exercice de qualité s'il n'est pas, lui-même, en capacité de le faire.

ST12

Le débit de consommation d'O₂ de la culture (OUR) se détermine au moment de l'arrêt de l'oxygénation, à l'aide de la pente du graphique « Suivi de la pression en O₂ au cours de la méthode dynamique (...) » du document 15. Il s'agissait alors de relever le coefficient directeur en phase d'arrêt d'oxygénation ($a = 0,0029 \text{ s}^{-1}$) et de tenir compte de la concentration molaire en O₂.

Donc $\text{OUR} = (dC_L/dt) = a \times C_{L\text{eq}} = 0,0029 \times 0,366 = 0,0011 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 1,1 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

Le jury regrette que de nombreux candidats aient tenté de déterminer OUR à l'aide des données de la phase de réoxygénation conduisant à un résultat erroné.

ST13

Le jury s'est réjoui que la détermination du K_{La} a été beaucoup mieux traitée. En effet, les candidats ont su déterminer qu'il correspondait au coefficient directeur du graphique « Evolution de la vitesse d'oxygénation du bioréacteur au cours de la phase de réoxygénation » du document 15.

La détermination de l'OTR a posé des problèmes aux candidats car peu d'entre eux ont su identifier que C_L était nulle à la reprise du bullage. Ainsi, l'expression « $K_{La} \times (C_{L\text{eq}} - C_L) = \text{OTR}$ » devient particulière en ce point avec $K_{La} \times C_{L\text{eq}} = \text{OTR}$.

Il fallait ainsi en déduire que $\text{OTR} = K_{La} \times C_{L\text{eq}} = 0,0556 \times 0,366 = 0,020 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 20 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

ST14

Il a été apprécié que, même sans résultats aux questions ST12 et ST13, certains candidats ont su présenter une réflexion pertinente en énonçant qu'un système d'oxygénation est efficace si $OUR < OTR$, ce qui était bien le cas ici.

ST15

Les réponses données par les candidats étaient souvent exactes et bien justifiées. Toutefois, le jury regrette qu'il manquât parfois des données chiffrées. Le jury a apprécié que certains candidats aient même pensé à réaliser des transpositions graphiques du tableau (μ en fonction de la vitesse).

Le jury attendait des candidats qu'ils décrivent les valeurs expérimentales présentées dans le tableau et indiquent que la vitesse de rotation de la turbine semble avoir une influence positive entre 25 et 49 rpm : l'EFS devient de plus en plus grand. Puis, que celle-ci semble avoir une influence négative au-delà : l'EFS diminue lorsque la vitesse de rotation augmente.

A l'issue de cette présentation, les hypothèses proposées pour expliquer ce phénomène pouvaient être les suivantes :

- de 25 à 49 rpm : l'augmentation de l'agitation est favorable à la diffusion du dioxygène et des nutriments, favorisant la prolifération cellulaire ;
- au-delà de 63 rpm : les forces de cisaillement sont trop fortes, altérant les cellules et les endommageant.

ST16

Le jury regrette que la question n'ait pas été traitée dans de nombreuses copies, peut-être par manque de temps. Lorsqu'elle a été traitée, les réponses étaient généralement appropriées. Les réponses attendues étaient les suivantes :

- zone 1 : malgré un K_{La} élevé, la faible agitation induit un apport en O_2 non homogène et insuffisant ;
- zone 2 : malgré une agitation élevée, le K_{La} faible ne permet pas l'oxygénation suffisante de la culture ;
- zone 3 : la rotation de la turbine entraîne des cisaillements trop importants, délétères pour les cellules ;
- zone 4 : l'excès de bullage entraîne des cisaillements trop importants, délétères pour les cellules.

P3

De manière générale, les candidats n'ont pas porté suffisamment d'attention aux compétences attendues du programme de 2^{nde} année de CPGE TB. Ceci les a alors conduits à présenter des situations de travail permettant aux élèves de manipuler le bioréacteur d'une façon générale, sans se focaliser sur la nécessité de relier les différents éléments du bioréacteur à leur(s) rôle(s) dans le contrôle et la régulation des paramètres physico-chimiques. Le jury regrette que très peu de candidats aient exposé une stratégie pédagogique étayée et que la plupart d'entre eux ait plutôt présenté une succession d'activités sans lien direct avec les objectifs du programme. Le jury rappelle que la temporalité doit être en adéquation avec la filière concernée. En effet, de nombreux candidats ont consacré un temps trop important à l'acquisition de ces compétences par les élèves.

Seconde épreuve

Durée : 6 heures

Coefficient : 1

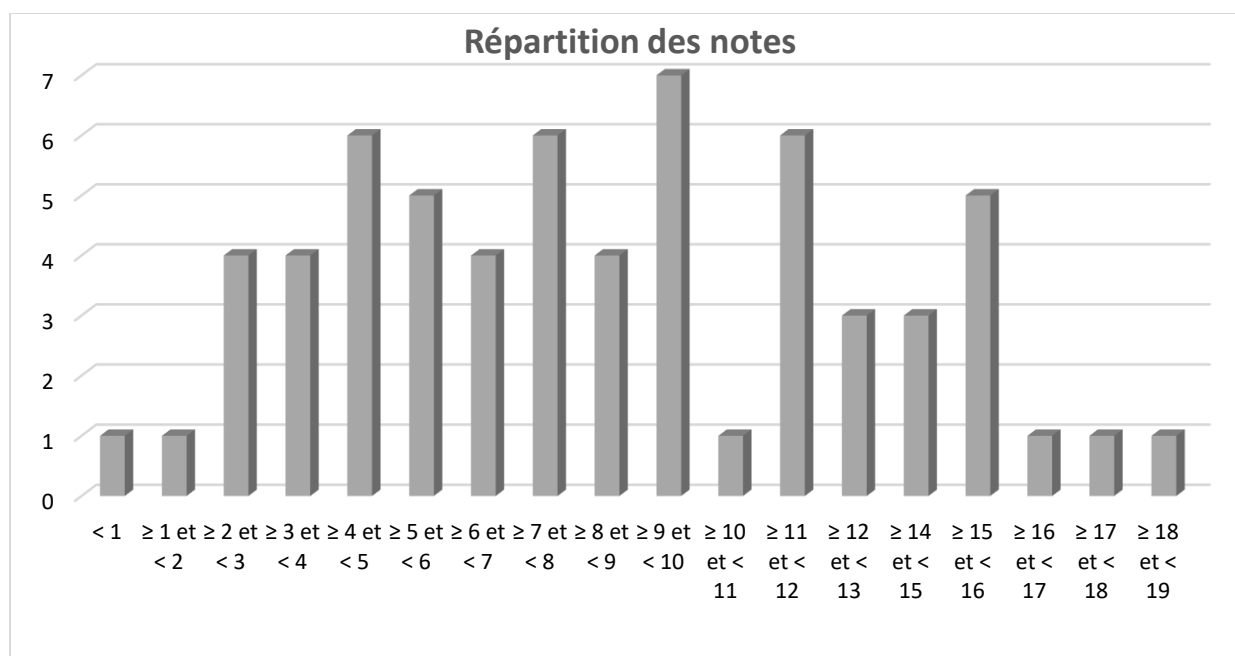
Résultats de l'épreuve

Agrégation
interne

68 candidats ont composé.

Note / 20	Nombre de candidats	Note / 20	Nombre de candidats
≥ 0 et < 1	1	≥ 10 et < 11	1
≥ 1 et < 2	1	≥ 11 et < 12	6
≥ 2 et < 3	4	≥ 12 et < 13	3
≥ 3 et < 4	4	≥ 13 et < 14	5
≥ 4 et < 5	6	≥ 14 et < 15	3
≥ 5 et < 6	5	≥ 15 et < 16	5
≥ 6 et < 7	4	≥ 16 et < 17	1
≥ 7 et < 8	6	≥ 17 et < 18	1
≥ 8 et < 9	4	≥ 18 et < 19	1
≥ 9 et < 10	7		

La moyenne générale de l'épreuve est de 9,03. La meilleure note est de 18,26/20.

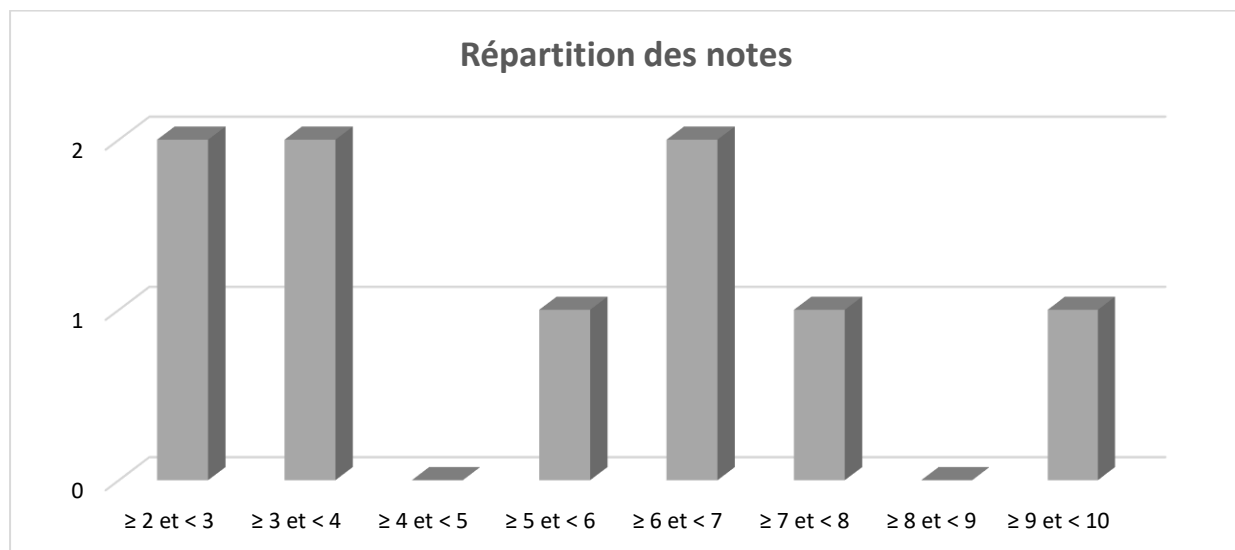


CAERPA
interne

9 candidats ont composé.

Note / 20	Nombre de candidats	Note / 20	Nombre de candidats
≥ 2 et < 3	2	≥ 6 et < 7	2
≥ 3 et < 4	2	≥ 7 et < 8	1
≥ 5 et < 6	1	≥ 9 et < 10	1

La moyenne générale de l'épreuve est de 5,25. La meilleure note est de 9,33/20.



Rapport du jury

L'épreuve était, conformément à sa définition, composée d'une seule question scientifique et technologique. Le sujet de synthèse proposé cette année permettait de couvrir des champs spécifiques de la discipline Biochimie Génie Biologique et sollicitait, de la part des candidats, des connaissances dans les domaines de la biochimie, biologie cellulaire, microbiologie et des biotechnologies. Le sujet s'inscrit dans des problématiques actuelles, pouvant être abordées avec les élèves.

La nature de cette épreuve, tant par sa durée que par l'exercice de synthèse demandé, impose aux candidats une bonne gestion du temps imparti ainsi qu'une mobilisation efficace et pertinente de leurs connaissances. Il est donc important que les candidats s'octroient un véritable moment de réflexion afin d'identifier les concepts clés relatifs au sujet, leur permettant une prise de recul absolument nécessaire à la construction d'un plan logique, équilibré et en adéquation avec la question posée. Cette démarche limite, d'une part, les digressions hors-sujet chronophages et non valorisées et, d'autre part, un développement exagéré d'une partie au détriment des autres. Le jury rappelle qu'il est vraiment essentiel que les candidats s'interrogent, tout au long de la rédaction de leur composition, sur la pertinence de leurs propos et leur adéquation avec la question posée, y compris lorsque des applications biotechnologiques sont présentées. Il est également indispensable de réfléchir à l'enchaînement et à la cohérence des différentes notions abordées. En effet, l'exercice ne doit pas se résumer

à la présentation descriptive de connaissances mais repose sur la construction d'une dissertation argumentée et intégrée. Le jury conseille aux candidats de se préparer à l'épreuve en se mettant dans une situation de mobilisation et de sélection de connaissances, et de construction de plan dans un temps limité.

Compte-tenu de la durée de l'épreuve, la longueur des écrits rendus est conséquente. Il est donc indispensable d'organiser sa synthèse en faisant apparaître un plan clair et explicite. En ce sens, il est demandé aux candidats de soigner les titres de leurs parties ainsi que de vérifier l'adéquation entre l'intitulé des titres et le contenu informatif des paragraphes sous-jacents. Il est nécessaire de faire du lien entre les paragraphes pour expliciter le cheminement de la réflexion du candidat. Les bonnes copies proposaient une articulation naturelle des idées à l'aide de phrases de transition pertinentes et ancrées dans la problématique.

La présence d'une iconographie soignée, légendée et variée permet de compléter le propos mais aussi de démontrer et d'évaluer les qualités pédagogiques du candidat. Cela aide la composition et en facilite la lecture. Bien que pouvant être simplifiée, elle se doit d'être scientifiquement rigoureuse. Ainsi, toute illustration doit soutenir le propos du candidat.

Malgré des alertes réitérées dans les rapports des sessions précédentes, le jury s'interroge de nouveau quant à la faiblesse de rigueur scientifique dans les mots-concepts et expressions employés de certaines copies. Cet aspect représente pourtant un élément essentiel en biologie, comme dans toutes les disciplines scientifiques, dans lesquelles l'usage d'un vocabulaire précis traduit la compréhension du concept véhiculé par le mot.

Le jury a apprécié la qualité rédactionnelle de la grande majorité des copies. Les développements étaient structurés et la rédaction fluide a permis de suivre le raisonnement des candidats. Néanmoins, dans certains écrits, l'orthographe et la grammaire défailantes, notamment les accords de pluriels et de participes passés, ont pu rendre l'évaluation pénible. L'utilisation de phrases courtes et précises est appréciée. Le jury invite les candidats ayant une écriture difficile à déchiffrer à porter une attention toute particulière à celle-ci au moment de la rédaction de leur devoir afin d'en faciliter la lecture et, par conséquent, l'évaluation.

Le jury rappelle également que tout devoir doit contenir une introduction de qualité qui définit la problématique, les concepts fondamentaux à mobiliser et présente la construction du devoir. Il doit également être clôturé par une conclusion pertinente, point souvent maladroitement abordé par les candidats. Celle-ci peut aisément faire un très bref bilan des notions essentielles abordées et élargir de manière pertinente la thématique. Le jury regrette que, très souvent, les candidats proposent des ouvertures artificielles ou déconnectées de la problématique du sujet.

La suite de ce rapport développe des points particuliers relatifs au sujet de la session 2025 et propose des éléments indispensables au traitement du sujet dans l'objectif d'aider les candidats à évaluer le niveau de maîtrise attendu pour cette épreuve.

Le sujet de cette session : « Mécanismes d'oxydo-réduction des organismes vivants et applications biotechnologiques » était accompagné de deux documents. Le document 1 présentait une échelle de couples rédox utilisés par le vivant et le document 2 illustre le cycle de l'azote à l'aide de deux schémas complémentaires. Si l'exploitation de ces documents n'était pas obligatoire, ils contenaient néanmoins des éléments permettant au candidat de soutenir son propos et/ou de préciser certaines données non exigibles, comme les valeurs de potentiels rédox. Ces documents pouvaient venir en appui des connaissances du candidat dans ce domaine mais le jury rappelle que le titre du sujet doit impérativement rester le fil conducteur du développement.

L'intitulé général de la question suggérait un plan, mais sans obligation aucune, et tout plan logique était accepté. Cette proposition de plan n'excluait pas que le candidat effectue une réelle appropriation et problématisation du sujet afin d'éviter une juxtaposition d'exemples faisant peu de lien avec la notion d'oxydoréduction. Le candidat doit, dans la construction de son devoir, veiller à maintenir une fluidité de son discours et limiter d'amorcer chaque idée par une problématique sous forme de question, ceci pouvant déstructurer la pensée. La prise de recul vis-à-vis du sujet était nécessaire afin d'avoir une vision intégrée de la problématique et d'appuyer, tout au long de la synthèse, le raisonnement sur les aspects qualitatifs et quantitatifs liés à l'oxydoréduction : diversité et disponibilité des couples rédox, potentiels rédox, thermodynamique et aspects énergétiques.

1^{ère} partie : Principes communs et spécificités des mécanismes impliqués dans la production d'énergie par les êtres vivants

1. Principes communs de la production d'énergie

La majorité des candidats a défini la notion d'oxydoréduction comme un échange d'électrons entre un donneur et un accepteur mais l'aspect thermochimique, explicité dans la loi de Nernst dont découle « la règle du gamma », a été trop peu explicité. D'une part, il s'agissait d'expliquer que, grâce à cette règle, il est possible de prévoir le sens d'une réaction. Ainsi, en plaçant deux couples sur une échelle par potentiel décroissant, l'oxydant le plus fort d'un couple réagira avec le réducteur le plus fort de l'autre couple. D'autre part, il s'agissait de rappeler que les réactions sont d'autant plus favorables que l'écart des potentiels redox est important.

Les réactions redox sont cependant possibles dans le sens inverse des potentiels redox mais elles nécessitent alors un apport d'énergie. La notion de couplages (chimique, osmotique, chimio-osmotique) et une présentation des différentes molécules à haut potentiel d'hydrolyse ou à fort pouvoir réducteur étaient incontournables : ATP, phosphoénolpyruvate (PEP), acétylCoA, coenzymes d'oxydoréduction. Leurs spécificités biochimiques et structurales étaient attendues.

2. Diversité des voies métaboliques

Il s'agissait ici de présenter et de comparer les principaux systèmes cellulaires de production d'énergie en faisant le lien avec les milieux de vie des organismes. Ces présentations pouvaient judicieusement s'appuyer sur des exemples concrets.

Pour répondre à la problématique du sujet, la présentation des voies métaboliques devait mettre en évidence les donneurs et accepteurs d'électrons, et les différences de leurs potentiels redox, en lien avec les différents types trophiques :

- les réactions d'oxydoréduction cytoplasmiques avec phosphorylation liée au substrat. La glycolyse, voie majeure des êtres vivants, devait être présentée au regard de la problématique et donc de la production d'ATP et de pouvoir réducteur ;
- le recyclage des coenzymes réduits au cours des réactions de fermentation. Si la fermentation lactique a souvent été présentée par les candidats, la fermentation « acide mixte » aurait été plus adaptée dans le contexte du sujet ;
- le recyclage des coenzymes réduits et la production d'ATP par des réactions d'oxydoréduction membranaires spontanées. Pour mettre en évidence le rôle des réactions d'oxydo-réduction dans l'établissement du gradient électro chimique, le jury a apprécié les candidats qui ont proposé un schéma général explicité plutôt que la rédaction de longs paragraphes.

Exemples :

- *respiration aérobie des organotrophes eucaryotes et procaryotes : exemple enterobactéries et Pseudomonas ;*
 - *respiration anaérobie des organotrophes exclusivement procaryotes avec une diversité des accepteurs finaux d'électrons. Exemple : respiration nitrate chez Pseudomonas NO_3^- à N_2 = dénitrification dissimilatrice ;*
 - *respiration anaérobie lithotrophe avec une diversité de donneurs initiaux d'électrons. Exemple chez Nitrosomonas, Nitrococcus NO_3^- à NO_2^- ; Nitrobacter NO_2^- à NO_3^- (la syntrophie de ces deux réactions permet la nitrification).*
- les réactions d'oxydoréduction membranaires non spontanées nécessitant un apport d'énergie. Ce point nécessitait de présenter un schéma général et de mettre en évidence le rôle des photosystèmes et des réactions d'oxydoréduction dans l'établissement du gradient électrochimique permettant la formation subséquente d'ATP. La diversité des chaînes photosynthétiques chez les espèces phototrophes était une illustration supplémentaire et appréciée de la variété des métabolismes énergétiques.
 - *photosynthèse oxygénique : chez les végétaux, microalgues, les algues et les cyanobactéries ;*
 - *photosynthèse anoxygénique. Exemple : bactéries pourpres sulfureuses.*

Le jury a regretté que la méconnaissance de la diversité des voies métaboliques microbiennes ait conduit certains candidats à des généralisations ou des affirmations approximatives, voire fausses.

3. Comparaison des voies métaboliques

Le sujet ne pouvait se limiter à une simple description des voies métaboliques. En effet, il demandait de les mettre en perspective au regard des rendements énergétiques, des avantages adaptatifs liés aux environnements et aux coopérations entre organismes. A ce titre, le document 1 proposé donnait des valeurs de potentiels rédox pour différents couples et permettait ainsi d'apporter des arguments quantitatifs.

Exemples :

- *Saccharomyces cerevisiae* : fermentation ou respiration en fonction de la concentration en glucose (effet Crabtree) ;
- *Geobacter* : organotrophe ou lithotrophe en fonction des molécules présentes dans son environnement ;
- bactéries sulfureuses vertes : photosynthèse avec transport cyclique des électrons ou chaîne photosynthétique membranaire classique en fonction de l'accepteur final en NADP^+ .

La comparaison, *a minima*, des bilans énergétiques de la glycolyse, de la fermentation et de la respiration était attendue.

2^{de} partie : Applications technologiques

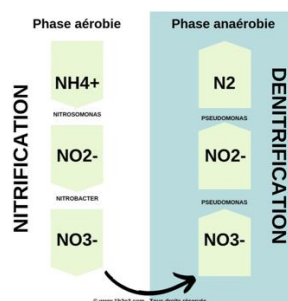
Cette seconde partie visait à montrer l'importance des réactions d'oxydo-réduction pour la production d'énergie dans deux contextes différents impliquant les réactions d'oxydo-réduction du cycle de l'azote. Cette partie devait également s'appuyer sur une comparaison des potentiels redox et une réflexion basée sur les donneurs et les accepteurs d'électrons impliqués dans les réactions d'oxydo-réduction. Ainsi, il s'agissait de démontrer que la compréhension des stratégies métaboliques contribuant au cycle de l'azote permet de mettre en œuvre et d'améliorer des processus biotechnologiques de dépollution azotée des eaux usées et de fertilisation des sols.

1. Dépollution azotée des eaux usées

1.1. Généralités

Cette partie a fait l'objet de développements satisfaisants chez les candidats qui avaient bien identifié l'origine de la pollution des eaux usées. Cependant, elle a aussi pu être l'occasion de confusions liées à la méconnaissance de la source d'azote des eaux usées. En effet, le terme de pollution a trop souvent été associé à la pollution environnementale causées par l'accumulation des nitrates d'origine agricole dans les eaux de captage, alors que la pollution des eaux usées est liée à l'accumulation d'azote organique et d'azote ammoniacal (NH_4^+) provenant de l'urine et des excréments.

Il s'agissait, dans un premier temps, de présenter le principe des réactions d'oxydo-réduction permettant la nitrification aérobie puis la dénitrification anaérobie, en identifiant les couples redox mis en jeu ainsi que les microorganismes sur lesquels reposent ces réactions métaboliques aboutissant à la dépollution.



L'oxydation anaérobie de l'ammonium, ou l'« anammox », a été très peu évoquée alors qu'elle représente une voie métabolique microbienne importante du cycle de l'azote, en particulier dans les océans, au cours de laquelle l'ammonium NH_4^+ est oxydé par le nitrite NO_2^- pour former du diazote gazeux N_2 en anaérobiose avec le CO_2 comme source de carbone.

1.2. Équipements et procédés mis en œuvre

1.2.1. Boues activées

Il s'agissait ici de présenter les procédés de traitement primaire tels que les dégrillage, dessablage et déshuilage qui précèdent le traitement biologique, ou traitement secondaire, basé sur la sédimentation, l'utilisation de décanteurs des boues activées (fermentation), de clarificateurs (boues secondaires) et la chloration. Quelques candidats se sont appuyés sur des illustrations et/ou schémas des différentes étapes suffisamment annotées et précises afin d'optimiser le temps de présentation.

Les boues activées peuvent ainsi se trouver :

- sous forme de floccs avec présence de colonies bactériennes cohésives au sein de biofilms (ex : *Pseudomonas* à respiration aérobie et nitrate ; *Micrococcus* à respiration aérobie ; *Alcaligenes* à respiration nitrate et fermentation ; bactéries nitrifiantes aérobies) ;
- sous forme de lits bactériens ;
- sous forme de biodisques : épuration aérobie.

Les procédés d'évacuation des boues digérées ainsi que l'usage de digesteurs anaérobies pouvaient être évoqués. Pour ces derniers, était attendu que soit rappelé leur principe de fonctionnement basé sur des fermentations acides aboutissant à formation de CO_2 et d'acide éthanoïque (par des bactéries acétogènes), lequel CO_2 est ensuite transformé par des bactéries méthanogènes (ex : *Methanithrix*) pour former du biogaz, CH_4 , réutilisé.

1.2.2. Bioréacteurs à membrane

Les bioréacteurs à membrane, également connus sous le nom de systèmes MBR, sont des réacteurs biologiques aérobies à boues activées qui combinent le processus de dégradation biologique, appelé "boues activées", avec la séparation solide-liquide par filtration sur membrane. Le jury regrette que peu de candidats ont abordé ces systèmes et leur principe.

1.2.3. Microorganismes impliqués

Les documents fournis permettaient aux candidats d'illustrer le sujet avec des exemples précis, de mettre en évidence la diversité des microorganismes mobilisés dans les procédés biotechnologiques présentés et ainsi de faire le lien avec la diversité des métabolismes présentés dans la 1^{ère} partie.

1.2.3.1. Bactéries nitrifiantes (ex : *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*)

Une schématisation de leur chaîne respiratoire ou, *a minima*, l'écriture des réactions redox mises en jeu permettait de montrer simplement comment ces bactéries utilisent le NH_3 , pour *Nitrosomonas*, et le NO_2^- , pour *Nitrobacter*, pour produire de l'ATP et ainsi oxyder l'azote organique en NO_3^- .

1.2.3.2. Bactéries dénitrifiantes (ex : *Pseudomonas*)

De la même manière, une schématisation de la chaîne respiratoire de la respiration anaérobie ou l'identification des couples redox impliqués permettait de faire le lien entre le processus biologique et la dénitrification.

1.2.3.4. Bactéries impliquées dans la voie « anammox »

Il représente une alternative prometteuse aux techniques conventionnelles d'élimination de l'azote mises en œuvre dans les stations d'épuration (STEP). C'est d'ailleurs pour cette raison que plusieurs brevets utilisant les propriétés du processus anammox ont déjà été déposés. À l'inverse de la flore microbienne présente dans les étapes de traitement biologique d'une STEP, les bactéries du genre *Brocadia anammoxidans* sont en mesure de se dispenser d'oxygène et même de consommer du dioxyde de carbone (gaz à effet de serre). La coûteuse aération des bassins peut donc être diminuée, réduisant ainsi les coûts de traitement et les émissions de CO_2 jusqu'à 88 %.

2. Fertilisation biologique des sols

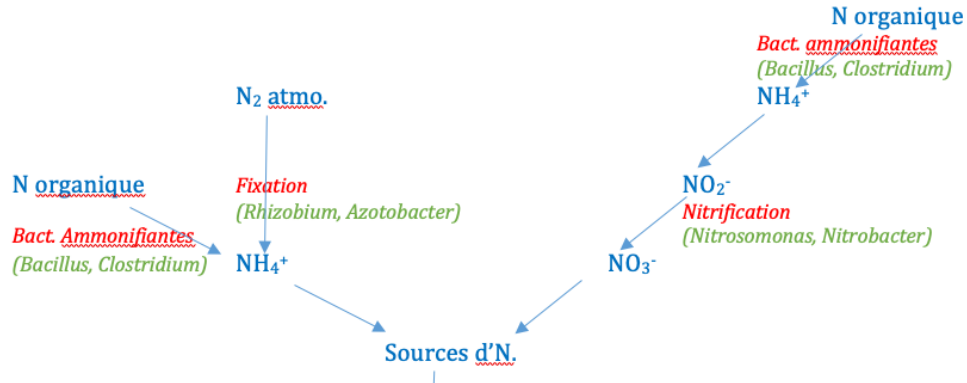
2.1. Objectifs

Dans les sols, l'azote se présente sous deux formes principales :

- une forme organique, essentiellement issue de la matière organique en décomposition (notamment l'humus) ;
- une forme minérale, incluant l'ammonium (NH_4^+) et les nitrates (NO_3^-).

La majorité des espèces végétales ne peuvent pas absorber l'azote atmosphérique (N_2) en raison de l'inertie chimique de cette molécule. Seules certaines plantes, principalement des légumineuses, bénéficient d'une symbiose avec des bactéries fixatrices de l'azote leur permettant de l'exploiter directement. Pour toutes les

autres, l'azote doit être apporté via des sources disponibles dans le sol, principalement sous forme minérale. Ce sont les microorganismes du sol qui, par le processus de minéralisation, convertissent l'azote organique en formes minérales, principalement les nitrates, directement assimilables par les plantes.



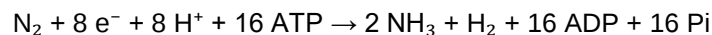
2.2. Principe de la fixation biologique de l'azote

La fixation biologique de l'azote permet la conversion du diazote atmosphérique (N_2) en ammoniac (NH_3), une forme réactive et utilisable par les végétaux. Ce processus est exclusivement réalisé par certains procaryotes.

On distingue deux grandes catégories d'organismes fixateurs :

- les bactéries symbiotiques, notamment du genre *Rhizobium*, qui colonisent les nodosités racinaires ou caulinaires des légumineuses, établissant une symbiose mutualiste efficace ;
- les bactéries libres du sol, telles que *Azotobacter*, *Clostridium*, ainsi que certaines cyanobactéries, qui effectuent cette fixation de manière indépendante.

La réaction de fixation est catalysée par l'enzyme nitrogénase, extrêmement sensible à l'oxygène, nécessitant donc des conditions anaérobies pour fonctionner. Cette enzyme permet la réduction du N_2 selon la réaction globale suivante :



Cette réaction exige un apport énergétique conséquent, soulignant son coût métabolique élevé.

2.3. Stratégies agronomiques de gestion de l'azote

Dans un contexte de durabilité agro-environnementale, la gestion raisonnée de l'azote constitue un enjeu majeur.

Plusieurs leviers techniques et agronomiques permettent d'optimiser son usage tout en limitant les pertes et les impacts environnementaux :

- la diversification des assolements et la planification de rotations intégrant des légumineuses fixatrices d'azote, favorisant l'enrichissement naturel des sols ;
- l'implantation de cultures intermédiaires, notamment les CIPAN (Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates), destinées à capter les excès d'azote et à limiter le lessivage en période inter-culturelle, ou les CIVE (Cultures Intermédiaires à Vocation Énergétique) valorisées par méthanisation ;
- l'ajustement des apports fertilisants selon les besoins réels des cultures, les teneurs résiduelles du sol et les apports atmosphériques, dans une logique de fertilisation raisonnée ;
- le développement de systèmes agricoles alternatifs, tels que l'agriculture biologique qui exclut le recours aux engrais azotés de synthèse et repose davantage sur les flux naturels du cycle de l'azote.

Source : <https://www.notre-environnement.gouv.fr/> (Commissariat général au développement durable, 2019)

EPREUVES D'ADMISSION

Première épreuve

Résultats de l'épreuve

22 candidats, agrégation et CAERPA confondus, ont composé et sont répartis comme suit :

Note /20	Nombre de candidats
< 8	6
≥ 8 et < 10	4
≥ 10 et < 12	5
≥ 12 et < 14	4
≥ 14 et < 16	3

La moyenne générale de l'épreuve est de 10,07/20.

La moyenne des candidats admis est de 12,31/20.

La meilleure note est de 15/20.

Rapport de jury

Le jury félicite l'ensemble des candidats qui a respecté l'esprit de l'épreuve, aussi bien dans le cadre de la démarche de projet que dans celui de la présentation orale et de l'entretien avec le jury.

Conformément à la définition de l'épreuve, le jury rappelle que le manuscrit ainsi que la présentation orale peuvent légitimement comporter deux parties distinctes mais qui ne doivent, en aucun cas, être déconnectées l'une de l'autre :

- une étude scientifique et technologique qui doit être replacée dans son contexte et qui doit être très clairement reliée avec la problématique pédagogique à l'origine du projet. Cette étude doit s'appuyer sur des données scientifiques et technologiques précises, rigoureuses et actualisées. Des prolongements économiques et sociétaux peuvent être abordés, si cela s'avère pertinent dans le cadre de la démarche du projet.

- une application pédagogique intégrée dans une programmation, à un niveau de classe donné, devant répondre à une problématique pédagogique argumentée et explicitée. Les modalités pédagogiques choisies doivent être argumentées en dégagant leur plus-value. L'application pédagogique doit s'inscrire dans une démarche réaliste. Elle peut donc avantageusement avoir été expérimentée avec des élèves/étudiants en s'appuyant sur différents outils d'actualité. Elle doit prendre en compte les contraintes inhérentes à l'environnement de l'enseignant de biochimie génie biologique (matériels disponibles, horaires, groupe classe, coût, prévention et sécurité, ...). Cette mise en application peut également faire appel à des aspects interdisciplinaires du moment que ceux-ci sont justifiés et apportent une réelle plus-value à la démarche proposée.

Le jury estime qu'il est indispensable que le « candidat enseignant » fasse preuve d'une véritable analyse réflexive sur sa propre pratique. C'est pourquoi il lui conseille de se former aux sciences cognitives et de les appliquer à ses pratiques pédagogiques. L'utilisation de mots clés, parfois de manière quantitativement exagérée, sans maîtrise des concepts et, surtout, sans présentation d'une mise en application concrète au sein de l'application pédagogique, n'illusionne pas le jury.

La réflexion sociétale et citoyenne est désormais un incontournable des enseignements liés aux biotechnologies et à la biologie compte-tenu de leur impact sur le vivant, la santé, l'alimentation et l'environnement. La démarche

réflexive peut donc, légitimement et quand cela s'avère pertinent au regard de la thématique choisie par le candidat, interroger les dimensions éthiques et citoyennes, orientées, non seulement dans le domaine de la recherche en biotechnologie, mais également dans les domaines de la santé, de l'environnement et de l'alimentation. Elle doit demeurer en lien avec, notamment, les BTS d'« Analyses de biologie médicale », de « Biotechnologies en recherche et en production », de « Bioanalyses en laboratoire de contrôle » et de « BioQualité » et s'appuyer obligatoirement sur des ressources bibliographiques sérieuses.

Le candidat doit veiller, aussi bien dans le dossier comme dans la présentation orale, à ce que les schématisations présentées ne risquent pas d'induire de confusion chez les apprenants comme, par exemple, un anticorps apparaissant plus gros que la cellule sur laquelle il est fixé. De même, les méthodes et outils pédagogiques innovants proposés doivent être mûrement réfléchis de façon à ne pas s'avérer totalement artificiels ou déconnectés de l'objectif ciblé.

Remarques sur le dossier

Cet exercice de réflexion exige des candidats de faire preuve de concision, d'esprit de synthèse et de faire des choix tant dans la structuration que dans les contenus présentés. Un nombre maximal d'environ 60 pages semble raisonnable pour remplir cet objectif. Pour autant, la concision et la réalisation de choix ne doivent pas se faire au détriment d'éléments indispensables à la bonne compréhension de l'étude et à l'argumentation étayées des objectifs pédagogiques. A ce propos, il convient notamment de limiter le nombre d'annexes au strict nécessaire. Des annexes non analysées dans le propos ne permettent pas de valoriser la démarche du candidat.

Le jury a apprécié la qualité de la forme d'une grande majorité de dossiers. Il a souvent noté le soin apporté à l'iconographie, l'orthographe, la syntaxe, la construction et la clarté du plan. Toutefois, le jury s'étonne que certains rapports ne remplissent pas ce cahier des charges de base et que des candidats remettent, sans faire preuve d'un minimum de correction envers le jury, des rapports mal rédigés, qui n'ont manifestement pas été relus (fautes d'orthographe, de syntaxe, de frappe, ...), en partie rédigés par l'intelligence artificielle et dont le niveau de connaissances et de réflexion n'est pas à la hauteur du concours visé. D'ailleurs, le jury regrette que, sauf quelques exceptions, le niveau des connaissances scientifiques et la réflexion sur les concepts scientifiques, technologiques, pédagogiques et didactiques ne sont pas suffisamment développés.

Comme conseillé, ces dossiers comportaient deux parties, développées, à bon escient, de manière relativement équilibrée : une partie scientifique et technologique suivie d'une partie pédagogique en lien direct avec la première. Le jury a déploré des liens artificiels, voire inexistant, entre les deux parties. Il rappelle qu'un approfondissement réflexif est attendu, à la fois dans le domaine scientifique et technologique, ainsi que dans le domaine métier de l'enseignant, tant sur les aspects didactiques et pédagogiques. En effet, il est essentiel de valoriser ces deux dimensions dans la mesure où elles sont appliquées à l'enseignement dans nos diplômes scientifiques et technologiques.

Le texte peut avantageusement s'appuyer sur des illustrations de qualité uniquement si celles-ci ajoutent une réelle plus-value didactique et pédagogique au manuscrit. Elles doivent être rigoureusement référencées et comporter un titre pertinent ainsi qu'une légende soignée, correctement formulée. Leur source doit être précisée. La lisibilité des figures et du texte doit être scrupuleusement vérifiée.

Une bibliographie rigoureuse et maîtrisée par les candidats doit être présentée de manière formelle. Il est conseillé d'utiliser des logiciels de formatage des documents pour une édition homogène des références bibliographiques. L'utilisation d'une webographie doit être limitée à des sites robustes, régulièrement actualisés et fiables.

Remarques sur la partie scientifique et technologique du dossier

Le jury insiste sur le fait que, bien que la partie scientifique et technologique soit placée en première partie du rapport, l'exercice de démarche de projet doit positionner la problématique pédagogique comme véritable finalité. C'est celle-ci, ainsi que les moyens mis en œuvre pour tenter d'y répondre, qui orientent le choix de la thématique

de la partie scientifique et technologique, et non le contraire. Ainsi, la présentation d'un stage en laboratoire ou d'une étude scientifique doit s'inscrire dans une finalité pédagogique issue d'une réflexion personnelle et à un niveau d'enseignant confirmé. Ainsi, sont valorisées l'expertise et la réflexion des candidats construites par l'expérience de l'enseignement dans cette discipline.

La partie scientifique et technologique nécessite un travail important de mise à jour des connaissances de la part des candidats. A l'issue de celui-ci, il est donc attendu que le candidat fasse la démonstration d'un niveau scientifique de grande expertise dans le domaine qu'il a lui-même librement choisi de présenter. La précision et la maîtrise des informations présentées sont des points évalués et très appréciés par le jury, celles-ci ne peuvent demeurer superficielles. Atteindre ces objectifs d'excellence ne peut se faire par le « saupoudrage » de données déconnectées les unes des autres et présentées de manière « catalogue » et, consécutivement, superficielle. Par exemple, la présentation de toutes les techniques d'amplification de l'ADN ne présente aucun intérêt si le candidat ne peut expliquer les principes moléculaires de la fluorescence.

Le jury rappelle que la réalisation d'un stage en laboratoire ou dans une entreprise de biotechnologie permet, non seulement une remise à niveau, mais également un ancrage indispensable dans le concret et l'actualité. Le jury est conscient de l'investissement et de l'engagement que cela demande au candidat et apprécie ceux qui sont devenus, par la préparation de cette épreuve, de véritables experts dans le domaine scientifique qu'ils ont choisi.

Remarques sur la partie pédagogique du dossier

Tous les niveaux d'enseignement, pré- ou post-baccalauréat, choisis pour cette partie sont appréciés de manière identique par le jury. Le caractère novateur de la technologie présentée dans l'application pédagogique n'est pas indispensable. Toutefois, au vu de l'évolution rapide des techniques et technologies mises en œuvre dans nos domaines de formation, le jury demeure attentif à toute proposition rigoureuse et réaliste permettant l'introduction de nouvelles approches biotechnologiques auprès des élèves/étudiants dans la mesure où ces derniers y seront potentiellement confrontés lors de leur insertion dans le monde professionnel.

Le professeur de biochimie génie biologique a la particularité d'offrir à l'élève/étudiant une confrontation au réel. Cela impose une maîtrise des savoirs scientifiques académiques, des savoirs technologiques, mais également d'avoir la capacité de les transposer à un niveau de formation donné afin de permettre le développement des compétences des apprenants. Le jury apprécie tout particulièrement les constructions pédagogiques qui présentent une véritable démarche de recherche s'interrogeant sur la faisabilité du projet, sa cohérence, son adaptation au public concerné, sa plus-value, sur les difficultés des élèves et sur l'efficacité des choix pédagogiques sur l'apprentissage visé. Ainsi, la démonstration d'un excellent niveau d'expertise et d'analyse réflexive de sa pratique pédagogique (en amont et en aval de la séance) est souvent synonyme d'une mise en œuvre, au moins en partie, de la transposition pédagogique proposée, ou de discussion avec des collègues expérimentés, en sollicitant éventuellement l'aide de leur IA-IPR de BGB. Le jury encourage vivement ces échanges qui permettent aux candidats de murir leur réflexion, de poser des mots sur leurs pratiques et d'argumenter de façon conscientisée les choix effectués.

Une grande majorité de candidats parvient à présenter clairement ses choix didactiques c'est-à-dire à positionner la séance proposée dans une progression ou partie de progression annuelle, à identifier les savoir-faire et les savoirs associés visés à l'intérieur d'un référentiel de pré- ou post-bac et à présenter le déroulé de la séance proposée. L'argumentation de la part de l'enseignant est essentielle car elle témoigne de son recul didactique sur la séance proposée. Le jury a valorisé les candidats faisant preuve de capacités réflexives et de remise en question constructive, qualités essentielles pour un professeur en recherche de l'amélioration continue de son enseignement. Le jury rappelle que la construction d'une partie pédagogique doit présenter une mise en application ordonnée et hiérarchisée afin de mettre clairement en évidence le déroulement des activités pédagogiques, les concepts fondamentaux scientifiques et technologiques apportés, ainsi que les notions de prévention des risques et de coût de réalisation. Le jury doit être en mesure de savoir ce que le candidat fait

concrètement avec ses élèves/étudiants, quelle est sa place dans le déroulement d'une activité dont le format est choisi, et quelle est sa stratégie pour vérifier la compréhension, l'acquisition des apprentissages et les difficultés identifiées.

La réflexion pédagogique a souvent été insuffisamment développée ou bien malmenée par l'utilisation de concepts mal maîtrisés. Celle-ci doit prendre en compte l'hétérogénéité des niveaux des élèves, faire apparaître les points de vigilance pour installer les essentiels, éviter les confusions et faciliter les apprentissages dès la classe tout en prenant en compte les difficultés des apprenants. Il est essentiel que la plus-value des modalités de travail retenues et des outils choisis soit développée. L'enrichissement par des apports théoriques issus des sciences cognitives, neurosciences et sciences de l'éducation, doit être illustré par des applications concrètes afin de ne pas être hors-sol donc trop théorique. Le rôle de l'enseignant dans la classe, en tant qu'« accélérateur d'apprentissage », doit être décrit et explicité. Par exemple, beaucoup de candidats évoquent les différents modes d'évaluation mais sans en démontrer, ni l'intérêt pour l'apprenant, ni la façon dont ils sont mis en œuvre, ni la mesure de leurs effets sur l'apprentissage en classe.

La complétude de la démarche n'apparaît que lorsque toutes les dimensions sont correctement développées, à savoir les dimensions scientifique, technologique, didactique et pédagogique.

Remarques sur la forme des présentations orales

La durée de l'exposé oral de 30 minutes a été, sauf quelques rares exceptions, scrupuleusement respectée par les candidats. Le jury a invité les candidats qui allaient dépasser ce temps à terminer en quelques secondes leur présentation. Ce choix de déborder sur le temps imparti s'avère être toujours une mauvaise stratégie. Une préparation et un chronométrage en amont sont absolument indispensables.

La présentation orale doit être à l'image des attendus du rapport écrit et un équilibre entre les deux dimensions (i.e. « scientifique et technologique » et « didactique et pédagogique ») doit être maintenu.

Le jury félicite les candidats qui ont construit, dans leur très large majorité, des supports diaporamas de grande qualité, mettant clairement en évidence leurs compétences didactiques et pédagogiques. A ce propos, le choix de ne pas réaliser une présentation exhaustive de l'ensemble des informations contenues dans le dossier a toujours été très favorablement apprécié dans la mesure où cela préservait l'intérêt de la démarche de projet et donnait à voir avec précision la déclinaison pour les apprenants, sans gêner la compréhension.

Afin de favoriser une écoute attentive et de rendre le propos encore plus dynamique, le jury rappelle aux candidats de construire des diapositives qui ne soient pas surchargées en texte, ni en animations de toute sorte qui s'avèrent être souvent contreproductives pour le suivi de la présentation. Ainsi, des supports iconographiques judicieusement choisis peuvent remplacer très utilement de longues phrases rédigées que l'auditoire n'a pas le temps de lire dans leur intégralité. De même, le choix des couleurs (i.e. contraste entre le texte et le fond) ainsi que la taille des figures (graphiques, tableaux, ...) présentées doivent être mûrement réfléchis en amont de la présentation devant le jury. Il est regrettable que certains candidats aient fait de mauvais choix pédagogiques en présentant des diapositives dépourvues de supports iconographiques et/ou contenant une quantité de texte telle qu'impossible à lire.

Dans un concours de recrutement d'enseignants, les compétences en communication sont évidemment essentielles, tout comme l'attitude générale devant un auditoire. Par conséquent, il est vivement conseillé aux candidats de s'affranchir d'un support papier au cours de leur prestation orale afin de faciliter la fluidité de leur discours et son incarnation par l'orateur. Le jury félicite les candidats qui ont, dans leur grande majorité, adopté une attitude communicante, en proposant une présentation personnelle et originale, avec force et conviction.

Le jury félicite également les candidats de s'être, en grande majorité, prêtés avec enthousiasme et dans un état d'esprit positif au « jeu » des questions-réponses. Le jury est conscient que cet exercice est rendu parfois difficile du fait de l'enjeu et du stress associés. Il rappelle que cet entretien a pour finalité d'être un moment d'échanges et de réflexion et qu'il a vocation à évaluer, non seulement les connaissances scientifiques et technologiques du candidat, mais également ses capacités à analyser une situation, à présenter son opinion, en tant que fruit de son expérience, sur divers questionnements pédagogiques. Le jury, adoptant une attitude de questionnement

bienveillante envers les candidats attend, en retour, les mêmes dispositions de leur part afin de mener au mieux un échange constructif.

Il est rappelé que la notation de cette épreuve prend également en compte les qualités d'expression et de communication, le sens de l'écoute active ainsi que l'adéquation des réponses aux questions. Le jury apprécie tout particulièrement les candidats qui attendent la fin de l'énoncé de la question avant de répondre et qui formulent leur réponse de manière rigoureuse, concise et argumentée, favorisant ainsi la qualité et le dynamisme des échanges. Cette pratique d'écoute et de réflexivité est essentielle pour un enseignant qui doit la pratiquer au quotidien avec ses élèves ou étudiants.

Remarques sur le fond des présentations orales

Le jury tient là encore à féliciter la grande majorité des candidats qui a su faire la démonstration de leur investissement dans la préparation de cette épreuve, de leur motivation et de leur probité intellectuelle. A l'image des attendus du manuscrit, les candidats qui ont présenté de manière claire et explicite leur démarche de projet ont été valorisés. Dans cet objectif, le jury a vivement apprécié que la présentation débute par un rappel de la question pédagogique posée, centre et pivot de la démarche, avant de préciser et d'introduire, de manière la plus pertinente possible, le contexte scientifique de l'étude.

Ont été tout particulièrement appréciés les sujets ancrés sur une thématique contextualisée et présentant des aspects technologiques novateurs en adéquation avec l'évolution des techniques tout en tenant compte, lors de l'application pédagogique, des contraintes liées aux établissements d'enseignement. Le jury a tout particulièrement apprécié certaines présentations synthétiques et concises s'appuyant de façon pertinente sur un organigramme mettant en relief les objectifs, méthodologies, stratégies pédagogiques et démarches d'évaluation d'une séquence préalablement positionnée au sein d'une progression. Les sujets ancrés sur une réelle recherche didactique et pédagogique ont également été appréciés, surtout lorsque celle-ci conduisait à un projet permettant réellement une plus-value à l'enseignement en vue d'un apprentissage plus efficace. Le jury a également été sensible à la prise en compte des contributions d'autres disciplines, dans une approche pédagogique contemporaine et interdisciplinaire.

De nouveau, le jury rappelle qu'un important travail de synthèse doit être effectué en amont par les candidats de façon à hiérarchiser les informations qu'ils souhaitent transmettre et ne pas tout mettre au même niveau, ce qui imposerait alors à leur auditoire de faire des choix qui ne sont pas de son ressort, comme peut y être confronté un élève ou étudiant.

Il est particulièrement attendu d'un professeur agrégé qu'il soit capable de faire évoluer les pratiques au sein de son établissement. Ceci implique la mise en œuvre de stratégies pédagogiques novatrices, pragmatiques mais également réalistes qui donnent véritablement sens aux apprentissages. Ces activités doivent être construites sur des objectifs d'apprentissage bien définis, en appui sur une réalité, non seulement du métier d'enseignant, mais également économique pour l'établissement. A ce propos, le jury attend que le candidat montre ce qu'il a concrètement mis, ou souhaiterait mettre, en œuvre avec les élèves/étudiants ainsi que les productions (documents, supports, résultats expérimentaux, ...) de ces derniers. Ainsi, n'a guère d'intérêt la présentation d'une liste catalogue de séances sans explicitation des objectifs pédagogiques visés, des moyens ciblés pour y répondre, des modalités d'évaluation du transfert de connaissances et compétences, des leviers de remédiation imaginés, ...

La thématique scientifique du projet étant laissée à l'entière discrétion des candidats, le jury s'étonne que certains candidats n'arrivent pas à faire la démonstration, sur des questions pourtant très fondamentales, de leur maîtrise dans le domaine qu'ils ont librement choisi. En effet, en tant qu'acteur et porteur de son sujet, chaque candidat doit l'avoir étudié en profondeur et le maîtriser en tant qu'expert. Il est ainsi attendu que le candidat soit capable d'expliquer et de justifier toutes les méthodologies présentées, d'expliquer les techniques et les principes

scientifiques associés mais également d'être en mesure de réaliser l'analyse explicite et rigoureuse des résultats présentés. Il doit également avoir actualisé ses connaissances, faisant ainsi la démonstration d'une démarche active de veille scientifique et technologique. Ainsi, le jury rappelle qu'il est vraiment préférable que le candidat choisisse un projet scientifique dans un domaine qu'il maîtrise et/ou affectionne tout particulièrement plutôt que de se mettre inutilement en difficulté et en danger à vouloir développer une thématique qui ne lui est pas familière. Cependant, dans la mesure où le fondement de l'épreuve s'inscrit dans la mise en œuvre d'un projet pédagogique, il convient de ne pas oublier que le support scientifique et technologique doit être au service du projet pédagogique et non l'inverse. Ainsi, certains dossiers prenant appui sur des activités liées à un stage de formation en laboratoire ou sur la réalisation d'une thèse de sciences, pouvaient être d'un niveau scientifique très satisfaisant sans pour autant répondre aux objectifs de l'épreuve.

A l'issue de la présentation, la discussion ouverte qui s'ensuit avec le jury a pour vocation de l'éclairer sur certains points de la démarche du candidat, notamment sur son objectif premier et les solutions techniques adoptées, mais aussi d'expliciter, voire de préciser, certaines données scientifiques abordées ou décrites dans le dossier. Cette discussion permet également d'évaluer l'appropriation de la démarche pédagogique choisie ou conçue. En effet, par ce questionnement large, le jury souhaite également apprécier la maîtrise didactique de la discipline sur des éléments non mentionnés dans le dossier mais directement associés à la problématique.

AGRÉGATION INTERNE et CAERPA INTERNE

Section : BIOCHIMIE – GÉNIE BIOLOGIQUE

Session 2025

ÉPREUVES D'ADMISSION

SECONDE ÉPREUVE

Durée : 8 heures

Coefficient : 1

Cette épreuve consiste à exploiter des documents techniques et théoriques dans un contexte de conception et de mise en œuvre d'une activité technologique de niveau pré-bac ou post-bac.

Elle permet d'évaluer les capacités du candidat à :

- mobiliser des concepts et principes technologiques, pour expliquer des choix expérimentaux et exploiter des résultats ;
 - mettre en œuvre, pour tout ou partie, des instructions de travail mobilisées dans l'activité technologique.
-

LA BIOPRODUCTION DE PEROXYDASE PAR DES BACTÉRIES RECOMBINANTES, UNE ALTERNATIVE À SA PRODUCTION PAR LE RAIFORT

PARTIE 1 : PRODUCTION DE BACTÉRIES RECOMBINANTES SYNTHÉTISANT L'ENZYME HRP

- 1.1. Préparation d'une suspension d'*E. coli* BL21 chimiocompétentes
- 1.2. Transformation bactérienne par choc thermique
- 1.3. Conservation des bactéries recombinantes et traçabilité

PARTIE 2 : MISE EN ŒUVRE ET ÉVALUATION DU PROCESSUS DE PURIFICATION DE L'ENZYME HRP RECOMBINANTE

- 2.1. Traitement de la solution « EBT » par chromatographie d'exclusion
- 2.2. Analyse des fractions recueillies en sortie de chromatographie
- 2.3. Détermination de l'efficacité de purification de la solution « EBT »

PARTIE 3 : ANALYSE DES PERFORMANCES MÉTROLOGIQUES D'UN KIT DE DOSAGE DU GLUCOSE CONTENANT LA HRP RECOMBINANTE

Une attention particulière sera accordée à la traçabilité et à la présentation de tous les résultats expérimentaux.

LA BIOPRODUCTION DE PEROXYDASE PAR DES BACTÉRIES RECOMBINANTES, UNE ALTERNATIVE À SA PRODUCTION PAR LE RAIFORT

Les peroxydases, antioxydants enzymatiques, représentent une des premières lignes de défense des cellules contre les espèces réactives de l'oxygène. Parmi celles-ci, la peroxydase de raifort (HRP) est couramment employée dans des applications biotechnologiques à visées thérapeutiques et diagnostiques. En effet, en raison de son faible coût, de sa spécificité élevée pour ses substrats et de sa stabilité, elle est utilisée dans la réaction indicatrice de nombreux kits de dosage. L'existence d'une large gamme de substrats synthétiques pour cette enzyme permet le développement de techniques de spectrophotométrie et de luminescence.

Historiquement produite à partir de raifort, la HRP est désormais produite à l'aide de bactéries recombinantes. Cette nouvelle approche limite l'hétérogénéité des isoenzymes produites, consécutive à l'utilisation de lots de raifort différents, et conduit à des extraits enzymatiques présentant un taux de glycosylation homogène. Elle garantit également, dans un contexte de réchauffement climatique qui impacte les cultures maraîchères de raifort, une production suffisante pour satisfaire la demande.

Afin de produire un kit de dosage du glucose utilisant l'enzyme HRP, des chercheurs d'une entreprise de biotechnologie développent un procédé de production de l'enzyme HRP dans des bactéries *E. coli* BL21 recombinantes. Avant de passer à l'échelle industrielle de fabrication de ce kit, il est essentiel de réaliser des contrôles pour qualifier l'ensemble du processus de production et pour vérifier que les performances de l'enzyme recombinante sont comparables à celles de l'enzyme issue du raifort.

Dans cet objectif, l'entreprise envisage de :

- vérifier l'efficacité de transformation des cellules bactériennes *E. coli* BL21 chimiocompétentes par un plasmide (pUC19) dont les caractéristiques de transformation sont connues ;
- vérifier l'efficacité de purification de l'enzyme HRP par chromatographie d'exclusion ;
- analyser des performances métrologiques du kit développé.

PARTIE 1 : PRODUCTION DE BACTÉRIES RECOMBINANTES SYNTHÉTISANT L'ENZYME HRP

La première étape de la production consiste à rendre chimiocompétentes les bactéries *E. coli* BL21 revivifiées à partir d'un culot bactérien conservé en glycérol à -80 °C. Cette étape doit être réalisée lorsque la culture se trouve en phase exponentielle de croissance.

1.1. Préparation d'une suspension d'*E. coli* BL21 chimiocompétentes

Le **document 1** présente quelques caractéristiques de la souche *E. coli* BL21 utilisée.

Le **document 2** présente la carte du plasmide pUC19.

Le **document 3** présente l'instruction de travail pour préparer des bactéries *E. coli* BL21 chimiocompétentes.

Mise en œuvre

- Mettre en œuvre la préparation de bactéries chimiocompétentes.

Exploitation des résultats

- Q.1** Estimer le temps nécessaire pour obtenir une suspension bactérienne en phase exponentielle de croissance.
- Q.2** Estimer la concentration en bactéries de la suspension en phase exponentielle obtenue.

1.2. Transformation bactérienne par choc thermique

Le **document 4** présente le processus de transformation des bactéries *E. coli* BL21.

Étude préparatoire

Pour optimiser la transformation, il est nécessaire d'ajuster la quantité d'ADN ajoutée à la suspension de bactéries chimiocompétentes.

- Q.3** Présenter la démarche utilisée et les calculs associés pour ajouter 10 ng de plasmide pUC19 à 200 µL de suspension bactérienne.

Les bactéries transformées sont sélectionnées par ensemencement du produit de transformation sur un milieu de culture adapté. L'efficacité de transformation bactérienne est alors déterminée.

- Q.4** Compléter l'**annexe 1** pour commander le (ou les) milieu(x) nécessaire(s) à la mise en œuvre et à la validation du processus de transformation. Argumenter les choix.



Remettre à un examinateur l'annexe 1 complétée

Mise en œuvre

- Mettre en œuvre la transformation des bactéries.



Le choc thermique de la transformation se fera devant un examinateur.

- Remettre les boîtesensemencées à un examinateur qui donnera, en échange, des boîtes préparées dans les mêmes conditions et incubées pendant 18 heures.

Exploitation des résultats

- Q.5** Présenter et analyser les résultats des boîtes fournies afin de déterminer l'efficacité moyenne de transformation pour la méthode utilisée.
- Q.6** Conclure sur l'efficacité de transformation obtenue par rapport aux données du fournisseur.

1.3. Conservation des bactéries recombinantes et traçabilité

Dans un contexte industriel de production, les souches recombinantes sont conservées à -80 °C dans une solution de cryoconservation composée de glycérol pur solubilisé en milieu LB.

En vue de la fabrication du lot CD2025 de bactéries recombinantes produisant l'HRP, une solution stock de glycérol, concentrée à 20 % (m/m) et de masse totale 50 g, est préparée en flacon de 100 mL, selon les opérations unitaires suivantes, en assurant la traçabilité :

- pesée de glycérol pur ;
- transfert du glycérol pesé dans le flacon ;
- ajout de milieu LB ;
- stérilisation de la solution obtenue de glycérol à 20 % (m/m).

Parmi ces opérations unitaires, le candidat réalise seulement la pesée de glycérol et son transfert.

La pesée de glycérol pur est effectuée en respectant les bonnes pratiques de production pharmaceutique présentées dans l'instruction de travail du **document 5** et en assurant la traçabilité de la fabrication du lot par l'intermédiaire de l'**annexe 2**.

Étude préparatoire

Q.7 Déterminer l'intervalle de tolérance de la masse de glycérol pur pesé, sachant que la tolérance de cette pesée est fixée à 10 % dans le cahier des charges du lot à fabriquer.

Q.8 Expliquer les conséquences du non-respect de chaque précaution à prendre lors de la pesée de glycérol pur.

Q.9 Donner l'équation aux grandeurs pour calculer la masse de glycérol pur déstockée et la masse de glycérol pur transférée. Expliquer l'intérêt de calculer ces masses.

Q.10 Schématiser les étapes à réaliser par le candidat pour la pesée et le transfert de glycérol pur, en identifiant le matériel nécessaire et les points critiques.



Mise en œuvre en présence d'un examinateur

- Effectuer la pesée du glycérol pur selon les bonnes pratiques de production pharmaceutique en complétant la fiche de pesée fournie en **annexe 2**.
- Transférer le glycérol pur pesé dans un flacon.

PARTIE 2 : MISE EN ŒUVRE ET ÉVALUATION DU PROCESSUS DE PURIFICATION DE L'ENZYME HRP RECOMBINANTE

Des cellules *E. coli* BL21 produisant l'enzyme recombinante HRP (masse moléculaire : 44 kDa) ont été lysées. Le lysat obtenu a été centrifugé puis additionné de sulfate d'ammonium pour permettre une précipitation différentielle des protéines. Le précipité obtenu est resuspendu dans une solution tampon pour obtenir une **solution nommée EBT** (extrait brut traité). Cette solution est ensuite déposée sur une colonne de chromatographie d'exclusion dans l'objectif de la dessaler et d'éliminer une partie des protéines contaminantes.

Les trois objectifs de cette partie sont de :

- caractériser l'efficacité de la purification de la solution « EBT », en analysant le contenu des fractions récupérées à la sortie de la colonne de la chromatographie ;
- identifier la (les) fraction(s) à conserver et, si elles sont plusieurs, les rassembler ;
- déterminer la concentration d'activité catalytique de l'enzyme HRP recombinante dans la solution HRP correspondant aux fractions rassemblées.

2.1. Traitement de la solution « EBT » par chromatographie d'exclusion

Le **document 6** présente les informations nécessaires pour mettre en œuvre le traitement de la solution « EBT » par chromatographie d'exclusion.

Étude préparatoire

Q.11 Sélectionner la (les) résine(s) permettant d'assurer :

- uniquement le dessalage des protéines ;
- le dessalage et l'élimination de protéines contaminantes.

Argumenter les réponses.

Q.12 Argumenter la nécessité de maintenir la surface du lit de résine parfaitement plane.

Mise en œuvre

Mettre en œuvre la chromatographie d'exclusion.

2.2. Analyse des fractions recueillies en sortie de chromatographie

Dans le but d'identifier les fractions d'intérêt à la sortie de la colonne de chromatographie d'exclusion, leur contenu est analysé par :

- quantification des protéines par spectrophotométrie à 280 nm (étape 5 du **document 6**) ;
- détection semi-quantitative des sels après précipitation au chlorure de baryum (**document 7**) ;
- détection de l'activité HRP par dot-blot (**document 8**).

Étude préparatoire

Q.13 Proposer la composition de trois témoins et leurs rôles, pour la mise en œuvre du dot-blot.

Mise en œuvre

Réaliser, pour chaque fraction, les trois analyses.

Exploitation des résultats

Q.14 Analyser les résultats obtenus pour conclure sur la (les) fraction(s) à conserver dans le cadre de la production d'HRP recombinante.

2.3. Détermination de l'efficacité de purification de la solution « EBT »

Une ou plusieurs fractions sont conservées à la sortie de la chromatographie d'exclusion. Lorsque plusieurs fractions sont retenues, elles sont rassemblées. La fraction conservée (ou les fractions conservées et rassemblées) constitue(nt) une solution nommée « **solution HRP** ». La concentration d'activité catalytique de cette solution est déterminée dans le but de l'utiliser pour calculer le rendement et l'enrichissement de la purification. Le **document 9** présente l'instruction de travail qui permet de déterminer la vitesse initiale de la réaction catalysée par l'enzyme HRP en méthode cinétique.

Mise en œuvre

Mettre en œuvre la cinétique enzymatique pour les échantillons suivants contenant de la HRP :

- la solution « **EBT** » diluée au 1/10 ;
- la « **solution HRP** ».

Exploitation des résultats

Q.15 Présenter les résultats et les éventuelles adaptations de protocole mises en œuvre.

Q.16 Déterminer la concentration d'activité catalytique HRP de la solution « EBT » et de la « solution HRP ».

Q.17 Déterminer le rendement de cette étape de purification de l'enzyme HRP.

La concentration d'activité catalytique de la solution stock de HRP recombinante doit être supérieure à 500 U·mL⁻¹.

Q.18 Proposer une technique permettant de préparer la solution stock HRP, à partir de la fraction enzymatique HRP récupérée à la fin du dessalage. Argumenter la réponse.

PARTIE 3 : ANALYSE DES PERFORMANCES MÉTROLOGIQUES D'UN KIT DE DOSAGE DU GLUCOSE CONTENANT LA HRP RECOMBINANTE

Avant commercialisation d'un lot de kits de dosage du glucose contenant la HRP recombinante, l'entreprise de production doit procéder à la validation du dossier du lot correspondant, notamment par vérification de certains critères métrologiques. Le **document 10** présente un extrait de la fiche technique du kit à commercialiser.

Étude préparatoire

Q.19 Proposer un protocole permettant de vérifier la limite de linéarité et la sensibilité de la méthode de dosage utilisée dans le kit HRP recombinante.

Mise en œuvre

Mettre en œuvre le protocole permettant de vérifier la limite de linéarité et la sensibilité de la méthode de dosage utilisée dans le kit HRP recombinante.

Remarque :

- nombre maximal de cuves disponibles par candidat : 15
- volume maximal de réactif disponible par candidat : 20 mL

Exploitation des résultats

Q.20 Présenter les résultats expérimentaux obtenus et leur exploitation pour conclure sur la conformité du lot.

Document 1 : Extrait de la fiche technique « BL21 Compétent *E. coli* (NEW ENGLAND Biolabs®) »

Highlights

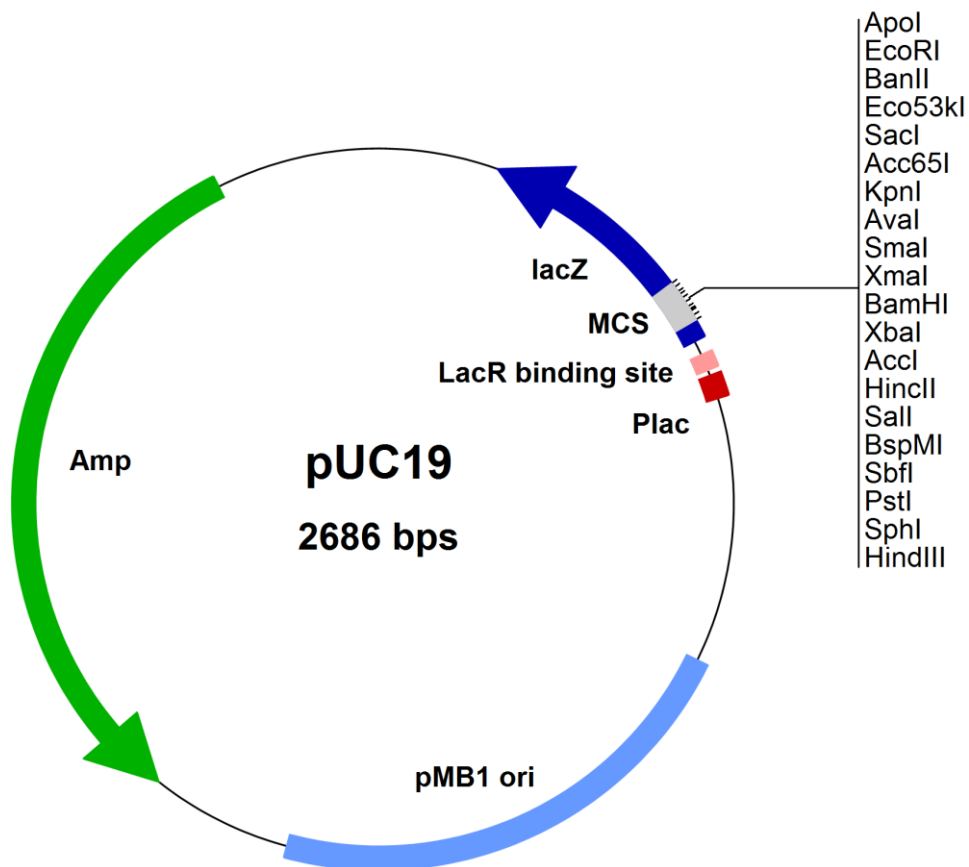
- Routine non-T7 expression
- Deficient in proteases Lon and OmpT
- Resistant to phage T1 (*fhuA2*)
- B Strain
- Doubling time 22.5 min in LB
- Free of animal products

Transformation efficiency: $1-5 \times 10^7$ cfu/ μ g pUC19 DNA

Genotype: *fhuA2 [lon] ompT gal [dcm] Δ hdsS*

1 UD_{600nm} corresponds to $1.2 \cdot 10^9$ bacteria·mL⁻¹

Document 2 : Carte du plasmide pUC19 (source : Mobitec.com)



Document 3 : Préparation d'une suspension de bactéries *E. coli* BL21 chimiocompétentes

Matériels et réactifs

Désignation	Composition	Conditionnement
BL21	Pré-culture d' <i>E. coli</i> BL21 en phase exponentielle en milieu LB sans antibiotique	5 mL en tube
LB	Milieu LB stérile	10 mL en flacon 30 mL en Erlenmeyer préincubé à 37 °C
CaCl₂	Solution de CaCl ₂ à 0,1 mol·L ⁻¹ à conserver dans la glace	12 mL en tube

- Spectrophotomètre
- Chronomètre
- Bain thermostaté sous agitation à 37 °C
- Pipettes stériles 1 mL, 5 mL et 10 mL
- Bac à glace
- Cuve de spectrophotomètre
- Tube conique de 50 mL
- Parafilm®
- Poubelle à DASRI
- Poubelle à DASRI « déchets liquides »
- Centrifugeuse réfrigérée à 4 °C pour tubes coniques de 50 mL

Instruction de travail

- Ensemencer le milieu de culture avec un volume de préculture de *E. coli* BL21 de 1/10^{ème} du volume final de milieu.
- Mesurer l'atténuation initiale, D_{600nm}.
- Incuber à 37 °C sous agitation jusqu'à obtention d'une culture en phase exponentielle : D_{600nm} comprise entre 0,5 et 0,7.
- Transférer la totalité de la culture obtenue dans un tube conique de 50 mL.
- Laisser refroidir la culture 10 minutes dans la glace.
- Centrifuger 10 min à 3500 rpm à 4 °C le tube conique de 50 mL.
- Éliminer le surnageant par retournement.
- Resuspendre délicatement les cellules dans un volume de 10 mL de CaCl₂ glacé.
- Centrifuger 10 min à 3500 rpm à 4 °C.
- Resuspendre très délicatement les cellules fragilisées dans un volume de 1 mL de CaCl₂ glacé.
- Incuber 5 min minimum dans la glace.

Donnée : Limite de linéarité de la mesure au spectrophotomètre de la suspension bactérienne : D_{600nm} = 0,700.

Document 4 : Transformation des bactéries *E. coli* BL21

Matériels et réactifs

Désignation	Composition	Conditionnement
pUC19	Plasmide pUC19 à 100 ng·µL ⁻¹ dilué en eau de qualité biologie moléculaire	20 µL en microtube
LB	Milieu LB stérile	10 mL en tube
Eau BM	Eau de qualité biologie moléculaire	100 µL en microtube
	Milieus gélosés à la demande	

- Bain thermostaté à 42 °C
- Flotteur pour microtubes
- Étuve à 37 °C
- Chronomètre
- Microtubes stériles
- Bac à glace
- Râteaux stériles

Instruction de travail

- Introduire, dans un microtube, 200 µL de suspension de bactéries chimiocompétentes et une masse de 10 ng de pUC19 apportée par un volume de 1 à 5 µL.
- Mélanger en tapotant délicatement le microtube (**pas** d'aspiration / refoulement).
- Incuber 5 min dans la glace.
- Réaliser le choc thermique :
 - Incuber 2 min à 42 °C. Ne pas mélanger ou agiter.
 - Incuber 5 min dans la glace.
- Ajouter à la préparation un volume de 800 µL de bouillon LB.
- Incuber 45 min à 37 °C.
- Étaler respectivement un volume de 10 µL et de 100 µL de suspension de bactéries transformées sur chacun des deux milieux de culture commandés.
- Étaler également la suspension bactérienne avant transformation sur les milieux de culture commandés, pour préparer les deux témoins qualitatifs de validation.
- Incuber les milieux de cultureensemencés à 37 °C pendant 18 h.

Document 5 : Critères qualité à respecter en industrie pharmaceutique pour la pesée de glycérol et traçabilité

Matériels et réactifs

Désignation	Composition	Conditionnement
Glycérol stock	Glycérol pur	Flacon stock, Fraction aliquote en bécher
Bouillon LB	Milieu LB	500 mL en flacon

- 1 bécher de 100 mL
- 1 flacon de 100 mL à bouchon à vis
- 1 balance de paillasse

Instruction de travail

Principes de remplissage des documents qualité concernant la pesée

Afin d'assurer la traçabilité de la production, il est impératif de respecter les points suivants :

- Utiliser et remplir systématiquement une fiche de pesée en parallèle de la pesée, pour chaque produit pesé.
- Toutes les cases de la fiche de pesée doivent être remplies ou rayées.
- La fiche se renseigne à la main.
- Le crayon à papier, le correcteur et la gomme sont interdits.
- Les ratures grossières sont interdites, les petites ratures sont validées par un visa.
- Aucun calcul ne doit être présent sur la fiche de pesée.

Précautions à prendre au cours de la pesée

Ne jamais remettre un produit dans son récipient de stockage.

Ne jamais régler le zéro de la balance sur le récipient de pesée.

Ne jamais peser deux produits dans le même récipient.

Ne pas rincer le récipient de pesée.

Donnée : la tolérance affichée dans le cahier des charges prend en compte la quantité de produit perdue lors du transfert.

Document 6 : Dessalage d'une solution de protéine par chromatographie d'exclusion Sephadex®

Principe du dessalage à l'aide d'une résine Sephadex®

Le dessalage consiste à éliminer le sulfate d'ammonium, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, agent précipitant utilisé lors de l'étape de précipitation différentielle des protéines. La capacité de dessalage de la résine utilisée dépend de son domaine de fractionnement.

Type de résine	Domaine de fractionnement (kDa)
Sephadex G25	1 – 5
Sephadex G50	1,5 – 30
Sephadex G75	3 – 80

Matériel et réactifs

Désignation	Composition	Conditionnement
EBT	Extrait Brut Traité	2 mL en flacon
Résine Séphadex	Résine Sephadex® prête à l'emploi adaptée au dessalage et à l'élimination de protéines contaminantes	30 mL en flacon
Tampon phosphate	Tampon phosphate à $50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; pH 7	100 mL en flacon (flacon commun aux documents 6 et 9)

- Une colonne de chromatographie fixée à un support
- Cuves semi-UV ($n = 10$)
- Pipette compte-goutte
- Agitateur en verre
- Bécher de récupération
- Spatule

Instruction de travail

1. Préparation de 10 cuves de collection des fractions

Repérer le niveau correspondant à un volume de 1 mL, sur chacune des 10 cuves semi-UV.

2. Préparation de la résine : étape déjà réalisée

La résine Séphadex® utilisée est présentée en suspension prête à l'emploi en tampon phosphate à $50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, pH = 7 après réhydratation de la résine sèche pendant 24 h dans le tampon phosphate à $50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, pH = 7 et à 4 °C.

3. Remplissage de la colonne

Consignes à respecter pour optimiser la séparation :

- la formation de bulles d'air ou de poches de tampon au niveau de la résine doit être évitée ;
 - le sommet de la résine doit être bien horizontal ;
 - la résine ne doit pas rester à sec : une hauteur minimale de tampon d'environ 3 mm doit toujours recouvrir la surface de la résine.
-
- Fixer la colonne sur un support de colonne.
 - Fermer le robinet de la colonne.
 - Placer un entonnoir en haut de la colonne.
 - Homogénéiser la résine Sephadex® avec une spatule.
 - Verser rapidement la totalité de la résine dans la colonne.
 - Laisser la résine sédimenter. Ouvrir le robinet de la colonne pour faciliter la sédimentation. En cas de bulles, tapoter la colonne pour les faire remonter.
 - Si le lit de résine n'est pas homogène, Il est possible de resuspendre la résine à l'intérieur de la colonne par retournements de cette dernière. Dans ce cas, fermer le haut de la colonne avec du papier Parafilm®, l'agiter en la positionnant horizontalement et la redresser d'un coup sec. Puis, laisser la résine sédimenter.
 - En fin de sédimentation, si la surface du lit de résine dans la colonne n'est pas plane, il est possible de la tasser puis de la lisser à l'aide d'un agitateur en verre.
 - Ajouter du tampon phosphate à 50 mmol·L⁻¹, pH = 7 au-dessus du lit de résine, sur une hauteur de 5 cm environ.

4. Dépôt des échantillons et récupération des fractions

- Régler l'ouverture du robinet de la colonne pour ajuster le débit de sortie de phase mobile à 10-12 gouttes par minute.
- Lorsque la hauteur de tampon à la surface de la résine est de 3 mm environ, déposer très délicatement à quelques millimètres de la surface du tampon, un volume de 1 mL d'extrait brut traité (EBT). Veiller à ne pas creuser la surface de la résine.
- Laisser pénétrer l'extrait.
- Ajouter immédiatement et régulièrement du tampon phosphate en le déposant délicatement le long de la paroi intérieure de la colonne à l'aide de la pipette compte-gouttes.
- Démarrer immédiatement la collecte de 10 fractions de 1 mL dans les cuves semi-UV.
- Maintenir en permanence une hauteur de 1 cm de tampon en surface de la résine pour maintenir constante la pression de filtration.

5. Détection des protéines par spectrophotométrie

Lire au spectrophotomètre l'absorbance à 280 nm des 10 fractions recueillies.

Document 7 : Détection des ions sulfate dans les fractions recueillies, par précipitation au chlorure de baryum

Lorsqu'une solution contenant des ions sulfate (SO_4^{2-}) est mise en contact avec une solution de chlorure de baryum (BaCl_2), une précipitation se produit. En effet, les ions baryum (Ba^{2+}) réagissent avec les ions sulfate (SO_4^{2-}) pour former un précipité blanc de sulfate de baryum (BaSO_4).

Matériel et réactifs

Désignation	Composition	Conditionnement
BaCl₂	Solution de chlorure de baryum	30 mL en flacon

- Cuves macro-visible (n = 11)

Instruction de travail

Préparer 11 cuves macro-visible :

- Introduire 2 mL de chlorure de baryum (BaCl_2) dans chaque cuve.
- Ajouter 0,1 mL de tampon ou de chacune des fractions récupérées en sortie de colonne.

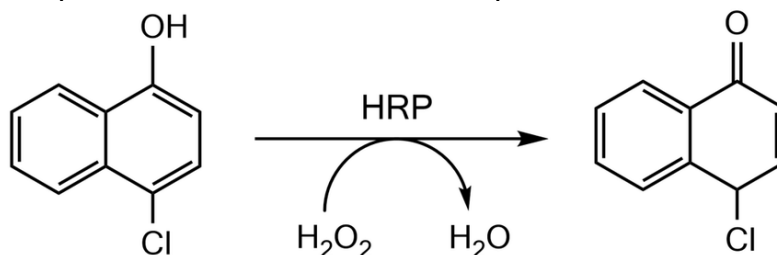
Évaluer le trouble dans les cuves de façon semi-quantitative : de – (absence de trouble) à +++ (très trouble).

Document 8 : Détection de l'activité HRP recombinante dans les fractions récupérées en sortie de colonne

Principe de la détection de l'activité HRP dans des échantillons

Les échantillons contenant l'enzyme HRP sont déposés sur une membrane de nitrocellulose.

L'activité peroxydase est mise en évidence en immergeant la membrane dans un bain contenant un substrat chromogène, le 4-chloro-1-naphtol, qui est oxydé, sous l'action de la peroxydase, en un produit coloré, le 4-chloro-1-naphtone.



Matériel et réactif

Désignation	Composition	Conditionnement
HRP-REVEL	Substrat de la HRP : 4-chloro-1-naphtol à $0,5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, 0,03 % H_2O_2 déjà préparé extemporanément	2 mL en tube
Eau distillée		Pissette
PAL	Enzyme PAL du commerce	10 μL en microtube
HRP	Enzyme HRP du commerce	10 μL en microtube

- Pince
- Membrane de nitrocellulose prédécoupée en boîte de Pétri
- Paires de ciseaux à disposition dans la salle
- Papier filtre 10 cm x 10 cm

Instruction de travail

- Manipuler avec des gants et une pince afin de ne pas abîmer la membrane ou d'introduire de molécules interférentes.
- Découper le coin supérieur gauche d'un rectangle de nitrocellulose de 4 x 3 cm de côté, pour repérer son orientation.
- Poursuivre la manipulation directement dans la boîte de Pétri.
- Déposer sur la membrane un volume de 1 μL de chacune des fractions et de trois solutions témoins en respectant le gabarit ci-dessous :

Fraction 1	Fraction 2	Fraction 3	Fraction 4	Fraction 5
Fraction 6	Fraction 7	Fraction 8	Fraction 9	Fraction 10
Témoin 1	Témoin 2	Témoin 3		

- Laisser sécher les dépôts pendant 5 minutes.
- Incuber la membrane pendant 15-20 secondes, à température ambiante, dans un volume de 2 mL de solution de HRP-REVEL.
- Surveiller l'apparition de la coloration.
- Laver la membrane à l'eau distillée pendant 5 minutes sous agitation forte.
- Sécher la membrane sur papier filtre.

Document 9 : Détermination de l'activité HRP par méthode cinétique

Principe

La peroxydase catalyse un transfert d'électrons d'une molécule organique réduite sur le peroxyde d'hydrogène. Cette activité enzymatique est déterminée à l'aide du substrat gaïacol (l'acide 3-méthoxy-phénol), une molécule organique incolore sous forme réduite, qui devient rose-saumon après oxydation.

Matériel et réactifs

Désignation	Composition	Conditionnement
Tampon phosphate	Tampon phosphate pH = 7 à 50 mmol·L ⁻¹	100 mL en flacon (flacon commun documents 6 et 9)
Gaïacol	Solution de gaïacol à 1 g·L ⁻¹	5 mL en flacon
H₂O₂	Peroxyde d'hydrogène à 0,3 %	0,5 mL en microtube
EBT 1/10	Extrait Brut Traité dilué au 1/10 en tampon phosphate pH = 7, à 50 mmol·L ⁻¹	100 µL en microtube

- 5 semi-micro-cuves visibles et porte-cuves
- Microtubes 1,5 mL
- Papier Parafilm

Instruction de travail

- Introduire dans une cuve :
 - 0,5 mL de tampon phosphate pH 7 à 50 mmol·L⁻¹
 - 0,5 mL de solution de gaïacol à 1 g·L⁻¹
 - 50 µL de peroxyde d'hydrogène à 0,3 %
- Déclencher la réaction avec 25 µL de solution enzymatique, éventuellement diluée.
- Homogénéiser.
- Introduire aussitôt la cuve dans le spectrophotomètre et lancer l'acquisition de la mesure d'absorbance à 470 nm toutes les 15 secondes pendant 1 minute à température ambiante.
- Vérifier que la mesure est réalisée en période initiale. Adapter l'instruction de travail si nécessaire.

Donnée :

- $\mathcal{E}_{\text{chromophore à 470 nm}} = 2480 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

Document 10 : Extrait de la fiche technique du kit HRP recombinante

Principe : Méthode de Trinder de dosage du glucose

Le glucose est oxydé par la glucose oxydase (GOD) en acide gluconique et H_2O_2 lequel réagit en présence de peroxydase (POD) avec le chloro-4-phénol et le PAP pour former une quinonéimine rouge. L'absorbance du complexe coloré, proportionnelle à la concentration en glucose dans l'échantillon analysé, est mesurée à 500 nm.

Matériel et réactifs

Désignation	Composition	Conditionnement
R1	Mélange réactionnel R1 contenant la GOD et la POD recombinante	20 mL en flacon
Glucose	Solution de glucose à $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$	1 mL en microtube
Eau distillée		Pissette

- 15 cuves semi-micro-visibles
- 15 microtubes

Instruction de travail

Longueur d'onde : 500 nm Température : 37 °C
Ramener les réactifs et spécimens à température ambiante.

	Analyseur automatique	Procédure manuelle
Réactif R1	300 μL	1000 μL
Etalon, contrôle ou spécimen	3 μL	10 μL
Bien mélanger. Incuber 10 minutes à 37 °C ou 20 minutes à température ambiante. Lire les absorbances à 500 nm (460-560) contre le blanc réactif. La coloration est stable pendant 15-20 minutes à 37 °C, puis décroît lentement.		

Performances :

- **Domaine de mesure** : entre $0,08 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ et $5,00 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
- **Limite de détection** : environ $0,02 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
- **Précision** :

<i>Intra-série</i> <i>N = 20</i>	<i>Taux</i> <i>bas</i>	<i>Taux</i> <i>normal</i>	<i>Taux</i> <i>élevé</i>	<i>Inter-série</i> <i>N = 20</i>	<i>Taux</i> <i>bas</i>	<i>Taux</i> <i>normal</i>	<i>Taux</i> <i>élevé</i>
Moy (g/L)	0,36	1,08	3,00	Moy (g/L)	0,36	1,08	2,91
S.D. g/L	0,007	0,018	0,032	S.D. g/L	0,007	0,021	0,04
C.V. %	1,9	1,7	1,1	C.V. %	2,0	1,9	1,4

- **Comparaison avec réactif liquide du commerce :**
Étude réalisée sur sérums humains ($n = 561$) entre $0,24$ et $3,57 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
 $y = 0,969x + 0,0133$ $r = 0,9984$
- **Sensibilité analytique** : approx. $\Delta A = 0,060$ pour $\Delta \rho_{(\text{glucose})} = 0,1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$

ANNEXE 1 : Commande de milieux de culture



À remettre à un membre du jury

N° de poste du candidat :	
Choix du milieu de culture pour le témoin 1	Argumentation
Choix du milieu de culture pour le témoin 2	Argumentation
Choix du milieu de culture pour sélectionner des bactéries transformées Nombre de boîtes commandées	Argumentation

ANNEXE 2 : Fiche pesée



À compléter et à rendre avec la copie

N° de poste du candidat :

	ENREGISTREMENT		Référence : AI-005 Indice de révision : 2 Date d'émission : 10/01/2025 Page 1 / 1
	FICHE DE PESÉE		
Date :	N° de série de la balance :		
N° de lot du produit fini :	Portée :		
	Incertitude (d) :		
Nom du produit pesé			
N° de lot			
Masse [consigne + tolérance]			
Masse [tare]			
Masse [tare + produit]			
Masse [tare après transfert]			
Masse déstockée			
Masse transférée			
Opérateur + Visa			

Données :

- La consigne correspond à la valeur de la masse de produit à peser.
- L'opérateur est la personne qui réalise la pesée.
- Le visa est la signature de l'opérateur.
- La masse déstockée correspond à la masse de produit retirée du stock de produit.

Rapport du jury

Résultats de l'épreuve

22 candidats, agrégation et CAERPA confondus, ont composé et sont répartis comme suit :

Note /20	Nombre de candidats
< 6	4
≥ 6 et < 8	8
≥ 8 et < 10	7
≥ 10 et < 12	2
≥ 12	1

La moyenne générale de l'épreuve est de 7,70/20.

La moyenne des candidats admis est de 9,13/20.

La meilleure note est de 12,28/20.

Observations générales

Le jury félicite très sincèrement l'ensemble des candidats pour leur calme, leur courage et l'endurance dont ils ont témoigné tout au long de cette épreuve exigeante. Les candidats ayant le mieux réussi l'épreuve ont fait preuve de rigueur professionnelle, d'esprit critique, de technicité et ont également su s'organiser dans le temps.

Le sujet comportait trois parties indépendantes et nécessitait la mise en œuvre de plusieurs manipulations mobilisant différentes activités technologiques au programme des enseignements de biotechnologie. Ces manipulations impliquaient de la rigueur, tant au niveau de leur préparation, de leur réalisation et de l'exploitation des résultats obtenus. Les manipulations demandées entraient dans le cadre des programmes de BTS et de pré-bac et faisaient donc appel à une technicité accessible. Cette dernière, associée à un sens pratique, permet aux candidats une bonne gestion du temps et de ne pas générer des résultats expérimentaux aberrants. A ce titre, une préparation en amont rigoureuse et approfondie aux gestes de manipulation est très fortement conseillée aux candidats qui ne seraient pas, ou plus trop, familiers avec ceux-ci.

Une lecture rapide du sujet, ainsi que la prise en compte de certaines contraintes de planning pour l'utilisation de matériels particuliers ou la réalisation d'expériences, devait permettre aux candidats d'organiser dans le temps l'ensemble des manipulations à effectuer et d'exploiter au maximum les temps d'attente afin de pouvoir traiter le sujet dans son intégralité. Le jury rappelle que ce travail d'anticipation et d'organisation est tout particulièrement déterminant dans l'approche de l'épreuve et que son absence pénaliserait la bonne réussite des manipulations. Néanmoins, ce temps de préparation et de réflexion ne doit pas non plus être exagérément long, ce qui aurait pour conséquence l'impossibilité temporelle de réaliser l'ensemble des manipulations demandées et la rédaction d'un compte-rendu de qualité. Le jury rappelle que la partie purement expérimentale et celle de rédaction du compte-rendu tiennent une part relativement équivalente, impliquant qu'un équilibre soit trouvé par le candidat entre la rédaction du compte-rendu et la réalisation des manipulations.

En termes d'organisation pratique, aux huit heures d'épreuve, le jury impose une heure de pause dont les candidats disposent à leur gré de manière bifractionnée, dont une fois incluant le temps de restauration du déjeuner. Le jury insiste sur le fait que définir le nombre de temps de pause et imposer des créneaux horaires pendant lesquels les prendre ne s'inscrit pas dans une attitude allant à l'encontre des candidats. Bien au contraire, cette organisation permet de ne pas fractionner déraisonnablement l'heure de pause, ce qui irait à l'inverse de l'objectif fixé de repos en cours d'épreuve et ne permettrait pas de se ressourcer correctement.

L'étude portait sur la production d'une enzyme, la peroxydase de raifort (HRP), à partir de bactéries *E. coli* BL21 recombinantes en vue de son utilisation dans un kit de dosage d'un métabolite. Les différentes approches proposées permettaient de vérifier l'efficacité de transformation des cellules bactériennes *E. coli* BL21 chimiocompétentes par un plasmide, de vérifier l'efficacité de la purification de l'enzyme par

chromatographie d'exclusion et d'analyser les performances métrologiques du kit développé. Une lecture attentive et approfondie de l'ensemble du sujet permettait d'obtenir des résultats exploitables, conformes à ceux attendus, de répondre de manière pertinente aux questions et d'effectuer l'ensemble des manipulations. La réalisation de l'ensemble des travaux demandés était réalisable dans le temps imparti.

Partie 1.

Les parties 1.1 et 1.2 portaient sur la préparation d'une suspension de bactéries chimiocompétentes et leur transformation par choc thermique.

La préparation de la suspension d'*E. coli* BL21 chimiocompétentes reposait sur la mise en culture d'un inoculum pré-incubé. Cette étape permettait d'évaluer la maîtrise de gestes techniques de base de microbiologie. L'exploitation des paramètres cinétiques de cette croissance permettait d'estimer le temps nécessaire pour atteindre l'atténuation fixée. Il n'était cependant pas demandé un suivi régulier de la croissance qui occasionnait une perte de temps et de microorganismes pour la transformation. Le jury a apprécié que les respects de la durée et des températures des étapes de la transformation bactérienne aient été le plus souvent bien suivis. Les approximations sur ces points ont directement impacté les résultats lus par le jury en 2nd jour.

Le sujet demandait un choix de culture à ensemer pour la validation du processus de la transformation et la détermination de l'efficacité de la transformation. Le jury regrette que les objectifs n'aient pas été compris par tous les candidats. En effet, le sujet ne portait pas sur un criblage blanc/bleu mais sur la validation de la compétence des bactéries produites.

Ainsi, il était attendu que les candidats proposent :

- un milieu complet non sélectif sans ampicilline pour vérifier la viabilité des souches avant transformation ;
- un milieu complet additionné d'ampicilline pour vérifier que les souches non transformées étaient bien sensibles à l'ampicilline ;
- deux boîtes de milieu complet additionné d'ampicilline pour dénombrer les clones transformés grâce à 2 dilutions consécutives d'une puissance 10 (ensemencement 10 μ L et 100 μ L) dont la pertinence était à argumenter.

Le jury se réjouit de constater que l'utilisation du spectrophotomètre et la réalisation d'un étalement sur des boîtes de Petri bien identifiées sont maîtrisées. Le jury a été attentif à l'homogénéisation des suspensions bactériennes au cours des prélèvements. Il rappelle qu'il est essentiel de maintenir tout au long de l'épreuve des paillasses propres et organisées. A ce propos, l'organisation du poste de travail a révélé une maîtrise parfois approximative des bonnes pratiques au laboratoire sur la durée de l'épreuve :

- organisation du poste de travail ;
- travail dans la zone d'asepsie ;
- choix du matériel ;
- gestion des déchets biologiques (DASRI pour les déchets liquides et solides).

Le jury rappelle que l'une des voies majeures d'exposition aux agents biologiques est la voie digestive et qu'aucun objet ne doit être porté à la bouche pendant une manipulation de microorganismes au laboratoire.

La préparation des souches chimiocompétentes nécessitait des étapes de centrifugation en CaCl_2 . L'équilibrage de la centrifugeuse a pu laisser certains candidats perplexes. Toute initiative pertinente et adaptée a été valorisée.

Si la détermination de la concentration microbienne à partir de l'atténuation mesurée a été généralement bien effectuée par les candidats, le jury déplore que l'exploitation des paramètres cinétiques de la croissance bactérienne afin d'estimer le temps nécessaire pour atteindre une atténuation fixée ait été trop souvent approximative. Une approche empirique a fait perdre du temps aux candidats et induit des erreurs.

La détermination de la quantité de plasmide destinée à la transformation a été trop rarement argumentée par des calculs. Le jury attendait des calculs avec une équation aux grandeurs précédant l'équation aux valeurs. Ainsi, il rappelle que la réflexion sur les unités est à consolider d'autant plus qu'elle peut aider à aller au bout des raisonnements.

Le jury regrette que le calcul de l'efficacité de transformation ait posé problème à de nombreux candidats. Là encore, l'écriture de l'équation aux unités était une étape qui permettait d'éviter des erreurs. Le jury a valorisé les candidats qui explicitent l'ensemble des étapes de leur raisonnement.

La partie 1.3. plaçait les candidats dans un contexte de production industrielle avec ses spécificités. Les candidats devaient réaliser une pesée de glycérol pur préalable à l'obtention d'une solution à 20 %. Seules les étapes de pesée et de transfert de glycérol étaient demandées. L'objectif de cette partie était d'évaluer l'adaptabilité des candidats à une technique prenant en compte la traçabilité industrielle, différente de celle habituellement pratiquée en laboratoire de recherche. Notamment, l'utilisation d'une pipette n'était pas judicieuse pour un produit visqueux et dans un objectif de limitation du déstockage du glycérol.

Le jury a été très surpris de constater que le calcul de la masse de glycérol à peser (20 % m/m de 50 g) a mis en difficulté 1/3 des candidats. En revanche, le jury se félicite qu'1/3 des candidats ont su mettre en œuvre correctement la démarche proposée malgré les contraintes, souvent nouvelles pour eux, imposées par le sujet. Le jury a constaté que ces candidats ont su mener une réflexion efficace en découvrant le peu de matériel présent au poste de pesée et la viscosité du glycérol. Les candidats en difficulté n'avaient visiblement pas assez anticipé la réalisation malgré les informations disponibles dans le sujet et l'énoncé de la question demandant de schématiser les étapes et les points critiques de cette opération unitaire.

Partie 2.

La deuxième partie demandait aux candidats de mettre en œuvre une purification de l'enzyme HRP recombinante et d'évaluer le processus de purification. Pour cela, les candidats devaient réaliser une chromatographie d'exclusion de la solution « EBT » et analyser les fractions recueillies en, tout d'abord, quantifiant les protéines par spectrophotométrie à 280 nm, puis en détectant de façon semi-quantitative les sels après précipitation au chlorure de baryum et, enfin, en repérant l'activité HRP par dot-blot. Pour finir, les fractions à conserver devaient être identifiées puis regroupées en une seule solution, nommée « HRP ». Les candidats devaient alors évaluer l'efficacité de la purification en déterminant l'activité enzymatique par méthode cinétique des solutions « EBT » et « HRP », puis déduire le rendement de la purification.

Une organisation appropriée du poste de travail et une anticipation des points critiques techniques étaient nécessaires pour la mise en œuvre de la chromatographie d'exclusion. Le jury a regretté que, bien que le sujet fût très guidant pour les gestes opératoires à réaliser, bon nombre de candidats aient rencontré des difficultés pour mettre en place le gel chromatographique et n'aient pas respecté les consignes pour optimiser la séparation (surface du gel plane, résine toujours recouverte d'environ 3 mm de tampon) ainsi que le protocole d'élution (laisser pénétrer l'extrait dans la résine avant de rajouter de la phase mobile, débit réglé à 10-12 gouttes par minute). Ainsi, certains candidats ont fermé le robinet alors qu'ils venaient de régler le débit. Cette erreur traduisait également une méconnaissance du principe de séparation par gel filtration.

En outre, très peu de candidats ont su expliquer la nécessité de maintenir une surface de résine plane pour garantir une longueur de trajet équivalente pour toutes les molécules à séparer. Ce type de question permet de vérifier la culture technologique du candidat, c'est-à-dire sa capacité à articuler le principe d'une technique avec les gestes techniques associés.

Le jury note que les candidats ont, dans l'ensemble, su mettre en œuvre correctement la quantification des protéines, la détection des sels et de l'activité de l'enzyme HRP, ainsi qu'analyser leurs résultats. Il fallait ici sélectionner les fractions présentant à la fois une concentration en protéines élevée, un trouble faible voire absent pour une meilleure efficacité de dessalage, ainsi qu'une coloration importante sur dot-blot traduisant une forte présence de la protéine HRP. Le jury regrette que ces résultats ne soient pas toujours clairement présentés (un tableau de synthèse aurait été le bienvenu). En outre, le jury aurait apprécié que les candidats apportent un soin tout particulier à l'identification des cuves. En effet, le jury attend que, durant cette épreuve, les candidats fassent la démonstration de leur capacité à appliquer une démarche de traçabilité, pratique incontournable dans les laboratoires de recherche, de contrôle ou d'analyse. Concernant la mise en œuvre de la cinétique enzymatique, il était nécessaire de se placer en phase initiale de la réaction enzymatique afin de pouvoir déterminer la concentration d'activité catalytique. Ainsi, les candidats qui ont déclenché la réaction enzymatique à leur paillasse, avant de se rendre au spectrophotomètre, n'ont pas pu effectuer les mesures en période initiale.

Une majorité de candidats a su respecter la démarche de traçabilité, en relevant les informations ainsi que les résultats bruts d'absorbance ou de pente. En revanche, le jury regrette que seuls quelques candidats aient proposé une dilution de la solution « HRP » pour augmenter la durée de la période initiale. Le calcul de la concentration d'activité catalytique a été rarement mené avec rigueur jusqu'au bout, notamment pour des erreurs sur les unités. De même, le calcul du rendement de purification a rarement été réussi. Ainsi, il était attendu de poser un rapport d'activités enzymatiques totales et non le rapport des concentrations d'activité enzymatique entre les solutions « EBT » et « HRP ».

Partie 3.

La troisième partie demandait aux candidats de vérifier deux paramètres métrologiques d'un kit de dosage utilisé en laboratoire de biologie médicale, la limite de linéarité et la sensibilité analytique. Cette partie a été traitée pour tout ou partie par la moitié des candidats. Le jury suppose que ceci fût essentiellement la conséquence du positionnement de cette partie en fin de sujet et que nombre de candidats ont manqué de temps pour la traiter, la mettre en œuvre ou exploiter leurs résultats. Les candidats ayant réussi à mettre en œuvre la manipulation ont obtenu des résultats satisfaisants. Cependant, le jury encourage les candidats à être plus vigilants sur la traçabilité de leurs résultats expérimentaux et de leurs exploitations afin de faciliter leur lecture par les correcteurs.

Pour déterminer la limite de linéarité, une gamme dépassant la limite annoncée par le kit de $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ devait être réalisée et au moins deux points de concentration supérieure à $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ étaient ainsi attendus. Le choix du type de gamme, arithmétique ou géométrique, dépend des paramètres à vérifier. Ici, dans le cadre du sujet, une gamme arithmétique de 0 à $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ avec un pas de $1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ était la plus pertinente. Elle permettait d'avoir suffisamment de points au-dessus de la valeur de limite de linéarité annoncée par le kit et de déterminer la sensibilité analytique grâce au coefficient directeur de la droite de régression. Le jury a apprécié que les candidats connaissent dans l'ensemble la définition de la sensibilité analytique mais regrette qu'ils se soient focalisés sur la valeur annoncée à $0,1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, proposant alors des gammes encadrant cette valeur qui était trop proche de la limite de détection annoncée par le kit. Au vu des volumes à pipeter dans les cuves, une pré-gamme de solutions de glucose eut été pertinente.

CONCLUSION GENERALE

Le jury félicite de nouveau très chaleureusement les 8 lauréats de la session 2025 et encourage les candidats non admis à persévérer dans leur projet.

Comme indiqué tout au long de ce rapport, chaque épreuve nécessite un travail de préparation exigeant afin que les candidats puissent faire la démonstration des connaissances et compétences attendues de la part d'un professeur agrégé de biochimie génie biologique. Ces épreuves nécessitent de la part des candidats une prise de recul sur leur pratique et une capacité d'analyse réflexive, indispensable à l'amélioration continue de leur savoir-faire avec, très souvent, une expérience déjà conséquente. Le jury reconnaît le courage des candidats qui s'engagent dans ce concours interne de très haut niveau nécessitant un aménagement du temps de vie pendant l'année de préparation et a conscience des sacrifices qu'un réel engagement dans ce travail engendre.

Le jury tient très sincèrement à remercier Madame la Proviseure du lycée Pierre-Gilles de Gennes-ENCPB (Paris) et son équipe (proviseurs-adjoints, enseignants, techniciens et personnels administratifs) pour l'accueil et l'aide efficace apportés tout au long de l'organisation et du déroulement de ce concours qui s'est effectué, comme lors de chaque session, dans d'excellentes conditions.